

ЕКОЛОГІЧНА ФІЗІОЛОГІЯ І БІОХІМІЯ ВОДНИХ ТВАРИН

УДК 546.732:(597.551.2+597.552.1):577.152.2

Н.О. ВОВЧЕК, аспірант,
Тернопільський національний педагогічний університет ім. В. Гнатюка,
вул. М. Кривоноса, 2, Тернопіль, 46027, Україна
e-mail: natvovchek@ukr.net
ORCID: 0000-0002-2292-3477

В.С. МАРКІВ, аспірант,
Тернопільський національний педагогічний університет ім. В. Гнатюка,
вул. М. Кривоноса, 2, Тернопіль, 46027, Україна
e-mail: vitya.marktwen@gmail.com
ORCID: 0000-0003-1294-7827

В.О. ХОМЕНЧУК, к. б. н., доц.,
Тернопільський національний педагогічний університет ім. В. Гнатюка,
вул. М. Кривоноса, 2, Тернопіль, 46027, Україна
e-mail: khomenchuk@tnpu.edu.ua
ORCID: 0000-0003-0500-6754

В.З. КУРАНТ, д. б. н., проф.,
Тернопільський національний педагогічний університет ім. В. Гнатюка,
вул. М. Кривоноса, 2, Тернопіль, 46027, Україна
e-mail: kurant@tnpu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-3349-046X

АКТИВНІСТЬ ПРОЦЕСІВ ТРАНСАМІНУВАННЯ В ОРГАНІЗМІ ПРІСНОВОДНИХ РИБ ЗА ДІЇ ІОНІВ КОБАЛЬТУ

*Досліджено роль процесів трансамінування у тканинах карася сріблястого (*Sarassius gibelio* Bloch.) та щуки звичайної (*Esox lucius* L.) у підтриманні гомеостазу метаболітів білкового обміну за дії 2 та 5 гранично допустимих концентрацій (ГДК) кобальту, в перерахунку на іони 0,1 та 0,25 мг/дм³. Відмічено зростання активності аспаратамінотрансферази (AcAT) в печінці карася та щуки за дії сублетальних концентрацій іонів Co²⁺, тоді як у м'язах та плазмі крові риб зміни у функціонуванні цього ферменту були незначними. Зміни активності аланінамінотрансферази (АлАТ) за дії іонів Co²⁺ мали виражену видову, тканинну та концентраційну специфіку. Так, у карася активність ферменту за концентрації 0,25 мг/дм³ зростала у печінці та знижувалась у плазмі крові. У щуки відмічалась активація АлАТ у печінці та плазмі крові за дії 0,1 мг/дм³ та у м'язах за концентрації 0,25 мг/дм³ іонів металу. Загалом реакція системи трансамінування у карася та щуки за інтоксикації іонами кобальту свідчить про перебудову амінокислотного та білкового метаболізму з метою забезпечення енергетичної та пластичної адаптації до стресової дії токсиканта. Зміни активності ферментів трансамінування здатні інформативно відобра-*

Ц и т у в а н н я: Вовчек Н.О., Марків В.С., Хоменчук В.О., Курант В.З. Активність процесів трансамінування в організмі прісноводних риб за дії іонів кобальту. *Гідробіол. журн.* 2024. Т. 60, № 5. С. 63—71.

жати стан організму за впливу підвищеної концентрації іонів важких металів, бути характеристикою ступеня витривалості досліджуваних видів риб до забруднення, а також можуть використовуватись для прогнозування зміни біоценозів у місцях забруднення важкими металами. Все сказане робить риб об'єктом, придатним для біоіндикації стану навколишнього водного середовища.

Ключові слова: карась сріблястий, щука звичайна, АсАТ, АлАТ, кобальт.

Серед забруднювачів водних екосистем важкі метали є пріоритетними токсикантами [4, 13, 17, 21]. Вони не піддаються деструкції, як органічні речовини, а постійно знаходяться у воді і донних відкладах у тій чи іншій формі [24]. Ступінь токсичності цих забруднювачів значною мірою залежить від багатьох чинників водного середовища, зокрема концентрації сполук металів у воді, тривалості їхнього впливу на організм риб, наявності у водному середовищі комплексоутворювачів, синергізму і антагонізму між металами та іншими токсикантами, температури води, активної реакції (рН), концентрації розчиненого у воді кисню, жорсткості та солоності тощо [29].

Збільшення концентрації металів у абіотичних компонентах водних екосистем призводить до надмірного акумулювання їх водними організмами та порушення функціонування метаболічних систем [9, 21]. Відомо, що дія важких металів може спричиняти активацію білкового обміну та лізосомального розщеплення білків [5], окисне дезамінування амінокислот [28], використання амінокислот як енергетичного субстрату і попередників низки біологічно активних речовин, що беруть участь в адаптації водних організмів до токсичного чинника [10]. Проте невідомо, яким чином метали активують або інгібують ті чи інші шляхи метаболізму амінокислот, механізм їхньої дії на ферменти білкового обміну, прямо чи опосередковано вони впливають на спрямування та швидкість метаболізму амінокислот.

Тому актуальним є вивчення функціонування процесів трансамінування у тканинах прісноводних риб за дії різних концентрацій важких металів у воді, що може слугувати теоретичною основою для розробки методик оцінки забруднення водного середовища шляхом біоіндикації. Адже відомо [13], що риби доволі чутливі до різних забруднюючих речовин, що знаходяться у воді.

Особливий інтерес становлять важкі метали, які застосовуються у різних галузях виробничої діяльності людини і є важливими для життєдіяльності гідробіонтів. Саме до таких металів відноситься кобальт [17]. У живих організмах даний метал виконує важливі біологічні функції. Він є незамінним компонентом вітаміну В₁₂, бере активну участь у процесі кровотворення та перенесення кисню гемоглобіном, а також іншими пігментами крові [12]. Кобальт активує також процеси синтезу білків, сприяє їх накопиченню в органах і тканинах риб. Так, введення в кормові суміші риб солей кобальту сприяло збільшенню біомаси дворічок коропів [1]. У дослідженні авторів [19] також було показано, що ріст, продуктивність та показники сироватки крові у молоді креветки (*Li-*

torpnaeus vannamei (Woone, 1931)) покращувались за дії сполук двовалентного кобальту. Цей метал також впливає на обмін і біологічну дію кальцію та фосфору. Зокрема, недостатнє надходження в організм риб солей кобальту веде до неповного засвоєння цих хімічних елементів [8].

З огляду на вищесказане метою нашого дослідження стало вивчення впливу підвищеної концентрації кобальту у воді на активність ферментів трансамінування (аспартат- та аланінамінотрансферази) у тканинах карася і щуки, досить поширених представників прісноводних екосистем.

Матеріал і методика досліджень

Об'єктом дослідження був карась сріблястий (*Carassius gibelio* Bloch.) і щука звичайна (*Esox lucius* L.) середньою масою відповідно 200—220 г та 150—170 г. Вивчали вплив кобальту у двох концентраціях — 2 ГДК і 5 ГДК, що в перерахунку на іони Co^{2+} становить 0,1 та 0,25 мг/дм³. Ці концентрації є такими, що переважно використовуються під час досліджень водної інтоксикації і зумовлюють формування в організмі риб адаптивної реакції на стрес-чинник. Використання менших концентрацій було б недоцільним через відсутність ефекту їхнього впливу на досліджувані показники як у гострому, так і в хронічному експериментах.

Метал вносили у воду 200-літрових акваріумів, де знаходилися дослідні групи риб (по п'ять особин у кожному), у вигляді $\text{CoCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$. З метою зниження впливу на риб їхніх власних екзометаболітів воду в акваріумах змінювали щодводобово. Для досягнення стану розвитку і максимального прояву функціонування компенсаторно-адаптивних реакцій до дії металу аклімацію риб здійснювали протягом 14 діб. Цей період є достатнім для формування адаптивних реакцій в організмі екзотермних тварин.

Для дослідження відбирали тканини печінки, білих м'язів спини та кров. Тканини печінки та м'язів гомогенізували, а з крові отримували сироватку [6]. Активність аспартат- та аланінамінотрансферази (К.Ф. 2.6.1.1 і 2.6.1.2) в гомогенатах і сироватці крові визначали колориметрично за Рейтманом і Франкелем [25]. Загальний вміст білків у тканинах досліджуваних видів риб визначали за методом Лоурі та співавт. [20]. Отримані результати піддавали статистичному аналізу з використанням пакету «Microsoft Excel».

Результати досліджень та їх обговорення

Оцінка активності ферментів у тканинах водних організмів при діагностиці впливу забруднюючих речовин є перспективним напрямом токсикологічного моніторингу. Трансамінування є одним із основних шляхів синтезу та дезамінування амінокислот, що забезпечує взаємоперетворення між вуглеводним і білковим метаболізмом за стресових умов для забезпечення енергетичних потреб організму. Аспартатамінотрансфераза (АсАТ) та аланінамінотрансфераза (АлАТ) і є специфічними ферментами, підвищення або зниження активності яких вказує на пошкодження тканин печінки, нирок, м'язів і зябер [15, 22].

Спостерігаючи зростання вмісту одних амінокислот та зменшення рівня інших у м'язах та печінці риб за дії іонів важких металів можна припустити, що роль трансаміназ полягає не стільки в прямій детоксикації цих іонів, скільки у адаптивному перерозподілі білкових та амінокислотних резервів організму риб [5]. Отримані нами дані підтверджують це припущення. Вони доводять, що підвищені концентрації іонів кобальту впливають на активність амінотрансфераз у досліджуваних тканинах карася та щуки. Зокрема, при вивченні впливу досліджуваного металу було відмічено, що печінка, орган який забезпечує у риб знешкодження токсикантів, реагує на кобальт у карася і щуки по різному. Так, у печінці карася активність АсАТ зростає на 14,5 % за дії 0,1 мг/дм³ та на 38,2 % – за впливу 0,25 мг/дм³ іонів Co²⁺. Водночас у печінці ж щуки активність цього ферменту знижується на 26,6 % за впливу 0,1 мг/дм³ Co²⁺ і зростає на 40,0 % за концентрації 0,25 мг/дм³ іонів металу у воді (табл. 1).

Активність АсАТ є основною ланкою малат-аспартатного човникового шляху, який посилює своє функціонування при стимуляції фізіологічних функцій організму [23]. АсАТ, шунтуючи цикл Кребса, веде до того, що активно окислюється не лимонна, а бурштинова кислота. Щодо аспартату, який утворюється в результаті переамінування глутамату, то він, переважно, використовується на синтез азотистих сполук.

У м'язовій тканині карася активність АсАТ практично не змінюється у карася за дії 0,1 мг/дм³ металу у воді та відмічається тенденція до зниження активності ферменту за впливу 0,25 мг/дм³ іонів Co²⁺. У м'язах щуки обидві досліджені концентрації іонів кобальту призводять до зниження активності зазначеного ферменту — на 20,5 % при 0,1 мг/дм³ та на 5,4 % -- при 0,25 мг/дм³. Водночас слід відмітити досить високу активність АсАТ в м'язах досліджуваних видів риб, порівняно з печінкою та сироваткою крові, що свідчить про важливу роль цього ферменту в білко-

Таблиця 1
Активність аспартатамінотрансферази у тканинах карася і щуки за дії іонів Co²⁺
($M \pm m$, $n = 5$)

Види риб	Контроль	0,1 мг/дм ³	0,25 мг/дм ³
Печінка (мкмоль ПВК/мг білка·год)			
Карась	0,76±0,04	0,87±0,02*	1,05±0,10*
Щука	0,30±0,03	0,22±0,04	0,42±0,01*
М'язи (мкмоль ПВК/мг білка·год)			
Карась	1,60±0,11	1,64±0,16	1,51±0,08
Щука	2,24±0,13	1,78±0,12*	2,12±0,08
Сироватка крові (мкмоль ПВК/мг білка·год)			
Карась	0,19±0,06	0,20±0,03	0,21±0,04
Щука	0,15±0,01	0,14±0,02	0,13±0,01

Примітка. * Тут і в табл. 2 – різниця вірогідна порівняно з контролем ($p < 0,05$).

вому обміні риб. Так, значну активність АсАТ було виявлено у м'язовій тканині коропа за різних температур і значень рН [11]. З огляду на те, що у кісткових риб м'язова тканина становить 50% маси тіла, її роль у запасанні та перерозподілі енергетичних субстратів у гідробіонтів може бути досить значною [29].

Активність АсАТ у сироватці крові як у карася, так і у щуки практично не змінюється за дії обох концентрацій металу у воді. Активність цього ферменту тут значно нижча, ніж у печінці та м'язах. Зазначене свідчить про те, що реакція систем переамінування в крові на дію іонів кобальту має тканинну та видову специфіку і практично не залежить від концентрації металу в оточуючому водному середовищі.

За дії на організм карася та щуки підвищених концентрацій іонів кобальту також були відмічені зміни у функціонуванні АлАТ (табл. 2). Так, у печінці карася активність цього ферменту за дії 0,1 мг/дм³ іонів металу у воді практично не відрізнялась від контрольних значень, тоді як за концентрації 0,25 мг/дм³ — зростала на 49,1 %. У печінці щуки спостерігалось достовірне зростання активності АлАТ на 28,9 % лише за меншої концентрації іонів Co²⁺. Отримані нами дані свідчать про важливу роль печінки в азотовому обміні у риб, що узгоджується з даними літератури [7].

У м'язовій тканині досліджуваних видів риб також спостерігали зміни в активності АлАТ. Так, зокрема, у м'язах карася активність цього ферменту за дії сублетальних концентрацій іонів кобальту у воді практично не змінювалась щодо контрольних величин. У м'язах щуки, натомість, активність АлАТ практично не змінювалась за концентрації 0,1 мг/дм³ іонів кобальту та зростала на 11,7 % при 0,25 мг/дм³ іонів металу у воді.

Аланін утворюється у м'язах в результаті реакції трансамінування з пірувату, кінцевого продукту гліколізу, що часто відбувається за умов токсичного стресу. Джерелом пірувату при синтезі аланіну є глюкоза, яка поглинається з крові, або утворюється у м'язовій тканині в результаті

Таблиця 2

Активність аланінамінотрансфери у тканинах карася і щуки за дії іонів Co²⁺
($M \pm m$, $n = 5$)

Види риб	Контроль	0,1 мг/дм ³	0,25 мг/дм ³
Печінка (мкмоль ПВК/мг білка/год)			
Карась	1,14±0,14	1,22±0,14	1,70±0,18*
Щука	0,38±0,03	0,49±0,03*	0,40±0,04
М'язи (мкмоль ПВК/мг білка/год)			
Карась	0,55±0,06	0,58±0,08	0,52±0,06
Щука	2,83±0,10	2,88±0,14	3,16±0,10*
Плазма крові (мкмоль ПВК/мл сироватки крові/год)			
Карась	0,045±0,007	0,054±0,009	0,024±0,005*
Щука	0,014±0,003	0,026±0,004*	0,012±0,003

розщеплення глікогену, або ж як продукт глюкозо-аланінового циклу. З м'язової тканини аланін з током крові переноситься в печінку, де його вуглеводний скелет після дезамінування використовується в процесах глюконеогенезу. Описане перетворення глюкози в аланін у м'язовій тканині і перетворення останнього в печінці знову у глюкозу відоме як глюкозо-аланіновий цикл [16]. Даний цикл активно функціонує в організмі риб при інтоксикації аміаком [3], а також при підвищених концентраціях у водному середовищі іонів важких металів [21].

Активність АлАТ у сироватці крові піддослідних видів риб значно нижча, ніж у печінці та м'язах. За дії іонів кобальту, активність АлАТ в сироватці крові карася зростала на 20,0 % за дії 0,1 мг/дм³ і знижувалася на 46,6 % при концентрації 0,25 мг/дм³ іонів металу у воді. Дослідженнями [18] встановлено, що активність ферментів трансамінування залежить як від концентрації іонів металу, так і від експозиції.

У сироватці крові шуки активність зазначеного ферменту в 3,2 раза нижча, ніж у карася. За дії 0,1 мг/дм³ кобальту активність АлАТ зростала на 85,7 %, а за концентрації 0,25 мг/дм³ іонів Co²⁺ достовірних змін щодо контрольних значень не відмічено. Очевидно, у риб за дії важких металів зростають енергетичні потреби, що забезпечуються за рахунок як глюкози, так і білків плазми крові. Так, з літератури [27] відомо, що за дії сублетальних концентрацій іонів цинку (1 та 5 мг/дм³) активність АлАТ та АсАТ у сироватці крові *Clarias gariepinus* зростала.

Поряд з визначенням активності трансаміназ у тканинах досліджуваних гідробіонтів, інформативним показником функціонування аланін- та аспартатамінотрансфераз у тканинах риб є їх співвідношення, зокрема при дії іонів важких металів. Співвідношення активності АсАТ і АлАТ (коефіцієнт де Рітца) широко використовується в діагностичній медицині [14].

Аналіз отриманих результатів показав, що вплив 0,1 мг/дм³ іонів кобальту викликав як у плазмі крові карася, так і у шуки зниження співвідношення АсАТ/АлАТ (табл. 3). Водночас зростання концентрації іонів металу у середовищі аклімації до 0,25 мг/дм³ призводило до зростання даного показника у плазмі крові карася у 2,1 раза, тоді як у шуки співвідношення АсАТ/АлАТ поверталось до контрольних значень.

Очевидно зі зростанням концентрації іонів металу в середовищі роль АсАТ у процесах трансамінування в крові риб зростає, що зумовлено

Таблиця 3

Співвідношення активності АсАТ/АлАТ у плазмі крові риб за дії сублетальних концентрацій іонів кобальту

Групи риб	Карась	Щука
Контроль	4,22	10,71
0,1 мг/дм ³	3,70	5,38
0,25 мг/дм ³	8,75	10,83

впливом іонів металу на експресію генів у організмі риб. Так, методом RNA-Seq було показано, що в печінці японської камбали, яка піддавалася впливу 15 мг/л нікелю протягом 28 днів, було виявлено 184 гени з підвищеною та 185 — зі зниженою регуляцією. У випадку дії сублетальної концентрації кобальту було виявлено 920 генів з підвищеною регуляцією та 457 генів зі зниженою. Серед експресованих генів у риб 162 були спільними як для нікелю, так і для кобальту [26].

Висновки

В результаті проведених досліджень, відмічено зростання активності аспаратамінотрансферази в печінці карася і щуки за дії сублетальних концентрацій іонів Co^{2+} , тоді як у м'язах та плазмі крові риб зміни у функціонуванні цього ферменту були незначними.

Зміни активності аланінамінотрансферази за дії іонів Co^{2+} мали виражену видову, тканинну та концентраційну специфіку. Так, у карася активність ферменту за концентрації 0,25 мг/дм³ зростала у печінці та знижувалася у плазмі крові. У щуки відмічалась активація аланінамінотрансферази у печінці та плазмі крові за дії 0,1 мг/дм³ та у м'язах за концентрації 0,25 мг/дм³ іонів металу.

Отже, функціонування трансаміназ відображає зміни інтенсивності та спрямованості обмінних процесів в організмі досліджуваних видів риб за інтоксикації їх організму кобальтом. Отримані показники функціонування трансаміназ в організмі риб також можуть бути використані як індикатори функціонального стану організму риб як у нормі, так і за дії на них екстремальних чинників оточуючого водного середовища, зокрема металів.

Список використаної літератури

1. Грициняк І.І., Фріштак О.М., Пірус Р.І. та ін. Вплив хлористого кобальту на ріст і фізіолого-біохімічні показники дволіток коропа. *Наук. вісн. ЛНУВМБТ ім. С.З. Гжицького*. 2012. Т. 14, № 3 (53) Ч. 2. С. 59—62.
2. Грубінко В.В., Арсан О.М. Динаміка амінокислот і амідів у прісноводних риб при дії амонію. *Доп. Нац. акад. наук Укр.* 1991. Сер. Б. № 3. С. 142—145.
3. Грубінко В.В., Арсан О.М. Роль глюкозо-аланінового циклу в адаптації риб до аміаку. *Там само*. 1995. Сер. Б, № 1. С. 102—105.
4. Дудник С.В., Євтушенко М.Ю. Водна токсикологія: основні теоретичні положення та їхнє практичне застосування. Київ : Український фітосоціологічний центр, 2013. 295 с.
5. Курант В.З. Роль білкового обміну в адаптації риб до дії іонів важких металів : автореф. дис. ... докт. біол. наук. Київ, 2003. 38 с.
6. Неменова Ю.М. Методи лабораторних клінічних досліджень. Київ : Вища шк., 1976. 405 с.
7. Романенко В.Д. Печень и регуляция межуточного обмена (млекопитающие и рыбы). Киев : Наук. думка, 1978. 183 с.
8. Романенко В.Д. Основи гідроекології. Київ : Обереги, 2001. 728 с.
9. Хоменчук В.О. Біохімічні особливості проникнення і розподілу деяких важких металів в організмі коропа лускатого : автореф. дис. ... канд. біол. наук. Львів, 2003. 18 с.

10. Яковенко Б.В. Особливості метаболізму гліцину в організмі коропа лускатого : автореф. дис. ... докт. біол. наук. Львів, 1993. 38 с.
11. Яковенко Б.В., Курант В.З., Явоненко А.Ф. Влияние температуры и рН среды на активность некоторых аминотрансфераз в тканях карпа. *Гидробиол. журн.* 1981. Т. 17. № 2. С. 69—72.
12. Ahilan B., Jeyaseelan M. J. P. Effect of cobalt chloride and vitamin B₁₂ on the growth and gonadal maturation of goldfish, *Carassius auratus*. *Ind. J. Fish.* 2001. Vol. 48. P. 369—374.
13. Annabi A., Khaled S., Imed M. Cadmium: bioaccumulation, histopathology and detoxifying mechanisms in fish. *Am. J. Res. Com.* 2013. Vol. 1 (4). P. 60—79.
14. Botros M, Sikaris KA. The de Ritis ratio: the test of time. *Clin. Biochem. Rev.* 2013. Vol. 34 (3). P. 117—130.
15. Coz-Rakovac R., Smuc T., Topic Popovic N. et al. Novel methods for assessing fish blood biochemical data. *J. Appl. Ichthyol.* 2008. Vol. 24. P. 77—80. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2007.01041.x>
16. Goldberg A.L., Chang T.W. Regulation and significance of amino acid metabolism in skeletal muscle. *Fed. Proc.* 1988. Vol. 37, N 9. P. 2301—2307.
17. Hamilton E.I. The geobiochemistry of cobalt. *Sci. Total. Environ.* 1994. Vol. 150 (1—3). P. 7—39. [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(94\)90126-0](https://doi.org/10.1016/0048-9697(94)90126-0)
18. Heydarnejad M.S., Khosravian-Hemamai M., Nematollahi A. Effects of cadmium at sub-lethal concentration on growth and biochemical parameters in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Ir. Vet. J.* 2003. Vol. 66, N 11. <https://doi.org/10.1186/2046-0481-66-11>
19. Li X., Lin H., Zhu Zh. et al. Effects of Co sources and levels on growth performance, serum biochemistry, metabolic activities and Co contents in the tissue for juvenile *Litopenaeus vannamei*. *North Am. J. Aquacult.* 2022. Vol. 84, N 3. P. 336—344.
20. Lowry O.H., Rosebrough N.J., Farr A.I., Randall R.J. Protein measurement with the Folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.* 1951. Vol. 193, N 1. P. 265—275.
21. Moore J.W., Ramamoorthy S. Heavy metals in natural waters. Berlin, Heidelberg, New York : Springer, 1984. 270 p.
22. Oluah N.S. Plasma aspartate amino transferase activity in the catfish *Clarias albopunctatus* exposure to sublethal zinc and mercury. *Bul. Environ. Contam. Toxicol.* 1999. Vol. 63. P. 343—349. <https://doi.org/10.1007/s001289900986>
23. Papachristodoulou D., Snape A., Elliott W.H., Elliott D.C. Biochemistry and molecular biology. Oxford : Oxford Univ. Press, 2018. 607 p.
24. Popov A.N., Bezzaponnaya O.V. Study of heavy metal compound transformations in surface waters. *Water Res.* 2004. Vol. 31. P. 41—45. <https://doi.org/10.1023/B:WARE.0000013571.43692.c6>
25. Reitman S., Franckel S. Colorimetric determination of glutamic oxaloacetic and glutamic pyruvic transaminases. *Am. J. Clin. Path.* 1957. Vol. 28. P. 53—56. <https://doi.org/10.1093/ajcp/28.1.56>
26. Sun Zh., Gong Ch., Ren J. et al. Toxicity of nickel and cobalt in Japanese flounder. *Environ. Pollut.* 2020. Vol. 263. Part B. 114516. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114516>
27. Tuncsoy M., Duran S., Yesilbudak B. et al. Short term effects of zinc on some sera biochemical parameters and tissue accumulation of *Clarias gariepinus*. *Fresenius Environ. Bul.* 2016. Vol. 2. P. 658—664.
28. Wood C.M., Farrell A.P., Brauner C.J. Homeostasis and toxicology of essential metals. *Fish Physiology.* London : Acad. Press, 2011. Vol. 31. Part A. 497 p.
29. Yevtushenko N.Yu., Dudnyk S.V., Rudyk-Leuska N.Ya., Khyzhniak M.I. Factors determining the degree of heavy metals' toxicity to fish (a review). *Hydrobiol. J.* 2021. Vol. 57, N 4. P. 75—85.

Надійшла 11.03.2024

N.O. *Vovchek*, PhD student,
Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University,
M. Kryvonosa St., 2, Ternopil, 46027, Ukraine
e-mail: natvovchek@ukr.net
ORCID: 0000-0002-2292-3477

V.S. *Markiv*, PhD student,
Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University,
M. Kryvonosa St., 2, Ternopil, 46027, Ukraine
e-mail: vitya.marktwen@gmail.com
ORCID: 0000-0003-1294-7827

V.O. *Khomenchuk*, PhD (Biol.), Assoc. Prof.,
Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University
M. Kryvonosa St., 2, Ternopil, 46027, Ukraine,
e-mail: khomenchuk@tnpu.edu.ua
ORCID: 0000-0003-0500-6754

V.Z. *Kurant*, Dr. Sci. (Biol.), Prof.,
Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University
M. Kryvonosa St., 2, Ternopil, 46027, Ukraine
e-mail: kurant@tnpu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-3349-046X

ACTIVITY OF TRANSAMINATION PROCESSES IN FRESHWATER FISH ORGANISMS UNDER THE ACTION OF COBALT IONS

*The role of transamination processes in the tissues of crucian carp (*Carassius gibelio* Bloch.) and pike (*Esox lucius* L.) in maintaining the homeostasis of metabolites of protein metabolism under the action of 2 and 5 maximum permissible concentrations (MPC) of cobalt, in terms of ions 0.1 and 0.25 mg/dm³ was studied. An increase in the activity of aspartate aminotransferase (AST) was noted in the liver of crucian carp and pike under the influence of sublethal concentrations of Co²⁺ ions, while in the muscles and blood plasma of fish, changes in the functioning of this enzyme were insignificant. Changes in the activity of alanine aminotransferase (ALT) under the action of Co²⁺ ions had pronounced species, tissue and concentration specificity. Thus, in crucian carp, enzyme activity at a concentration of 0.25 mg/dm³ increased in the liver and decreased in blood plasma. ALT activation was noted in pike in the liver and blood plasma under the action of 0.1 mg/dm³ and in muscles under the concentration of 0.25 mg/dm³ of metal ions. In general, the reaction of the transamination system in crucian carp and pike after intoxication with cobalt ions indicates the restructuring of amino acid and protein metabolism in order to ensure energetic and plastic adaptation to the stress effect of the toxicant. Changes in the activity of transamination enzymes can informatively reflect the state of the organism under the influence of increased concentrations of heavy metal ions, serve as a characteristic of the degree of endurance of the studied fish species to pollution, and can also be used to predict changes in biocenoses in places of heavy metal pollution. All of the above makes fish an object suitable for bioindication of the state of the aquatic environment.*

Key words: crucian carp, pike, transaminases, cobalt.