

РЕЦЕНЗІЯ
на дисертаційну роботу Марківа Віктора Степановича
на тему «Особливості ліпідного складу та стану антиоксидантної
системи прісноводних риб за дії іонів кобальту», представлену
на здобуття наукового ступеня доктора філософії
в галузі – «Біологія» за спеціальністю 091– «Біологія»

Актуальність теми.

Інтенсифікація антропогенного впливу на водну біоту та його переорієнтація на мікрозабруднювачі призводить до того, що перелік пріоритетних забруднювачів оновлюється. Це вимагає і перегляду підходів до ключових завдань у оцінці екотоксичності водойм. Зокрема, відзначається зростання забруднення водойм іонами кобальту, а до традиційних джерел його потрапляння у водойми додається як суттєвий чинник використання кобальту як ключового елемента у виробництві літєвих батарей. На наш час, на цю галузь припадає 49% глобальної продукції кобальту (Alves Dias et al., 2018). Відтак, у 2025 р Агентство з реєстру токсичних речовин та захворювань (ATSDR) США включило кобальт у перелік пріоритетних сполук на 49-й позиції, (<https://www.atsdr.cdc.gov/programs/substance-priority-list.html>). Проте, рівень кобальту у поверхневих водах становить близько 1 мкг/л, а максимальні концентрації відзначені епізодично сягають 100 мкг/л. Поряд з цим, кобальт належить до есенціальних мікроелементів та, зокрема, відіграє важливу роль у покращенні антиоксидантного статусу та імунної відповіді промислових видів риб. Так, для окуня, оптимальна потреба у кобальті становить 0,24 - 0,26 мг/кг харчового кобальту (Huang et al., 2024; <https://doi.org/10.3390/vetsci11110576>). Разом з тим, інформація стосовно впливу іонів кобальту на ліпідний обмін стосується здебільшого вищих хребетних. Відтак, тема дослідження, присвячена вивченню концентраційно-залежного впливу іонів кобальту на ліпідний метаболізм та, відповідно, на стан антиоксидантного захисту, як на ціннісний показник стану цього метаболізму у двох промислових видів прісноводних риб, безсумнівно є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Робота виконувалась у межах науково-дослідної держтематики «Дослідження токсикорезистентності прісноводних риб до дії чинників водного середовища» (№ 0122U001543, науковий керівник проф. Володимир Курант), міжнародного проекту NATO SPS Multiyear Research Project G6094 та прикладного проекту молодих вчених МОН України у 2025-2027 р.р. «Оцінка впливу мілітарного забруднення на безпечність річково-басейнових систем на основі біореакцій та математичного моделювання» (№0125U000451, науковий керівник PhD Ігор Кузик).

Метою роботи, як зазначено автором, було здійснити порівняльну характеристику стану окремих фракцій ліпідного складу та антиоксидантної системи карася та щуки за впливу підвищених концентрацій іонів кобальту

водного середовища. Сформульовані сім завдань відповідають цій меті та передбачають визначення вмісту кобальту у тканинах риб, детальне дослідження фракційного складу ліпідів, утворення продуктів їх окисного ушкодження, а також кореляційних аналіз взаємозв'язків виявлених закономірностей.

Наукова повизна одержаних результатів полягає в тому, що уперше було проаналізовано видову специфічність чутливості ліпідного обміну двох видів риб, відмінних за екологічними вимогами. Обґрунтовано високу резистентність карася до викликів довкілля пластичністю ліпідного складу та стабільністю системи антиоксидантного захисту. З використанням широкого спектру показників уперше встановлено молекулярні мішені впливу кобальту на ліпіди тканин карася та щуки. Зокрема визначено, що за умов впливу на організм іонів кобальту (III) відбуваються деструктивні зміни у ліпідах мембран, тоді як резерви триацилгліцеролів не зазнають помітних змін.

Практичне значення роботи. Оскільки кобальт є важливим есенціальним мікроелементом, що входить до складу вітаміну В₁₂ та низки ензимів, встановлення безпечного діапазону його вмісту у промислових водоймах дозволить оптимізувати харчові раціони риб. Поєднане дослідження впливу іонів кобальту на два види риб має практичну актуальність з огляду на впровадження концепції багатовидового рибальства.

Результати роботи також можуть бути впроваджені у навчальний процес при викладанні дисциплін «Біохімія», «Гідробіологія», «Водна токсикологія», «Експериментальна екологія», «Екологічний моніторинг» для здобувачів закладів вищої освіти природничих спеціальностей.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій. У дисертації ґрунтовно висвітлена сучасна література із дослідженої тематики. Наукові положення та висновки дисертанта підтверджуються великим обсягом експериментального матеріалу, його глибоким аналізом, застосуванням сучасних методів біохімічних досліджень та їх систематизацією за допомогою кореляційного аналізу. Дисертація Віктора Марківа є самостійною, завершеною науковою працею, в якій вирішується актуальна конкретна проблема щодо впливу іонів кобальту водного середовища на акумуляцію кобальту у тканинах, ліпідний склад та стан системи антиоксидантного захисту у двох видів прісноводних риб з різними екологічними вимогами.

Структура та обсяг дисертації. Загальний обсяг дисертації становить 164 сторінки. Основний зміст роботи викладено на 132 сторінках комп'ютерного тексту. Структура дисертації включає традиційну рубрикацію: вступ, огляд літератури, розділ «Матеріали та методи дослідження», розділи власних досліджень, аналіз та узагальнення результатів, висновки та список використаних джерел. Робота ілюстрована 58 рисунками та містить 4 таблиці. Список використаних джерел налічує 218 джерел, з яких 213 – латиною.

В огляді літератури, на який припадає 21% обсягу основної частини роботи, дисертант розглядає фундаментальні основи ролі іонів кобальту у

біологічних системах з акцентом на його роль у метаболізмі ліпідів та амінокислот. Як вірно відзначає автор, на сучасному етапі розвитку досліджень, переоглядається біологічна роль кобальту як складника сигнальної системи, зокрема розглядається його здатність модулювати когнітивні функції та реакцію клітин на гіпоксію в організмі риб. Детально описано форми кобальту у природі та їх екотоксичність. Проте цей аналіз подається подекуди поверхнево. Зокрема, на с 35, коли дисертант повідомляє про факти іонної мімікрії за участю кобальта, варто було би глибше проаналувати специфіку конкуренції з іншими металами, ґрунтуючись на теорії кислот та основ Пірсона та на встановлених фактах конкуренції з іонами цинку та купруму у складі металотіонеїнів водних тварин (роботи Falfushynska et al., виконані на кафедрі хімії ТНПУ та опубліковані у виданнях кваліфікації Q1-Q2 (*Chemosphere*, 2012; *Comp Biochem Physiol C Toxicol Pharmacol*, 2014, 2015; *Aquat. Toxicol.* 2016)). У підрозділі 1.3. «Методи аналізу та контролю кобальту в гідроєкосистемах» дисертант подає огляд хімічних методів, який логічно завершується визнанням вимоги до необхідності залучення методів біоіндикації у екологічну характеристику цього елемента. У підрозділі 1.4 «Вплив важких металів на ліпідний обмін риб» дається характеристика патології ліпідного складу тканин риб за впливу на організм металів та металоїдів, зокрема цинку, купруму, кадмію, миш'яку, марганцю, свинцю та ртуті. Як влучно підкреслює автор, зміни у ліпідному спектрі риб мають два чітко виражені вектори: деградацію структурних компонентів та зміну пулу енергетичних резервів. При цьому відзначається, що кобальт вимагає особливого підходу до оцінки його токсичності та уточнення ролі саме цього металу в трансформації ліпідного обміну риб.

Загалом, огляд літератури написано грамотною науковою мовою, з використанням сучасних джерел літератури та свідчить, як і фрагменти обґрунтування у розділі «Результати» про обізнаність дисертанта із сучасними джерелами літератури щодо впливу кобальта та фізіологічні процеси у організмі риб.

Розділ «Матеріали та методи досліджень» містить детальну інформацію про організацію експерименту, групи експериментальних тварин та застосовані практичні процедури з постановки експериментів та лабораторного аналізу. Проте у розділі відсутня інформація про джерело надходження риби, період депурації, вік і стать риби, а також сезон проведення дослідів (що може впливати на особливості вмісту та складу ліпідів). Автором застосовано добре апробовані класичні методи морфологічного, біохімічного та статистичного аналізу.

Експериментальні результати подані у розділах III, IV та V. У розділі III доведено, що тільки у зябрах щуки за впливу 0,25 мг/л кобальту відбувається його накопичення. Зазначену тенденцію у зябрах карася не можна обговорювати як зміни проти контрольного рівня. Натомість у карася кобальт акумулюється у печінці та м'язах. Отримані результати являють особливий інтерес у пошуку залежностей із тканиною специфічністю обміну ліпідів.

У розділі IV автор розглядає вплив двох концентрацій кобальту на спектр ліпідів у тканинах риб: загальний вміст, вміст ацилгліцеролів, фосфоліпідів та жирних кислот. Встановлено, що у обох видів риб спільною реакцією є значна мобілізація ліпідних резервів скелетних м'язів та накопичення неестерифікованих жирних кислот, збільшення частки фосфатидилхоліну

відносно сфінголіпідів та фосфатидилетаноламіну у зябрах. Поряд з цим відзначено видову специфічність змін ліпідного спектру у печінці та м'язах. При цьому у карася зростає вміст ω -3 жирних кислот (шість подвійних зв'язків), тоді як у щуки їх вміст (п'ять подвійних зв'язків) зменшується. Загалом, вплив 0,1 мг/л кобальту був менш помітним, ніж 0,25 мг/л.

Оцінка стану системи антиоксидантного захисту за активність ензиму знешкодження активних форм кисню (каталази) та біотрагсформації (глутатіон S-трансферази), вмістом глутатіону та показниками окисної деструкції ліпідів показала принципові видові відмінності, а саме активацію системи глутатіону у карася та її пригнічення, поєднане з посиленням перекисного окиснення ліпідів, у щуки, що проявляється за впливу 0, 25 мг/л кобальту. Разом з тим, у щуки зростає загальна антиоксидантна активність (ЗАА) у зябрах. Проте, слід відзначити, що ЗАА, визначена у еквівалентнах Тролоксу у реакції з радикалом ABTS, визначає вміст реакційно здатних фенолів, активність яких визначає антиоксидантний захист у рослинних тканинах і менше виражена у тварин. Активність ензимів також мала різну концентраційну залежність від дії кобальту у двох видів риб.

У розділі VI дисертант здійснив ретельний кореляційний аналіз показників та, на його основі, сформулював узагальнення щодо перспективності характеристик ліпідного обміну двох видів риб у оцінці впливу токсичного навантаження кобальтом у водоймах.

На основі проведених досліджень дисертант формулює **вісім висновків**, які відповідають поставленим завданням та розкривають головні результати дослідження.

Дискусійні положення, запитання та зауваження щодо змісту та оформлення дисертації. Принципових недоліків у роботі мною не виявлено, але є низка питань дискусійного характеру

1. Як обґрунтовується відмінність у реакціях ліпідного обміну двох видів особливостями їх способів існування? Обидва види належать до риб з низьким вмістом ліпідів, т.з. «нежирних» (<4% від маси тіла). Чому для дослідження було зроблена саме такий вибір видів?

2. Автор подекуди використовує кліше «важкі метали», зокрема в огляді літератури та при обговорення. Варто було би більше сконцентруватися саме на дії кобальту (III) у порівнянні з іонами металів з подібними електронними оболонками.

3. Варто було обчислити фактор біоконцентрування (BCF) кобальту у тканинах та порівняти його з відомими з літератури даними.

4. Висновки недостатньо лаконічні і містять елементи припущень. Конкретизуйте, будь ласка, які саме результати свідчать «що щука виступає високочутливими біоіндикатором ранніх стадій забруднення водойм важкими металами» ...а «карась є репрезентативним видом для оцінки загального адаптаційного потенціалу іхтіофауни за умов хронічного антропогенного навантаження». Чи можна узагальнювати про важкі метали, хронічне антропогенне навантаження та адаптаційний потенціал, якщо вивчався вплив лише кобальту та суто на ліпідний обмін?

5. Некоректно робити висновок про «закономірну модифікацію ліпідного бішару та «збереження структурної стабільності клітинних мембран», або «дестабілізацію ліпідного бішару» без аналізу вмісту холестеролу та безпосередньої оцінки стабільності мембран..

6. При рекомендації біохімічних маркерів варто обмежити їх перелік та конкретизувати ознаки їх реакції. Чи є новітнім висновок про доречність використання вмісту глутатіону та інтенсивності пероксидного окиснення ліпідів у риб для оцінки токсикологічного статусу водних екосистем?

7. Запитання до аспектів методик: Чому вміст глутатіону перераховували на вміст протеїну, а не на масу тканини?

8. Вміст протеїнів визначався насправді не у гомогенатах, а у розчинній фракції гомогенату (супернатанті) - це т.з. розчинний протеїн, тоді як його вміст у гомогенаті включає і вміст мембранних протеїнів. На С 52 зазначається: «відповідно до попередньо побудованої калібрувальної кривої», але ж калібрувальні показники треба контролювати щоразу.

9. У карася печінка відсутня, а її функції виконує гепатопанкреас.

10. Не зрозуміло: «14-денний період акліматизації» - це період попередньої депурації, чи період суб-хронічної експозиції?

11. С 43 – недоречне посилання на роботу Vovchek et al., 2025 щодо базового обґрунтування «Якщо рівень акумуляції важких металів перетинає межу фізіологічної потреби організму, розвивається інтоксикація, після чого ці елементи починають деструктивно взаємодіяти з клітинними структурами, провокуючи незворотні порушення фундаментальних життєвих процесів».

Висловлені зауваження і рекомендації не впливають на високу оцінку дисертації Віктора МАРКІВА, яка є завершеною ґрунтовною науковою роботою.

Повнота викладу результатів дисертації в опублікованих працях

За матеріалами дисертаційного дослідження опубліковано 15 наукових праць, зокрема 6 статей у фахових виданнях (одна з яких індексується у наукометричній базі даних Scopus) та 9 тез доповідей на міжнародних науково-практичних конференціях.

Відсутність порушення академічної доброчесності

У дисертації В.С. Марківа не виявлено ознак академічного плагіату, самоплагіату, фабрикації, фальсифікації та інших порушень, що могли б поставити під сумнів самостійний характер виконання дисертаційного дослідження.

Анотація у повній мірі відображає зміст роботи. Вона не містить тверджень чи ідей, які не наведені в основному тексті дисертації.

Дисертація написана змістовно, літературною мовою, стиль викладання матеріалу науковий, твердження висловлені логічно та послідовно.

На основі всього вище переліченого вважаю, що дисертаційна робота Марківа Віктора Степановича на тему «Особливості ліпідного складу та стану антиоксидантної системи прісноводних риб за дії іонів кобальту», яка подана на здобуття ступеня доктора філософії, за своїм науковим рівнем та практичною

цінністю, змістом та оформленням відповідає вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 р. №44 та сучасним вимогам до оформлення дисертацій, затвердженим наказом Міністерства освіти і науки України від 12 січня 2017 р. № 40, а її автор заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 09 «Біологія» за спеціальністю 091 «Біологія».

Рецензент:

доктор біологічних наук,
професор кафедри хімії та методики її навчання
Тернопільського національного педагогічного
університету імені Володимира Гнатюка

Оксана СТОЛЯР

22.05.2026

