



Copyright (c) 2025 Maryna Yachna, Alexandr Tretyak

Ця робота ліцензується відповідно до [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) / This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Марина Ячна, Олександр Третяк
ОСОБЛИВОСТІ ПОРУШЕННЯ ЛІПІДНОГО ОБМІНУ
В КОРОПА ЛУСКАТОГО (*CYPRINUS CARPIO* L.)
ЗА ДІЇ ТОКСИКАНТІВ РІЗНОЇ ХІМІЧНОЇ ПРИРОДИ



Maryna Yachna, Alexandr Tretyak

PECULIARITIES OF LIPID METABOLISM DISRUPTION
IN COMMON CARP (*CYPRINUS CARPIO* L.)
EXPOSED TO TOXICANTS OF DIFFERENT CHEMICAL NATURE

АНОТАЦІЯ

Сучасне антропогенне навантаження на водні екосистеми спричиняє зростання концентрацій токсикантів у водоймах, що становить серйозну екологічну загрозу для водних організмів. Особливу небезпеку становлять фосфатовмісні сполуки, поверхнево-активні речовини та важкі метали, які можуть взаємодіяти між собою, посилюючи токсичний ефект. У цих умовах вивчення впливу токсикантів на біохімічні процеси у водних організмах, зокрема на ліпідний обмін риб, є надзвичайно актуальним. Такі дослідження дозволяють глибше зрозуміти механізми адаптації гідробіонтів до токсичного навантаження та оцінити екологічний стан водойм.

Мета роботи. З'ясувати особливості впливу окремих (фосфатів, фосфонатів, лаурилсульфату натрію) і комбінованих (фосфатів і солей важких металів) токсикантів на біохімічні показники крові та тканин коропа лускатого для визначення механізмів порушення ліпідного обміну під токсичним навантаженням.

Методологія. Експериментальні дослідження проводили на базі лабораторії екологічної біохімії Національного університету «Чернігівський колегіум» імені Т.Г. Шевченка. Об'єктом слугував короп лускатий масою 250–300 г. Оцінку впливу токсикантів: фосфати (7,0 мг/дм³ та 17,5 мг/дм³ відповідно 2 і 5 ГДК), фосфонати (2,28 мг/дм³ та 5,70 мг/дм³ відповідно 2 і 5 ГДК), лаурилсульфат натрію (0,02 мг/дм³ – 2 ГДК), солі Cu²⁺, Cd²⁺ і Pb²⁺ (відповідно 2,0 мг/дм³, 0,002 мг/дм³ і 0,02 мг/дм³, що відповідає 2 ГДК). Температуру підтримували на рівні +8...+10 °С, що відповідало природним умовам. Тривалість експерименту – 14 діб. Зміни біохімічних показників визначали у крові, м'язах, зябрах, печінці та мозку: кількісний вміст загальних ліпідів, фосфоліпідів та активність ліпази

Наукова новизна. Вперше встановлено тканинно-специфічні особливості зміни ліпідного обміну коропа лускатого на дію фосфатів, фосфонатів і лаурилсульфату натрію та сумісної дії фосфатів із солями важких металів.

Висновки. Встановлено, що досліджені токсиканти призводять до значних змін ліпідного обміну в тканинах коропа лускатого, що проявляється підвищенням концентрації ліпідів у крові та їх зниженням у периферійних органах. Найбільш токсичним є вплив фосфатів, що зумовлює порушення ліпідного гомеостазу, тоді як фосфонати та лаурилсульфат впливають м'якше, але системно. Сумісна дія фосфатів із солями важких металів (особливо Cd²⁺ та Pb²⁺) має синергічний ефект, що проявляється у зниженні вмісту фосфоліпідів і пригніченні активності ліпази. Найчутливішими до токсичного впливу виявилися зябра, печінка та мозок, що свідчить про високу реактивність цих тканин, а також про ключову роль печінки й зябер у процесах детоксикації. Отримані результати можуть бути корисними для екотоксикологічної оцінки стану водних екосистем забруднених токсикантами.

Ключові слова: короп лускатий (*Cyprinus carpio* L.), токсиканти, фосфати, фосфонати, лаурилсульфат натрію, солі важких металів, ліпідний обмін, фосфоліпіди, ліпаза, токсичність, екотоксикологія

ABSTRACT

Modern anthropogenic pressure on aquatic ecosystems leads to increased concentrations of xenobiotics in water bodies, posing a serious ecological threat to aquatic organisms. Phosphate-containing compounds, surfactants, and heavy metals pose a particular danger, as they can interact with each other and enhance the toxic effect. Under these conditions, studying the impact of xenobiotics on biochemical processes in aquatic organisms, particularly on fish lipid metabolism, is highly relevant. Such research provides a deeper understanding of the mechanisms of hydrobiote adaptation to toxic stress and allows for the assessment of the ecological status of water bodies.

Purpose of the work. To elucidate the effects of individual (phosphates, phosphonates, sodium lauryl sulfate) and combined (phosphates and heavy metal salts) xenobiotics on biochemical parameters of the blood and tissues of the scaly carp (*Cyprinus carpio*) in order to determine the mechanisms of lipid-metabolism disruption under toxic load.

Methodology. The experimental studies were conducted at the Laboratory of Ecological Biochemistry of the T. H. Shevchenko National University "Chernihiv Colehium". The object of the study was the scaly carp (*Cyprinus carpio*) weighing 250–300 g. The effects of the following toxicants were assessed: phosphates (7.0 mg/dm^3 and 17.5 mg/dm^3 corresponding to 2 and 5 MPC), phosphonates (2.28 mg/dm^3 and 5.70 mg/dm^3 corresponding to 2 and 5 MPC), sodium lauryl sulfate (0.02 mg/dm^3 – 2 MPC), and salts of Cu^{2+} , Cd^{2+} , and Pb^{2+} (2.0 mg/dm^3 , 0.002 mg/dm^3 , and 0.02 mg/dm^3 respectively, corresponding to 2 MPC). The temperature was maintained at $+8...+10^\circ\text{C}$ to mimic natural conditions. The duration of the experiment was 14 days. Changes in biochemical parameters were determined in the blood, muscles, gills, liver, and brain, including the quantitative content of total lipids, phospholipids, and lipase activity. All results were processed statistically.

Scientific novelty. For the first time, tissue-specific features of lipid metabolism alterations in scaly carp (*Cyprinus carpio*) under the influence of phosphates, phosphonates, and sodium lauryl sulfate, as well as under the combined action of phosphates and heavy metal salts, were established.

Conclusions. It was established that the studied xenobiotics cause significant alterations in lipid metabolism in the tissues of the scaly carp (*Cyprinus carpio*), manifested by an increase in lipid concentration in the blood and a decrease in peripheral organs. Phosphates were found to have the most toxic effect, leading to lipid homeostasis disruption, whereas phosphonates and sodium lauryl sulfate exerted milder but systemic effects. The combined action of phosphates with heavy metal salts (particularly Cd^{2+} and Pb^{2+}) produced a synergistic effect, resulting in a reduction of phospholipid content and inhibition of lipase activity. The gills, liver, and brain were found to be the most sensitive to toxic exposure, indicating the high reactivity of these tissues and the key role of the liver and gills in detoxification processes. The obtained results may be useful for ecotoxicological assessment of aquatic ecosystems contaminated with toxicants.

Key words: scaly carp (*Cyprinus carpio* L.), xenobiotics, phosphates, phosphonates, sodium lauryl sulfate, heavy metal salts, lipid metabolism, phospholipids, lipase, toxicity, ecotoxicology

Вступ

Інтенсивне антропогенне навантаження на водні екосистеми призводить до накопичення у водоймах широкого спектру токсикантів – синтетичних і природних сполук, які не властиві живим організмам і мають потенційну токсичність. Серед них особливе місце займають поверхнево-активні речовини (зокрема лаурилсульфат натрію) (Zicarelli et al., 2024), фосфати та фосфонати, які широко застосовуються у промисловості та побутовій хімії, а також сполуки важких металів, що потрапляють у довкілля з промисловими стоками. Потрапляючи до водойм, ці речовини не лише чинять шкідливий вплив на гідробіонтів, але й можуть взаємодіяти між собою, утворюючи комплекси з підвищеною біодоступністю та токсичністю (Garai et al., 2021). Саме тому дослідження комбінованої дії фосфатів із важкими металами поряд із впливом окремих токсикантів є важливим для глибшого розуміння механізмів біохімічної адаптації риб до забруднення водного середовища.

Короп лускатий (*Cyprinus carpio* L.) – представник прісноводної іхтіофауни, з високою чутливістю до змін гідрохімічних параметрів і вмісту токсичних речовин у воді – широко використовується як модельний об'єкт у токсикологічних та екотоксико-

логічних дослідженнях. Дослідження біохімічних показників крові коропа дозволяє оцінити як гострі, так і хронічні ефекти дії токсикантів на організм риб.

Особливу увагу у вивченні токсичного впливу хімічних сполук приділяють показникам ліпідного обміну. Ліпіди виконують не лише енергетичну, а й структурну та сигнальну функції, тому зміни їх вмісту відображають рівень метаболічної адаптації організму до дії стрес-факторів (Qi et al., 2023). Оцінка цих параметрів дозволяє виявляти ранні біохімічні порушення, та визначати загальний токсикологічний стан водойм (Grubinko, 2005). Саме тому метою дослідження було визначити особливості впливу окремих (фосфатів, фосфонатів, лаурилсульфату натрію) і комбінованих (фосфатів і солей важких металів) токсикантів на біохімічні показники тканин коропа лускатого з метою виявлення механізмів порушення ліпідного обміну в умовах токсичного навантаження.

Матеріали та методи дослідження

Дослідження проводили у 2017–2021 рр. на базі лабораторії екологічної біохімії Національного університету «Чернігівський колегіум» імені Т. Г. Шевченка.

Об'єктом дослідження – короп лускатий (*Cyprinus carpio* L.). Для експериментів відби-
рали 15 особин масою 250–300 г, виловле-

них із природної водойми – зимувального ставу БАТ «Чернігіврибгосп».

Оцінку впливу токсикантів: фосфати (7,0 мг/дм³ та 17,5 мг/дм³ відповідно 2 і 5 ГДК), фосфонати (2,28 мг/дм³ та 5,70 мг/дм³ відповідно 2 і 5 ГДК), лаурилсульфат натрію (0,02 мг/дм³ – 2 ГДК), солі Cu²⁺, Cd²⁺ і Pb²⁺ (відповідно 2,0 мг/дм³, 0,002 мг/дм³ і 0,02 мг/дм³, що відповідає 2 ГДК) здійснювали у 200-літрових акваріумах з відстояною водопровідною водою. Щільність посадки становила один екземпляр на 40 дм³ води. Температуру підтримували на рівні +8...+10 °С, що відповідало природним умовам. Тривалість експерименту – 14 діб.

Вивчали вплив окремих та комбінованих токсикантів на біохімічні показники крові коропа лускатого.

Окремо досліджували сумісну дію фосфатів із солями важких металів – купруму (Cu²⁺), кадмію (Cd²⁺) та плумбуму (Pb²⁺) – у концентраціях, що відповідають 2 ГДК для кожного компонента. Фосфатну складову додавали у вигляді фосфату натрію; солі Cu²⁺, Cd²⁺ та Pb²⁺ застосовували у формі водорозчинних солей. Для біохімічного аналізу відбирали зразки крові, м'язів, зябер, печінки та головного мозку коропа

лускатого. Для дослідження активності ферментів та вмісту загальних ліпідів у тканинах готували гомогенат на 0,22 М сахарозі у співвідношенні 1:10. У відібраних тканинах визначали вміст загальних ліпідів, фосфоліпідів та активність ліпази. Кількісний вміст загальних ліпідів оцінювали сульфованіліновим методом (Frings & Dunn, 1970), фосфоліпіди – за кількістю неорганічного фосфору (Bartlett, 1959). Активність ліпази визначали за методом Гольштейна і Роя (Holstein & Roy, 1946). Дослідження проводили з додержанням вимог Міжнародних принципів Гельсінської декларації про гуманне ставлення до тварин (World Medical Association, 2001).

Результати дослідження та обговорення

Нами були встановлено кількісні зміни в ліпідного обміні в різних тканинах коропа під впливом токсикантів. Що дало змогу оцінити специфіку дії фосфатів, фосфонатів і лаурилсульфату натрію, а також виявити залежність між концентрацією токсикантів та кількісним вмістом загальних ліпідів (ЗЛ) (таблиця 1).

Таблиця 1

Кількісний вміст загальних ліпідів в тканинах риб за дії токсикантів у різній концентрації, г/л (M±m, n=5)

Токсикант		Кров	М'язи	Зябра	Печінка	Мозок
Фосфати	7,0 мг/дм ³ (2 ГДК)	7,51 ± 0,63	3,52 ± 0,36	3,48 ± 0,23	6,33 ± 0,61	7,25 ± 1,24
	17,5 мг/дм ³ (5 ГДК)	11,48 ± 0,12	3,41 ± 0,42	2,94 ± 0,23	5,78 ± 0,49	6,81 ± 0,68
Фосфонати	2,28 мг/дм ³ (2 ГДК)	8,23 ± 0,98	6,77 ± 0,61	6,55 ± 0,32	9,64 ± 0,39	5,02 ± 0,48
	5,70 мг/дм ³ (5 ГДК)	10,27 ± 1,8	6,22 ± 1,05	6,28 ± 0,34	9,28 ± 1,39	4,54 ± 0,39
Лаурилсульфат натрію	0,02 мг/дм ³ (2 ГДК)	6,73 ± 0,92	6,72 ± 0,07	6,52 ± 0,36	6,58 ± 0,57	6,44 ± 0,59
Контроль		5,63 ± 0,58	7,91 ± 0,63	7,61 ± 1,06	11,65 ± 1,05	8,25 ± 0,74

За впливу фосфатів у концентрації 2 ГДК вміст загальних ліпідів у крові підвищується на 33 % у порівнянні з контролем. При збільшенні концентрації фосфатів (5 ГДК) кількість ЗЛ зростає більш ніж вдвічі порівняно з контрольною групою (5,63±0,58 г/л), що свідчить про накопичення ліпідів у відповідь на збільшення концентрації токсиканту. Фосфонати виявляють менш виражену дію. При 2 ГДК рівень ЗЛ зростає на 46 % більше

порівняно з контрольною групою, а при 5 ГДК вміст збільшується на 82 %. Лаурилсульфат натрію найменше впливає на зміну вмісту ЗЛ: на 20 % більше порівняно з контролем, що може свідчити про його мінімальний вплив на ліпідний обмін у крові.

У тканинах м'язів вплив фосфатів за 2 ГДК призвів до суттєвого зниження вмісту ліпідів: на 55 % менше від контролю. Кількість ліпідів у контрольній групі –

7,91±0,63 г/л. За більшої концентрації токсиканту (5 ГДК) кількість ЗЛ зменшилось на 57 % щодо контролю, що підтверджує токсичну дію фосфатів. Для фосфонатів спостерігається помірніший вплив. При 2 ГДК рівень ЗЛ знижувався на 15 % (від контролю), тоді як при 5 ГДК – 21 %. За дії лаурилсульфату кількості ЗЛ знижується на 15% порівняно з контролем, що схоже до дії фосфонатів за меншої концентрації (2 ГДК).

При дослідженні тканин зябер встановили, що фосфати за 2 ГДК спостерігається зниження кількості ліпідів на 54 % від показників у контролі. При 5 ГДК – зменшення на 61 % (порівняно з контролем). Кількість загальних ліпідів в контрольній групі 7,61±1,06 г/л. Фосфонати проявляють меншу токсичність: за 2 ГДК кількість ліпідів на 15 % менша від контролю, а при 5 ГДК – на 17 % (щодо контролю), що може свідчити про меншу токсичність фосфонатів у порівнянні з фосфатами. Лаурилсульфат натрію призводить до зниження кількості ЗЛ на 14 % від контролю.

Найбільше зменшення у тканинах печінки викликають фосфати: за 2 ГДК – на 46 %, а 5 ГДК – на 50 % порівняно з контролем. При 2 ГДК фосфонатів кількість ЗЛ знижуються на 17 %, а за 5 ГДК – на 20 % (щодо контролю). Лаурилсульфат натрію призводить до зниження кількості ЗЛ на 44 % (від контролю).

У тканинах мозку спостерігається найменший вміст ЗЛ за дії досліджених токсикантів – на 12 % від показників контрольної групи, що може свідчити про певні захисні механізми в нервовій тканині від дії цього полютанта. При збільшенні концентрації до 5 ГДК вміст знижується на 17 % (щодо контролю). За дії фосфонатів спостерігається більший вплив на вміст ЗЛ у мозку у порівнянні з іншими тканинами. При 2 ГДК рівень ліпідів знижується на 39 %, а при 5 ГДК – на 45 % менше від контролю, що вказує на специфічну реакцію нервової тканини на вплив фосфонатів. Лаурилсульфат натрію викликає зниження рівня ЗЛ: на 22 % від контролю. Токсична дія досліджуваних токсикантів на тканини мозку зменшується в ряду: фосфонати – лаурилсульфат – фосфати.

Таким чином, дія токсикантів призводить до порушення ліпідного обміну, що проявляється у зниженні вмісту ліпідів у

тканинах (м'язи, зябра, печінка та мозок) і компенсаторним зростанням їх концентрації у крові. Найбільш виражені зміни у вмісті ЗЛ спостерігаються за дії фосфатів, особливо при 5 ГДК, тоді як вплив фосфонатів та лаурилсульфату на вміст ЗЛ є помірнішим, але має системні ознаки. Найчутливішими до токсичного впливу виявилися тканини зябер, печінки та мозку, що можна пояснити їх провідною роллю у процесах газообміну, детоксикації та регуляції метаболізму ліпідів.

Оскільки ліпіди складають структурний та функціональний компонент клітинних мембран, важливим і перспективним було подальше дослідження впливу токсикантів на фосфоліпіди, що визначають стабільність, проникність і метаболічну активність мембран. Для цього ми дослідили кількісний вміст фосфоліпідів (ФЛ) у різних тканинах риб за дії зазначених токсикантів.

За дії фосфатів при 2 ГДК у крові коропа спостерігається підвищення кількості ФЛ, що на 64 % більше від контролю. Кількість ФЛ у крові риб контрольної групи – 0,14±0,02 г/л. Фосфати за концентрації 5 ГДК призвели до збільшення кількості ФЛ на 86 % (щодо контролю).

Фосфонати за концентрації 2 ГДК суттєво підвищували вміст ФЛ, у порівнянні з фосфатами: спостерігається зростання показника більш ніж у 1,5 рази. Однак при 5 ГДК спостерігається зниження вмісту ФЛ, що може бути пояснено або адаптаційними механізмами або перерозподілом фосфоліпідів. Лаурилсульфат натрію підвищив вміст ФЛ на 71 % порівняно з контролем (таблиця 2).

У м'язах за дії фосфатів у концентрації 2 ГДК рівень фосфоліпідів майже не змінився порівняно з контролем. Показник контрольної групи 0,19±0,03 г/л, в той час як при додаванні подвійної концентрації фосфатів показник був більше від контролю лише на 10 %. Таку саму зміну спостерігали і за дії лаурилсульфату. В той же час за дії 5 ГДК фосфатів кількість ФЛ зросла – 15 %, можна сказати, що збільшення концентрації токсиканту не впливає на зміну кількості ФЛ. За дії 2 ГДК фосфатів спостерігали підвищення рівня ФЛ на 10 % від контролю, концентрація фосфатів у 5 ГДК призвело до зниження показника на 5 %.

Таблиця 2

**Кількісний вміст фосфоліпідів в тканинах риб за дії токсикантів
у різній концентрації, г/л ($M \pm m$, $n=5$)**

Токсикант		Кров	М'язи	Зябра	Печінка	Мозок
Фосфати	7,0 мг/дм ³ (2 ГДК)	0,23 ± 0,03	0,21 ± 0,03	0,22 ± 0,04	0,23 ± 0,04	0,46 ± 0,06
	17,5 мг/дм ³ (5 ГДК)	0,26 ± 0,03	0,22 ± 0,03	0,24 ± 0,04	0,25 ± 0,05	0,53 ± 0,08
Фосфонати	2,28 мг/дм ³ (2 ГДК)	0,35 ± 0,04	0,21 ± 0,03	0,23 ± 0,03	0,24 ± 0,03	0,42 ± 0,07
	5,70 мг/дм ³ (5 ГДК)	0,22 ± 0,03	0,18 ± 0,02	0,22 ± 0,03	0,23 ± 0,03	0,42 ± 0,08
Лаурилсульфат натрію	0,02 мг/дм ³ (2 ГДК)	0,24 ± 0,03	0,21 ± 0,02	0,32 ± 0,05	0,17 ± 0,02	0,18 ± 0,02
Контроль		0,14 ± 0,02	0,19 ± 0,03	0,19 ± 0,04	0,27 ± 0,04	0,19 ± 0,03

У тканинах зябер спостерігається підвищення кількості ФЛ у риб усіх експериментальних груп порівняно з контролем. Найбільше зростання вмісту ФЛ (на 68 %) спричинив лаурилсульфат. Фосфати, порівняно з фосфонатами, викликали більш виражені зміни у рівні ФЛ у зябрах. Спостерігається збільшення цього показника на 21 % та 23 % під впливом 2 ГДК та 5 ГДК відповідно. Менше підвищення відзначено за дії фосфонатів – усього 14 % та 15 % зі збільшенням концентрації.

У тканинах печінки навпаки фіксували лише зниження показників, порівняно з контрольною групою. Найбільшу зміну спричинив лаурилсульфат натрію – на 31% менше за контроль. Спостерігали однакові зміни у кількості ФЛ як за дії 2 ГДК фосфатів, так і 5 ГДК фосфонатів – зменшення кількості ФЛ на 15 % порівняно з контролем. Найменші зміни спричинили фосфати у концентрації 5 ГДК та фосфонати у концентрації 2 ГДК.

У тканинах мозку зафіксовано найбільше зростання кількості ФЛ серед усіх досліджених тканин. У контрольній групі цей показник становив $0,19 \pm 0,03$ г/л. Під впливом 2 ГДК фосфатів кількість фосфоліпідів зросла більш ніж у 2,4 рази, а за дії 5 ГДК фосфатів – більш ніж у 2,5 разів порівняно з контролем. За дії фосфонатів, незалежно від концентрації, вміст фосфоліпідів у мозку був більш ніж удвічі вищим від контролю.

Виявлене підвищення загального вмісту фосфоліпідів у тканинах коропа під впливом токсикантів може свідчити про активацію ліпідного обміну, що, своєю чергою, може сприяти підтриманню структури клітинних мембран – зокрема в тканинах

мозку та крові – як одного з імовірних адаптаційних механізмів. Оскільки фосфоліпіди є основним компонентом клітинних мембран і субстратом ферментативного гідролізу, наступним етапом дослідження стало визначення активності ліпаз у тих самих тканинах. Це дало змогу оцінити, чи узгоджуються зміни ліпідного складу з функціональною здатністю організму до гідролізу жирів та адаптації до токсичного впливу.

Отримані результати свідчать, що дія всіх досліджуваних токсикантів супроводжується підвищенням активності ліпаз, що може бути проявом компенсаторної реакції, спрямованої на підтримання рівноваги ліпідного обміну (табл. 3).

Найбільші зміни в активності ліпази спостерігаються за дії фосфонатів у концентрації 5 ГДК – на 81 % вище від контрольного показника ($2,81 \pm 0,12$ од. акт.). Водночас за впливу фосфатів (2 ГДК) встановлено підвищення лише на 35 %, що також є достовірним, але меншим порівняно з попереднім значенням. Для обох груп токсикантів простежується спільна закономірність: зі зростанням концентрації речовини активність ферменту збільшується. Так, під впливом фосфонатів у концентрації 2 ГДК активність ліпази зросла на 11 %, а за 5 ГДК – на 81 %.

При дослідженні тканин м'язів у контрольній групі активність ліпази становила $1,43 \pm 0,12$ од. акт. Під впливом усіх токсикантів активність ферменту зростала, хоча й у різному ступені. Найбільш виражене підвищення зафіксовано за дії фосфатів у концентрації 5 ГДК – у 2,2 рази більше, ніж у контролі. За впливу фосфатів 2 ГДК активність також зростала суттєво – у 2,1 рази порівняно з контролем.

Таблиця 3

**Активність ліпази в тканинах риб за дії токсикантів у різній концентрації,
од.акт. ($M \pm m$, $n=5$)**

Токсикант		Кров	М'язи	Зябра	Печінка	Мозок
Фосфати	7,0 мг/дм ³ (2 ГДК)	3,82 ± 0,21	3,12 ± 0,27	3,22 ± 0,25	3,11 ± 0,22	3,06 ± 0,23
	17,5 мг/дм ³ (5 ГДК)	4,24 ± 0,13	3,24 ± 0,19	3,47 ± 0,26	3,34 ± 0,27	3,16 ± 0,22
Фосфонати	2,28 мг/дм ³ (2 ГДК)	3,13 ± 0,28	2,72 ± 0,19	2,56 ± 0,21	2,73 ± 0,18	2,68 ± 0,18
	5,70 мг/дм ³ (5 ГДК)	5,11 ± 0,33	2,86 ± 0,26	2,83 ± 0,21	2,92 ± 0,23	2,74 ± 0,16
Лаурилсульфат натрію	0,02 мг/дм ³ (2 ГДК)	3,12 ± 0,25	2,53 ± 0,19	3,51 ± 0,24	3,31 ± 0,27	2,82 ± 0,19
Контрольна група		2,81 ± 0,12	1,43 ± 0,12	2,58 ± 0,95	2,05 ± 0,19	1,49 ± 0,09

Дещо менший вплив на активність ферменту відмічено для фосфонатів. Відповідно до концентрацій 2-ГДК та 5-ГДК спостерігали підвищення активності на 90 % та 100 % порівняно з контролем. Дія лаурилсульфату натрію була менш вираженою: активність ферменту зростала приблизно на 70 % відносно контролю.

У тканинах зябер також спостерігається підвищення активності ліпази під впливом усіх токсикантів за різних концентрацій. Найбільш виражене зростання активності (на 36 %) спричиняє лаурилсульфат натрію. Під дією 5 ГДК фосфонатів активність ліпази збільшується на 34 %, тоді як за дії 2 ГДК цього ж токсиканта – на 25 %. Вплив фосфонатів у концентрації 2 ГДК практично не позначився на активності ферменту, тоді як за 5 ГДК спостерігається її зростання на 10 % порівняно з контролем.

У печінці, як і в інших досліджених тканинах, спостерігалось підвищення активності ферменту порівняно з контролем. Найбільші зміни відзначено під впливом фосфатів у концентрації 5 ГДК та лаурилсульфату натрію: активність ферменту зростала на 62 % і 61 % відповідно. Дещо менші зміни виявлялися за дії фосфатів у концентрації 2 ГДК та фосфонатів у 5 ГДК – активність ліпази перевищувала порівняно з контролем на 51 % та 42 %. Найменш виражений вплив фосфонатів спостерігали у концентрації 2 ГДК, за якої активність ферменту зростала на 33 %.

У тканинах мозку відзначено суттєве підвищення активності ліпази. Під впливом

фосфатів у концентраціях 2 ГДК та 5 ГДК активність ферменту зростала більш ніж у два рази порівняно з контролем (1,49±0,09 од. акт.). Фосфонати в концентраціях 2 ГДК та 5 ГДК, а також лаурилсульфат натрію призвели до збільшення активності ліпази на 80 %, 83 % та 89 % відповідно.

Отже, аналіз активності ліпази показав, що фосфати спричиняють найвираженішу загальну стимуляцію активності ферменту в усіх досліджених тканинах. Вплив фосфонатів виявляє тканинну специфічність, переважно з ефектом у крові. Лаурилсульфат натрію зумовлює підвищення активності ліпази головно у зябрах і печінці, що, ймовірно, пов'язано з його поверхнево-активними властивостями та можливим контактним впливом на мембрани клітин. Найчутливішими до дії токсикантів виявилися кров, тканини печінки та зябер, тоді як у м'язах і мозку зміни мали помірний характер.

Одержані результати дослідження показали, що фосфати чинять найсильніший токсичний вплив на ліпідний обмін коропа порівняно з фосфонатами та лаурилсульфатом натрію. Враховуючи поширене забруднення водойм фосфатами та солями важких металів, було досліджено сумісну дію фосфатів із солями Cu^{2+} , Cd^{2+} та Pb^{2+} на біохімічні показники тканин риб.

Встановлено, що за сумісного впливу токсикантів (фосфати і солі важких металів) у крові риб спостерігається суттєве зниження рівня загальних ліпідів порівняно з контролем (табл. 4).

Таблиця 4

Кількісний вміст загальних ліпідів в тканинах риб за сумісного впливу фосфатів та солей важких металів (2 ГДК), г/л ($M \pm m$, $n=5$)

Токсикант	Кров	М'язи	Зябра	Печінка	Мозок
Фосфати	19,6 ± 1,6	22,3 ± 2,8	23,2 ± 3,5	29 ± 2,03	11,6 ± 1,6
Фосфати + Cu^{2+}	17,4 ± 1,8	27,2 ± 4,3	38 ± 7,2	35,6 ± 5,34	50,8 ± 8,6
Фосфати + Cd^{2+}	18,7 ± 2,8	32,3 ± 2,9	39 ± 7,1	30,1 ± 4,2	15 ± 3
Фосфати + Pb^{2+}	16,9 ± 1,9	33,1 ± 6,3	31,1 ± 4,9	42,9 ± 7,7	14,6 ± 2
Контроль	30 ± 2,6	24,3 ± 2,9	32,7 ± 5,2	38 ± 5,32	51,3 ± 8,7

Встановлено, що за впливу фосфатів вміст ЗЛ зменшувався на 35 %, що свідчить про виражене пригнічення ліпідного обміну. Сумісна дія фосфатів із солями міді (Cu^{2+}) зумовлювала ще більш значне зниження вмісту загальних ліпідів – на 42 % відносно контролю. Подібна тенденція спостерігалася і за комбінованої дії фосфатів із солями свинцю (Pb^{2+}) та кадмію (Cd^{2+}): рівень загальних ліпідів був на 44 % та 38 % нижчим порівняно з контрольними значеннями.

На відміну від крові, у тканинах м'язів спостерігалася протилежна тенденція – підвищення вмісту загальних ліпідів за впливу як фосфатів, так і їх поєднання із солями важких металів. У контрольній групі рівень загальних ліпідів становив $24,3 \pm 2,9$ г/л, тоді як за дії фосфатів цей показник дещо зростав. Підвищення вмісту ЗЛ відзначено також за сумісного впливу фосфатів із солями міді (Cu^{2+}) – на 12 % порівняно з контролем. Водночас дія фосфатів із солями кадмію (Cd^{2+}) та свинцю (Pb^{2+}) спричиняла ще помітніше зростання – на 33 % і 36 % відповідно.

Таке підвищення, імовірно, пов'язане з накопиченням ліпідів у тканинах м'язів як енергетичного резерву або як компенсаторний механізм за умов токсичного стресу, що може бути наслідком активації процесів ліпогенезу чи порушення механізмів утилізації жирів.

Результати експерименту свідчать про складний характер сумісного впливу фосфатів із солями важких металів на ліпідний обмін у тканинах зябер риб. Під дією фосфатів рівень загальних ліпідів дещо знижувався порівняно з контролем. Натомість за сумісної дії фосфатів із солями Cu^{2+} та Cd^{2+} спостерігалася підвищення

цього показника – на 16 % і 19 % відповідно. За сумісного впливу фосфатів і Pb^{2+} рівень ліпідів залишався близьким до контрольного.

Таким чином, сумісна дія фосфатів із солями важких металів має різноспрямований характер і залежить від природи металу: кадмій і мідь сприяють акумуляції ліпідів, тоді як свинець (Pb^{2+}) – пригніченню ліпідного обміну.

За сумісної дії фосфатів і солей важких металів у тканинах печінки риб спостерігали різноспрямовані зміни вмісту загальних ліпідів. У контрольній групі цей показник становив $38 \pm 5,32$ г/л. Найбільш виражене підвищення відзначено під впливом фосфатів у поєднанні із солями свинцю (Pb^{2+}): рівень загальних ліпідів зріс на 13 %. Водночас дія інших сполук мала протилежний ефект – зниження вмісту загальних ліпідів у печінці. Так, під впливом самих фосфатів показник зменшувався на 23 %, що може свідчити про активацію катаболічних процесів.

Сумісний вплив фосфатів із солями міді (Cu^{2+}) спричиняв менш виражене зниження – на 6 %, тоді як за поєднання з кадмієм (Cd^{2+}) цей показник зменшувався на 21 %.

У тканинах головного мозку риб спостерігалася зниження рівня загальних ліпідів під впливом усіх досліджуваних токсикантів, що свідчить про високу чутливість нервової тканини як до дії фосфатів, так і солей важких металів. У контрольній групі цей показник становив $51,3 \pm 8,7$ г/л. Найбільш істотне зменшення вмісту загальних ліпідів відзначено за впливу фосфатів, а також за їх сумісної дії із солями кадмію та плюмбуму – кількість ліпідів знижувалася на 77 % та 71 % відповідно.

Під впливом фосфатів у поєднанні з солями міді (Cu^{2+}) спостерігали мінімальні зміни: рівень ліпідів залишався практично на рівні контролю.

Загалом отримані результати свідчать, що кадмій і свинець у поєднанні з фосфатами чинять більш виражений токсичний вплив на ліпідний метаболізм тканин мозку, тоді як солі міді в комбінації з фосфатами проявляють менш токсичну дію.

Отже, узагальнюючи результати дослідження, можна зазначити, що характер змін у вмісті загальних ліпідів у різних тканинах коропа істотно залежить як від природи токсиканту, так і від тканинної специфічності. Зниження рівня загальних ліпідів у більшості випадків свідчить про порушення ліпідного обміну, зокрема про деградацію ліпідного пулу під впливом фосфатів та їх комбінацій із солями важких металів.

Оскільки фосфоліпіди виконують важливу структурно-функціональну роль у клітинних мембранах, доцільним було дослідити зміни саме цієї фракції ліпідів у тканинах коропа за умов сумісного впливу фосфатів та солей важких металів.

Під час експерименту у крові тварин спостерігалось різке зниження рівня фосфоліпідів порівняно з контролем (таблиця 5).

У контрольній групі рівень фосфоліпідів становив $0,84 \pm 0,11$ г/л. Під впливом фосфатів цей показник зменшувався майже у 2,5 рази. За сумісної дії фосфатів і солей Cu^{2+} вміст фосфоліпідів знижувався ще більшою мірою – майже у 3,8 разів, що свідчить про суттєве порушення ліпідного обміну в крові. Подібну тенденцію спостерігали й за комбінованого впливу фосфатів із солями Pb^{2+} і Cd^{2+} , що може вказувати на стійку дестабілізацію мембранних структур.

Аналіз вмісту фосфоліпідів у тканинах м'язів показав їхнє істотне зниження під впливом фосфатів. Порівняно з контрольною групою ($0,07 \pm 0,01$ г/л) відзначалося зменшення на 22 %. За сумісного впливу фосфатів і солей важких металів спостерігали підвищення вмісту фосфоліпідів у всіх експериментальних групах. Найбільше зростання зафіксовано за дії фосфатів у поєднанні з Cu^{2+} , коли рівень фосфоліпідів перевищував контрольні значення більш ніж утричі. За впливу фосфатів із Cd^{2+} відзначалося підвищення у 2,1 раза, тоді як при поєднанні з Pb^{2+} – на 27 %.

Таблиця 5

Кількісний вміст фосфоліпідів в тканинах риб за комбінованого впливу фосфатів та солей важких металів, г/л ($M \pm m$, $n=5$)

Токсикант	Кров	М'язи	Зябра	Печінка	Мозок
Фосфати	$0,32 \pm 0,02$	$0,05 \pm 0,01$	$0,05 \pm 0,01$	$0,21 \pm 0,03$	$0,46 \pm 0,06$
Фосфати + Cu^{2+}	$0,22 \pm 0,02$	$0,25 \pm 0,02$	$0,23 \pm 0,02$	$0,11 \pm 0,01$	$0,11 \pm 0,01$
Фосфати + Cd^{2+}	$0,32 \pm 0,04$	$0,16 \pm 0,01$	$0,07 \pm 0,01$	$0,07 \pm 0,01$	$0,06 \pm 0,01$
Фосфати + Pb^{2+}	$0,27 \pm 0,03$	$0,09 \pm 0,01$	$0,09 \pm 0,01$	$0,25 \pm 0,04$	$0,15 \pm 0,01$
Контроль	$0,84 \pm 0,11$	$0,07 \pm 0,01$	$0,12 \pm 0,01$	$0,17 \pm 0,03$	$0,09 \pm 0,01$

Аналіз вмісту фосфоліпідів у тканинах зябер показав виражені зміни під впливом фосфатів та їх поєднання із солями важких металів. У контрольній групі концентрація фосфоліпідів становила $0,12 \pm 0,01$ г/л. Під дією фосфатів відзначалося значне зниження цього показника – на 57 % порівняно з контролем. За сумісного впливу фосфатів і солей Cu^{2+} спостерігали різке підвищення концентрації фосфоліпідів, що більш ніж удвічі перевищувало рівень контролю.

Поєднання фосфатів із Cd^{2+} призводило до незначного підвищення концентрації фосфоліпідів, хоча показник залишався нижчим за контрольний. Найменше збільшення зафіксовано при дії фосфатів у поєднанні з Pb^{2+} – на 20 % нижче від рівня контролю.

Аналіз вмісту ФЛ у печінці коропа лускатого продемонстрував виражені тканиннотоксичні зміни під впливом фосфатів та їх поєднання із солями важких

металів. У контрольній групі рівень фосфоліпідів становив $0,17 \pm 0,03$ г/л. Під дією фосфатів спостерігалось незначне підвищення цього показника – на 20 %. За сумісного впливу фосфатів із Cu^{2+} вміст фосфоліпідів зменшувався майже удвічі, що демонструє пригнічувальний ефект солей міді на ліпідний обмін. Вплив фосфатів у поєднанні з Cd^{2+} супроводжувався зниженням рівня фосфоліпідів у 2,4 раза, що свідчить про високу токсичність цієї комбінації для тканин печінки. Натомість поєднання фосфатів із Pb^{2+} спричиняло помітне підвищення вмісту фосфоліпідів на 30 % відносно значень у контрольній групі.

Аналіз вмісту фосфоліпідів у тканинах мозку коропа лускатого продемонстрував виражену тканинноспецифічну реакцію на дію фосфатів та їх комбінацій із солями важких металів. У контрольній групі рівень фосфоліпідів становив $0,09 \pm 0,01$ г/л. Під впливом фосфатів спостерігалось різке підвищення вмісту фосфоліпідів, що у п'ять разів перевищувало контрольний рівень, що свідчить про значну стимуляцію синтезу або накопичення фосфоліпідів у нервовій тканині. За сумісного впливу фосфатів із Cu^{2+} рівень фосфоліпідів майже не відрізнявся від контрольного. Поєднання фосфатів із Cd^{2+} ще більше знижувало кількість фосфоліпідів, що вказує на високу токсичність цієї комбінації для нервової тканини. Вплив фосфатів із Pb^{2+} спричиняв помірне підвищення рівня фосфоліпідів, проте воно суттєво поступалося ефекту, зумовленому дією самих фосфатів.

Таким чином, одержані результати демонструють, що тканини мозку коропа є надзвичайно чутливими до дії фосфатів. Їхній вплив спричиняє різке підвищення концентрації фосфоліпідів, тоді як поєднання з солями важких металів проявляє різноспрямовані ефекти: солі купруму та кадмію пригнічують накопичення фосфоліпідів, тоді як свинець, навпаки, зумовлює помірну стимуляцію. Це підкреслює складність адаптаційних механізмів у нервовій тканині у відповідь на комбінований токсичний вплив.

Встановлені зміни у вмісті фосфоліпідів, які є ключовими структурними компонентами біологічних мембран, нерозривно пов'язані з динамікою ферментів, що регулюють їхній метаболізм. Порушення

ліпідного гомеостазу, спричинене токсикантами, часто проявляється через зміну активності ліпази.

Активність ліпази у крові риб контрольної групи становила $1,2 \pm 0,2$ од. акт. Під впливом фосфатів спостерігали лише незначне підвищення активності ферменту. Натомість сумісна дія фосфатів і солей важких металів спричиняла виражену активацію ліпази. Найбільше зростання активності відзначено за дії фосфатів у поєднанні з Cu^{2+} та Cd^{2+} , коли рівень активності перевищував контрольні значення більш ніж удвічі. Комплексна дія фосфатів із Pb^{2+} також викликала підвищення активності ферменту, хоча й меншою мірою.

У тканинах м'язів спостерігалось зниження активності ферменту під впливом фосфатів – на 76 %. Водночас дія фосфатів у поєднанні з солями важких металів призводила до підвищення цього показника: для фосфатів і солей купруму – на 92 %, для фосфатів і солей кадмію – на 64 %, а для фосфатів і солей плумбуму – на 30 %.

У тканинах зябер спостерігалось зменшення активності ферменту під впливом усіх досліджуваних токсикантів. Найбільші зміни активності викликала сумісна дія фосфатів і солей Cu^{2+} – зниження показника становило 91 %. За впливу лише фосфатів активність ферменту зменшувалася на 82 %. Комбінована дія фосфатів із солями Pb^{2+} призводила до зниження активності на 67 %, тоді як найменші зміни (17 %) фіксували за поєднання фосфатів із Cd^{2+} .

Аналіз активності ліпази у тканинах печінки коропа лускатого показав чітко виражені тканинноспецифічні зміни під впливом фосфатів та їх поєднання із солями важких металів. У контрольній групі активність ліпази становила $0,95 \pm 0,16$ од. акт. Під дією фосфатів спостерігалось суттєве зниження ферментативної активності – на 66 % порівняно з контролем. За комбінованого впливу фосфатів із Cu^{2+} активність ліпази зростала майже удвічі відносно контрольного рівня. Поєднання фосфатів із Cd^{2+} також супроводжувалося підвищенням активності, але менш вираженим – на 53 %. Найбільше зростання зафіксовано за дії фосфатів у поєднанні з Pb^{2+} , коли активність перевищувала контрольні значення більш ніж удвічі.

Таблиця 6

Активність ліпази в тканинах риб за комбінованого впливу фосфатів та солей важких металів, од. акт. ($M \pm m$, $n=5$)

Токсикант	Кров	М'язи	Зябра	Печінка	Мозок
Фосфати	$1,43 \pm 0,12$	$0,31 \pm 0,04$	$0,92 \pm 0,06$	$0,31 \pm 0,03$	$0,92 \pm 0,18$
Фосфати + Cu^{2+}	$2,19 \pm 0,15$	$2,4 \pm 0,43$	$0,45 \pm 0,08$	$1,95 \pm 0,39$	$0,3 \pm 0,06$
Фосфати + Cd^{2+}	$2,05 \pm 0,19$	$3,3 \pm 0,46$	$4,16 \pm 0,99$	$1,46 \pm 0,29$	$0,45 \pm 0,08$
Фосфати + Pb^{2+}	$1,49 \pm 0,09$	$1,64 \pm 0,27$	$1,65 \pm 0,34$	$2,55 \pm 0,51$	$0,52 \pm 0,09$
Контроль	$1,2 \pm 0,2$	$1,25 \pm 0,18$	$5,04 \pm 0,95$	$0,95 \pm 0,16$	$1,55 \pm 0,31$

Аналіз активності ферменту в тканинах мозку коропа лускатого показав чітко виражену тканинноспецифічну відповідь на дію фосфатів та їх комбінацій із солями важких металів. У контрольній групі активність ліпази становила $1,55 \pm 0,31$ од. акт. Під впливом фосфатів спостерігалось зниження ферментативної активності на 40 %. За сумісного впливу фосфатів і Cu^{2+} активність ліпази зменшувалася ще більш виражено – на 78 %. Поєднання фосфатів із Cd^{2+} та фосфатів із Pb^{2+} також знижувало активність ферменту – на 71 % і 63 % відповідно.

Таким чином, одержані результати свідчать, що нервова тканина є надзвичайно чутливою до дії фосфатів та їх комбінацій із солями важких металів. Вплив фосфатів спричиняє помірне зниження активності ліпази, тоді як комбінована експозиція фосфатів із солями металів викликає ще більш виражене пригнічення ферментативної активності. Це вказує на високий ризик порушення ліпідного обміну в мозку за умов комбінованого токсичного впливу.

Висновки

Дослідження впливу окремих і комбінованих токсикантів на біохімічні показники коропа лускатого виявило суттєві порушення ліпідного обміну під дією токсичних навантажень. Фосфати спричиняли найзначніші зміни серед усіх досліджуваних токсикантів, зокрема накопичення загальних ліпідів у крові та зниження їхнього вмісту в м'язах, зябрах і печінці.

Фосфонати проявляли менш виражений, проте системний ефект, зумовлений насамперед впливом на нервову тканину. Лаурилсульфат натрію продемонстрував

відносно низьку токсичність і локальний характер дії, переважно на тканини зябер і печінки.

Отримані результати свідчать про високу чутливість окремих тканин до дії фосфатів і їхніх комбінацій із солями важких металів, що супроводжується порушенням ферментативної активності ліпази та змінами у співвідношенні ліпідних фракцій. Це підтверджує важливу роль ліпідного обміну як інтегрального показника токсичного впливу на організм риб.

Аналіз вмісту фосфоліпідів показав, що мозок і кров є найбільш чутливими тканинами: за дії фосфатів рівень фосфоліпідів у мозку зростав більш ніж удвічі. Активність ліпази підвищувалася переважно в крові, печінці та зябрах, що вказує на компенсаторні реакції організму.

Комбінована дія фосфатів і солей важких металів мала синергічний ефект. Найбільші зміни зафіксовано в тканинах мозку: якщо фосфати окремо викликали помірне підвищення рівня фосфоліпідів, то у поєднанні з солями купруму і кадмію накопичення майже повністю блокувалося. Активність ліпази змінювалася по-різному: вона зростала в печінці, але знижувалася в мозку та зябрах.

Отримані результати підтверджують, що фосфати є потужними токсикантами, що впливають на ліпідний обмін коропа лускатого за умов забруднення водою сполуками мінерального й органічного походження. Найчутливішими індикаторами токсичного впливу є вміст фосфоліпідів і загальних ліпідів у крові та тканин мозку, а також рівень активності ліпази в печінці. Отримані результати можуть бути корисними для екотоксикологічної оцінки стану водних екосистем забруднених токсикантами.

Фінансування / Funding

Це дослідження не отримало зовнішнього фінансування / This research received no external funding.

Заява про доступність даних / Data Availability Statement

Набір даних доступний за запитом до авторів / Dataset available on request from the authors.

Заява інституційної ревізійної ради / Institutional Review Board Statement

Експериментальні процедури були схвалені Комісією з біоетики Національного університету «Чернігівський колегіум» імені Т.Г. Шевченка (№ протоколу: 5, 3 жовтня 2024 р., Чернігів, Україна) / The experimental procedures were approved by the Bioethics Committee of T.H. Shevchenko National University «Chernihiv Colehium» (Protocol Number: 5, 3 October 2024, Chernihiv, Ukraine).

Заява про інформовану згоду / Informed Consent Statement

Не застосовується / Not applicable

Конфлікт інтересів / Conflict of interest

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів / The authors declare no conflicts of interest.

Декларація про генеративний штучний інтелект і технології на основі штучного інтелекту в процесі написання / Declaration on Generative Artificial Intelligence and AI-enabled Technologies in the Writing Process

У цьому дослідженні не використовувався генеративний штучний інтелект або технології штучного інтелекту для збору, аналізу чи інтерпретації даних / This study did not use generative artificial intelligence or AI-enabled technologies to collect, analyze, or interpret data.

References

- Bartlett, G. R. (1959). Phosphorus assay in column chromatography. *Journal of Biological Chemistry*, 234(3), 466–468.
- Frings, C. S., & Dunn, R. T. (1970). A colorimetric method for determination of total serum lipids based on the sulfo-phospho-vanillin reaction. *American Journal of Clinical Pathology*, 53(1), 89–91. <https://doi.org/10.1093/ajcp/53.1.89>
- Garai, P., Banerjee, P., Mondal, P., & Saha, N. C. (2021). Effect of heavy metals on fishes: Toxicity and bioaccumulation. *Journal of Clinical Toxicology*, 11(S18), 001. <https://doi.org/10.35248/2161-0495.21.11.S18.001>
- Grubinko, V. V. (2005). Integral assessment of toxic damage in biological systems. Scientific Notes of Ternopil National Pedagogical University. Series: Biology, (3), 111–114. (In Ukrainian)
Грубінко В. В. Інтегральна оцінка токсичного ураження у біологічних системах. Наукові записки ТНПУ. Серія: Біологія. 2005. № 3. С. 111–114
- Holstein, S. A., & Roy, R. (1946). Determination of lipase activity. *Journal of Biological Chemistry*, 164, 1–8.
- Qi, T., Wu, L., Yu, J., Song, Z., Liu, F., Li, J., Song, X., & Li, X. (2023). Acute low-dose phosphate disrupts glycerophospholipid metabolism and induces stress in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*). *The Science of the total environment*, 861, 160430. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160430>

Zicarelli, G., Impellitteri, F., & Faggio, C. (2024). Effects of a common surfactant sodium lauryl sulfate on early life stages of two fish and one amphibian species. *Water, Air, & Soil Pollution*, 235(807). <https://doi.org/10.1007/s11270-024-07639-8>

World Medical Association. (2013). World Medical Association Declaration of Helsinki. Ethical principles for medical research involving human subjects. *JAMA*, 310(20), 2191-2194. <https://doi.org/10.1001/jama.2013.281053>

Received: 22.10.2025. **Accepted:** 15.11.2025. **Published:** 16.12.2025.

Ви можете цитувати цю статтю так:

Ячна М., Третьак О. Особливості порушення ліпідного обміну в коропа лускатого (*Cyprinus carpio* L.) за дії токсикантів різної хімічної природи. *Biota. Human. Technology*. 2025. № 3. С. 132–143. DOI: <https://doi.org/10.58407/bht.3.25.13>

Cite this article in APA style as:

Yachna, M., & Tretyak A. (2025). Osoblyvosti porushennia lipidnoho obminu v koropa luskatoho (*Cyprinus carpio* L.) za dii toksykantiv riznoi khimichnoi pryrody [Peculiarities of lipid metabolism disruption in common carp (*Cyprinus carpio* L.) exposed to toxicants of different chemical nature]. *Biota. Human. Technology*, (3), 132–143. <https://doi.org/10.58407/bht.3.25.13> (in Ukrainian)

Information about the authors:

Yachna M. [*in Ukrainian: Ячна М.*] ¹, Senior lecturer, email: m_yachna@ukr.net

ORCID: 0000-0003-4587-525X

Department of Biology and Human Health, T.H. Shevchenko National University “Chernihiv Colehium”
53 Hetmana Polubotka Street, Chernihiv, 14013, Ukraine

Tretyak A. [*in Ukrainian: Третьак О.*] ², PhD (Biology), Prof., email: alexandr.tretyak@gmail.com

ORCID: 0000-0001-8989-1601

Department of Biology and Human Health, T.H. Shevchenko National University “Chernihiv Colehium”
53 Hetmana Polubotka Street, Chernihiv, 14013, Ukraine

¹ Study design, data collection, statistical analysis, manuscript preparation

² Statistical analysis, manuscript preparation