

АДАПТАТИВНІ ЗМІНИ В КЛІТИНАХ КРОВІ РИБ В УМОВАХ ХРОНІЧНОЇ ІНТОКСИКАЦІЇ

Єсіпова Наталія Борисівна

кандидат біологічних наук, доцент
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара,
м. Дніпро, Україна
ORCID: 0000-0003-1924-2547
yesipova.natalia@gmail.com

Шарамок Тетяна Сергіївна

кандидат сільськогосподарських наук, доцент
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара,
м. Дніпро, Україна
ORCID: 0000-0003-3523-5283
sharamok@i.ua

У статті аналізуються адаптаційні реакції крові риб на хронічну інтоксикацію важкими металами. Дослідження проводились на двох ділянках Запорізького (Дніпровського) водосховища з різним ступенем токсичного забруднення. Для дослідів використовували риб (карася сріблястого і плоскирку), які широко розповсюджені у прісноводних водоймах, мають різні раціони живлення і ареали мешкання. У риб визначались морфометричні показники еритроцитів, аналізувались виявлені патології клітин і зміни у лейкоцитарній формулі. Результати досліджень показали, що у риб із забрудненої зони вірогідно збільшувалась площа ядер еритроцитів, ядерно-цитоплазматичне співвідношення, підвищувався відсоток молодих бластних форм, збільшувалась кількість еритроцитів з патологічними явищами (пойкілоцитоз, гіпохромія, каріопікноз, мікроядра, ядерні тіні, амітози); кількість лейкоцитів вірогідно збільшувалась на рахунок сегментоядерних форм і моноцитів. Таким чином, збільшення молодих форм еритроцитів і активацію гранулопоезу можна розцінювати як адаптивні реакції крові риб на хронічну інтоксикацію важкими металами.

На посилену інтоксикацію риб важкими металами вказував лейкоцитарний індекс інтоксикації, який збільшувався у карася в забрудненій зоні на 39 %, у плоскирки – на 48 %. Реакції крові карася і плоскирки на вплив токсикантів мали однаковий характер, проте зміни у лейкоцитарній формулі карася із забрудненої і умовно чистої зон були більш виражені. В умовах інтоксикації в крові карася вдвічі більше утворювалось нейтрофілів порівняно з плоскиркою. Посилений нейтрофіліоз вказує на активацію захисної функції крові і, очевидно, свідчить про наявність у карася більшого потенціалу адаптивних можливостей, ніж у плоскирки. Такі відмінності між двома видами риб пов'язані з особливостями їх біології: карась, на відміну від плоскирки, придонна риба, в його раціоні значний відсоток займає детрит, який активно акумулює сполуки важких металів, що потрапляють в організм риб і викликають відповідну захисну реакцію організму риб.

Ключові слова: риби, важкі метали, еритроцити, лейкоцити, адаптація.

DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.1.8>

Вступ. Гідробіоти, на відміну від наземних мешканців, мають значно більшу залежність від умов навколишнього середовища, оскільки з водою у них пов'язані всі процеси життєдіяльності. В ході еволюції у водних мешканців виробились різні механізми адаптації до змінних умов середовища. Вивчення цих механізмів має важливе значення для прогнозування розвитку водних екосистем, особливо в умовах постійного антропогенного навантаження і необернених змін клімату.

У світлі вирішення цих проблем, особливу увагу привертають риби як найбільш високоорганізовані компоненти водних біосистем. Риби мають високу адаптаційну пластичність, проте особливості пристосування окремих видів залишаються слабо вивченими. Саме дослідження механізмів адаптагенезу риб на різних рівнях біосистемної організації дозволить вирішити проблему скорочення і навіть зникнення окремих популяцій в іхтіофауні.

В Україні головними водними об'єктами загальнодержавного значення є дніпровські водосховища. Аналіз

багаторічних досліджень стану їх біоценозів вказує на стійку негативну тенденцію до реструктуризації іхтіофауни, яка проявляється у спрощенні видової структури і домінуванню малоцінних видів (Buzevych, 2012; Heina, 2019; Lytvynenko et al., 2021).

Основними причинами негативних змін в іхтіофауні, окрім нераціонального використання рибних ресурсів і бракон'єрства, є забруднення водойм господарсько- побутовими стоками. Багаточисельні дані свідчать, що серед токсикантів антропогенного походження пріоритетними забруднювачами водойм є важкі метали (Skyba et al., 2018; Fedonenko et al., 2018; Qiaoqiao et al., 2020). Важкі метали широко використовуються у виробничій діяльності, та внаслідок накопичення в живих і неживих компонентах водної екосистеми, являють серйозну небезпеку для гідробіотів, у тому числі і риб.

Проблема токсичного впливу важких металів на риб досліджується давно. На сьогодні накопичена і узагальнена велика кількість даних, які свідчать про різні

структурно-функціональні порушення в організмі риб, викликані підвищеним вмістом у воді окремих металів або їх комплексу (Vergani et al., 2005; Snitynskyi, Onyskovets, 2011; Authman et al., 2015; Sfakianakis et al., 2015; Myslyva, 2016; Riabcheniuk, 2019). При цьому цінними біомаркерами інтоксикації організму риб важкими металами визнані показники крові (Sergunyn, 2010). В умовах хронічної інтоксикації важкими металами у риб різних видів виявлені неспецифічні патології еритроцитів, серед яких найбільш розповсюдженими були пікноз, деформація клітин і ядер (Muneev & Kalynyn, 2012). У коропа при сублетальних концентраціях цинку розвивалась анемія зі зниженням гемоглобіну, гематокриту, кількості еритроцитів і лейкоцитів з незначним підвищенням частки лімфоцитів (Srivastava & Punia 2011). Багато досліджень присвячено впливу на риб солей кадмію, який вважається одним з найтоксичніших ксенобіотиків. В експериментальних умовах з різними концентраціями кадмію у риб відмічались біохімічні зміни у сироватці крові: знижувалась кількість білку (Al-Asgah et al., 2015), збільшувалась кількість глюкози (Mini, 2015).

Не дивлячись на великий обсяг зібраного матеріалу стосовно впливу на риб важких металів, залишається нез'ясованим механізм адаптації їх організму до хронічної інтоксикації. Забруднення води важкими металами за межами нормативних значень характерно майже для всіх водойм, розташованих на території густонаселених індустріальних регіонів. Так, за багаторічними дослідженнями фахівців Дніпровського національного університету ім. Олеся Гончара, на окремих ділянках Запорізького (Дніпровського) водосховища спостерігається стійке перевищення рибогосподарських норм за вмістом міді, марганцю, свинцю, кадмію, нікелю (Fedonenko et al., 2012; Sharamok et al., 2016). Зонаю постійної токсифікації важкими металами у водосховищі є Самарська затока, куди впадає р. Самара, забруднена стічними водами Павлоградського вугільного басейну. Саме вони є основним джерелом високої мінералізації води (до 2460 мг/дм³) і забруднення її важкими металами (Sharamok et al., 2019).

Підвищений інтерес науковців до Самарської затоки обумовлений тим, що затока має велику площу мілководь, де розташовані основні природні нерестовища риб і відбувається нагул молоді. Крім того, Самарська затока є однією з основних рибопромислових ділянок і відіграє важливу роль у процесах відтворення іхтіофауни водосховища. Однак, саме в Самарській затоці спостерігається помітне скорочення чисельності цінних видів риб, відмічається найбільший відсоток тугорослих форм плітки, плоскирки, окуня, ляща, а також абсолютне домінування малоцінного карася сріблястого (Fedonenko & Marenkov, 2018).

Визначення особливостей адаптації різних видів риб до умов хронічної інтоксикації важкими металами на прикладі Самарської затоки дасть можливість оцінити пристосувальні можливості сформованого у водосховищі іхтіоценозу, дозволить прогнозувати та корелювати його подальший розвиток і раціональне використання. Оскільки подібна проблема притаманна багатьом

рибогосподарським водоймам України та інших країн (Buzevych, 2012; Skyba та ін., 2018; Qiaoqiao Z. et al., 2020), дослідження в цьому напрямку будуть являти науково-практичний інтерес як для вітчизняної, так і для закордонної рибної галузі.

Мета даної наукової роботи полягала в дослідженні адаптаційного механізму крові найбільш розповсюджених промислових видів риб Запорізького (Дніпровського) водосховища, які мешкають в умовах постійного токсигенного пресу, і визначення гематологічних показників адаптогенезу риб.

Матеріали і методи досліджень. Дослідження проводились на двох ділянках Запорізького (Дніпровського) водосховища – у Самарській затоці (зона токсифікації важкими металами) та нижній ділянці водосховища (умовно чиста зона) (рис. 1).

Самарська затока розташована у верхній частині водосховища, має площу 5702 га. Вода у затоці відноситься до сульфатно-натрієвого типу з індексом S^{Na} та мінералізацією від 1780 мг/дм³ до 2460 мг/дм³. Вміст важких металів у воді перевищує ГДК для рибогосподарських водойм (ДСТУ 2284:2010): міді – у 8 разів, марганцю – у 1,7 разів, свинцю – у 1,5 разів, кадмію – у 2 рази.

Площа нижньої ділянки водосховища становить 15354 га. За сольовим складом вода є гідрокарбонатно-кальцієвою другого типу (С^{Ca}_{II}). Показник загальної мінералізації коливається від 260 мг/дм³ до 820 мг/дм³. За еколого-токсикологічною характеристикою вода нижньої ділянки, в основному, відповідає рибогосподарським ГДК за винятком вмісту міді, який перевищував нормативні дані у 7 разів. Протягом останніх років спостерігається тенденція до збільшення міді по всій акваторії Запорізького (Дніпровського) водосховища (Fedonenko et al., 2018).

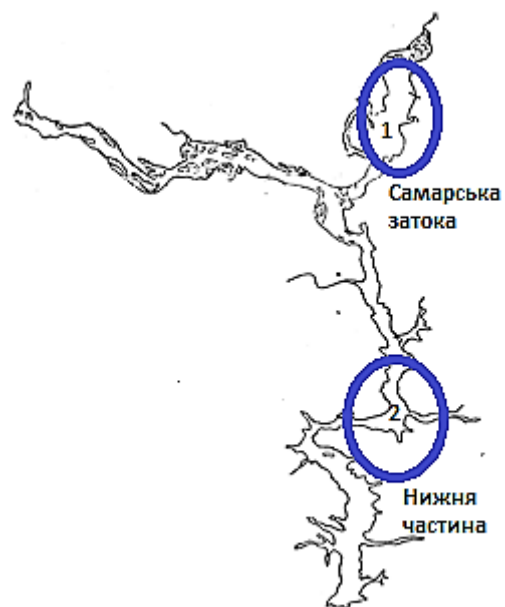


Рис. 1. Схема Запорізького (Дніпровського) водосховища з дослідними ділянками

Відбір риб для досліджень проводився протягом вегетаційного періоду під час контрольних і промислових ловів силами рибодобувних організацій. Для дослідів відбирались 3-х річні особини карася сріблястого *Carassius gibelio* (Bloch, 1782) і плоскирки *Blicca bjoerkna* L. Вибір даних видів обумовлений домінуванням їх у промислі; обидва види мають широкий ареал розповсюдження і зустрічаються майже у всіх водоймах, відрізняються за типом живлення і ареалом мешкання.

Для гематологічних досліджень кров у риб брали з хвостової вени. Кількість риб, використаних у дослідженнях становила по 30 екземплярів кожного виду. Мазки фарбували за Романовським-Гімзою. Ідентифікацію формених елементів крові проводили за допомогою атласів крові риб (Іванова, 1989; Sharon & Zilberg, 2011). Фотографії гематологічних препаратів робили цифровою фотокамерою «SciencelabT500 5.17M». Обчислення проводили за допомогою ScienceLabView7.

Співвідношення клітин білої крові розраховували за лейкоцитарною формулою:

$$X = (A \times 100) / N,$$

де X – відсоток визначеної групи клітин у лейкоцитарній формулі; A – кількість клітин визначеної групи знайдених, під час підрахунку; N – загальна кількість знайдених лейкоцитів.

Лейкоцитарний індекс інтоксикації розраховували за Островським (Островский і др., 1983):

$$ЛІІ = (4МЦ + 3ММЦ + 2ПН + СН) / (Л + М) \times (Е + 1),$$

де ЛІІ – лейкоцитарний індекс інтоксикації; МЦ – мієлоцити; ММЦ – метамієлоцити; ПН – паличкоядерні нейтрофіли; СН – сегментоядерні нейтрофіли; Л – лімфоцити; М – моноцити; Е – еозинофіли.

Результати. На препаратах крові досліджених риб еритроцити представлені молодими бластними формами та зрілими клітинами. За своїми розмірами і площею еритроцити риб з різних за екологією ділянок водосховища практично не відрізнялись, але мали видові відмінності. Так, зрілі еритроцити у плоскирки були на 10–15 % менше порівняно з еритроцитами карася (табл. 1).

Площа ядра еритроцитів у риб Самарської затоки була більше, ніж у риб з умовно чистої нижньої ділянки.

Але різниця в показниках лише у плоскирки була статистично вірогідною і досягала 20 %.

Ядерно-цитоплазматичне співвідношення (ЯЦС) теж було відповідно вище у риб із забрудненої зони. Різниця між показниками у карася становила 12 %, у плоскирки – 18 %.

Молоді еритроцити були представлені базофільними і поліхроматофільними нормобластами. У всіх риб із Самарської затоки відносна кількість незрілих еритроцитів була вірогідно вище порівняно з рибами, що мешкали в умовно чистій зоні. Кількість бластних форм у карася із забрудненої зони збільшувалась на 33 %, плоскирки – на 30 %.

Молоді клітини, залежно від ступеня розвитку, являли собою круглі або злегка витягнуті клітини. Розміри ядер були відносно крупними і зменшувались по мірі дозрівання еритроциту. Зрілі еритроцити, в більшості випадків, мали еліпсоподібну форму, ядро червоно-фіолетового кольору, розташовано в центрі клітини, цитоплазма прозора.

Поряд із нормальними еритроцитами були зареєстровані клітини з різними патологіями. Їх кількість вірогідно збільшувалась у риб із забрудненої зони. У плоскирки кількість еритроцитів з патологічними змінами досягала 21,6 % від загальної кількості клітин у п.з. мікроскопу і була на 31 % вище, ніж у риб з умовно чистої зони. У карася кількість клітин з патологіями була дещо менше, ніж у плоскирки і становила 15,9 %, але порівняно з рибами умовно чистої зони цей показник був вище на 32 % і різниця була вірогідною ($p \leq 0,05$).

У карася сріблястого із забрудненої зони частіше за все відмічався пойкилоцитоз еритроцитів (зміна форми). Змінні клітини частіше за все мали грушеподібну або серпоподібну форму (рис. 2). Кількість пойкилоцитозних еритроцитів у карася досягала 55 % від усіх клітинних патологій.

На другому місці за частотою виявлення була гіпохромія – 36 %. Гіпохромні ділянки цитоплазми займали значну поверхню еритроциту і мали світле забарвлення. Клітини з фестончастим краєм складали близько 5 % усіх патологій еритроцитів, і приблизно такий же відсоток

Таблиця 1

Морфометричні показники еритроцитів риб із Самарської затоки (1) та нижньої ділянки (2) Запорізького (Дніпровського) водосховища ($M \pm m$, $n=50$)

Показники	Карась		Плоскирка	
	1	2	1	2
Діаметр еритроцитів повздовжній, мкм	12,8±0,08	12,7±0,13	10,2±0,20	11,2±0,17
Діаметр еритроцитів поперечний, мкм	8,8±0,07	8,7±0,08	6,8±0,70	6,3±0,85
Площа еритроцитів, мкм ²	87,9±0,47	87,3±0,67	74,2±0,70	74,8±0,63
Площа ядра еритроцитів, мкм ²	14,5±0,14	13,4±0,16	16,4±0,14*	13,2±0,19*
ЯЦС	0,17±0,04	0,15±0,04	0,22±0,01*	0,18±0,03*
Незрілі форми еритроцитів, %	16,9±0,31*	11,4±0,82*	18,0±2,32*	12,2±1,62*
Зрілі еритроцити, %	82,1±1,21	88,6±2,11	82,0±0,73	86,3±1,85
Еритроцити з патологіями, %	15,9±2,17*	10,8±0,96*	21,6±,34*	15,0±1,65*
Кількість амітозів, %	0,5±0,05	–	0,6±0,03	–

* – різниця між показниками із забрудненої і умовно чистої зон вірогідна, $p \leq 0,05$

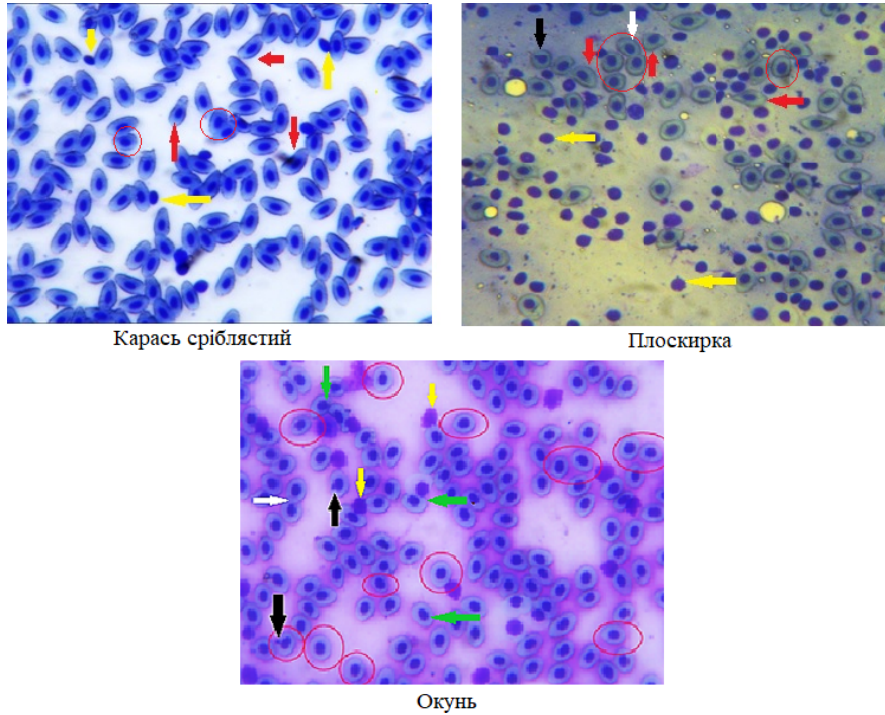


Рис. 2. Патології клітин крові у риб із Самарської затоки: у червоному колі молоді еритробласти, чорна стрілка – еритроцити з мікроядрами, червона стрілка – пойкилоцитоз еритроцитів, біла стрілка – амітози, зелена стрілка – каріопікноз, жовта стрілка – лімфоцити (зб. 20^x)

клітин припадав на клітини з мікроядрами (рис. 3). Патології ядер (каріопікноз, ядерні тіні) зустрічались не часто (0,6–1,2 % від загального числа клітин з патологічними змінами). Зафіксовані також одиничні амітози.

У плоскирки із Самарської затоки найбільш розповсюдженими патологіями еритроцитів були: пойкилоцитоз – 58 % від загального числа зафіксованих патологій, гіпохромія – 32 %, фестончасті оболонки еритроцитів – 4 %, клітини з мікроядрами – 4 %. Амітози становили 0,6 % від загальної кількості клітин у п.з. мікроскопу і 4 % від загального числа патологічних клітин. Також зустрічались патології ядер: каріопікноз – 8 %, ядерні тіні – 2 %, каріолізис – 1,3 %.

Дослідження клітин білої крові показало вірогідне збільшення кількості лейкоцитів у риб Самарської затоки (табл. 2). У плоскирки кількість лейкоцитів у забрудненій зоні збільшувалась на 18 %, у карася – на 22 %.

У обох видів риб кров мала виражений лімфоїдний характер. Вміст лімфоцитів коливався від 66 до 80%. Відмічалось зниження відносної кількості лімфоцитів у риб із забрудненої зони: у плоскирки – на 14 % ($p \geq 0,05$), у карася – на 18 % ($p \leq 0,05$).

Кількість метамієлоцитів – попередників зрілих гранулоцитів – у зоні токсифікації помітно збільшувалось: у плоскирки – в 2,8 разів, у карася – в 2,6 разів.

Особливістю лейкоцитарної формули риб Самарської затоки було вірогідне збільшення кількості сегментоядерних форм. У плоскирки із забрудненої зони відносна кількість сегментоядерних нейтрофілів збільшувалась у 1,4 рази, еозинофілів – у 1,2 рази, базофі-

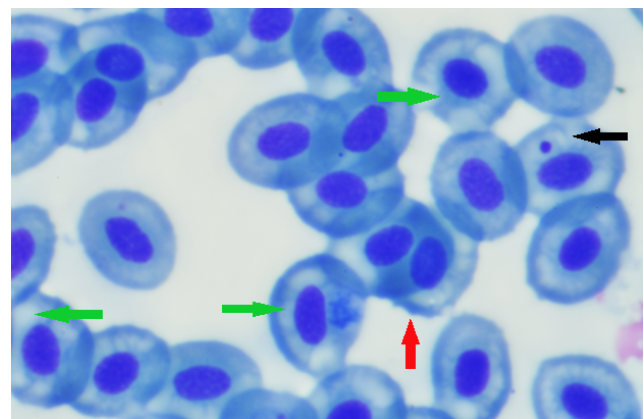


Рис. 3. Патології еритроцитів карася сріблястого із Самарської затоки: чорна стрілка – мікроядра, зелена стрілка – гіпохромія, червона стрілка – фестончаста оболонка (зб. 40^x)

лів – у 1,5 разів. У карася із забрудненої зони збільшення сегментоядерних лейкоцитів було більш виражене: кількість нейтрофілів збільшувалась у 2,7 рази, еозинофілів – у 2 рази і базофілів – у 7 разів. У плоскирки, що мешкала в Самарській затоці, збільшення сегментоядерних нейтрофілів відбувалось одночасно зі збільшенням їх попередників – паличкоядерних нейтрофілів. У карася ми не відмітили такої залежності.

Також характерною особливістю крові риб в умовах хронічної інтоксикації було збільшення частки моноцитів. У плоскирки відмінності у показниках з рибами

**Кількість лейкоцитів і лейкоцитарна формула у риб із забрудненої (1) та умовно чистої (2) зон
Запорізького водосховища**

Показники	Плоскирка		Карась	
	1	2	1	2
Число лейкоцитів, тис/мкл	29,5±2,8*	24,1±2,9*	33,8±4,1*	26,4±2,55*
Лейкоцитарна формула, %				
Метамієлоцити	2,5±0,02*	0,9±0,03*	2,9±0,6*	1,1±0,5*
Мієлоцити	0,9±0,06	1,2±0,03	1,1±0,05	1,2±0,08
Паличкоядерні нейтрофіли	3,9±0,6*	3,1±0,3*	2,2±0,4	2,4±0,3
Сегментоядерні нейтрофіли	17,1±1,3*	12,0±1,8*	16,0±2,1*	6,0±0,8*
Еозинофіли	2,1±0,31*	1,7±0,1*	2,5±0,7*	1,5±0,05*
Базофіли	0,3±0,02*	0,2±0,01*	0,7±0,3*	0,1±0,03*
Лімфоцити	66,2±6,2	77,0±4,6	65,7±1,8*	80,3±2,6*
Моноцити	7,1±1,1*	3,9±0,6*	8,9±1,1	7,4±1,6
Лейкоцитарний індекс інтоксикації	0,23	0,12	0,13	0,08

* – різниця між показниками із забрудненої і умовно чистої зон вірогідна, $p \leq 0,05$

контрольної ділянки були вірогідні і становили 45 %; у карася – 17 %, але у карася рівня вірогідності вони не досягали.

Про наявність процесів інтоксикації в організмі риб, що мешкали в Самарській затоці, свідчив лейкоцитарний індекс інтоксикації (ЛІІ). У плоскирки із забрудненої зони ЛІІ був збільшений на 48 %, а у карася – на 39 %.

Обговорення. Більшість риб родини Коропові, до якої відносяться карась сріблястий і плоскирка, є розповсюдженими видами майже в усіх прісноводних водоймах. Вони пристосувались до екологічних умов і мають стійкість до впливу несприятливих факторів. Однак, в умовах постійного забруднення водного середовища, риби знаходяться під впливом хронічної інтоксикації, що відображається на їх фізіологічному стані і гематологічних показниках.

В наших дослідженнях у риб в зоні токсичного забруднення відмічалось вірогідне збільшення розмірів ядер еритроцитів. Накопичення ядерної маси сигналізує про підготовку еритроциту до амітотичного ділення. На підтвердження цього були знайдені еритроцити в стадії амітозу у карася і плоскирки із забрудненої зони, а також вірогідне збільшення молодих бластних форм еритроцитів. Аналогічні явища ми спостерігали раніше у плітки Самарської затоки (Sharamok та ін., 2016), а також у карася в умовах гіпоксії (Sharamok & Yesipova, 2015). Тобто, накопичення ядерної маси і збільшення кількості амітозів, а також активацію еритропоезу можна розцінювати як компенсаторну реакцію крові риб, націлену на збільшення кількості еритроцитів взамін ушкоджених клітин. Між тим, зростання відносної частки незрілих бластних форм, які мають слабку функціональну активність, може свідчити про ослаблення транспортної функції крові у риб в умовах хронічного токсикозу.

Відмічені нами патологічні зміни еритроцитів (пойкілоцитоз, гіпохромія, мікроядра, фестончасті оболонки та ін.) мали неспецифічний характер. Подібні реакції описані іншими авторами для різних видів риб, що мешкали у водоймах з посиленням антропогенним навантаженням (Минеєв, 2013; Konkova & Fedorova, 2016). В наших дослідженнях кров плоскирки містила

більшу кількість еритроцитів з патологіями (у 1,4 рази) і, особливо, патологіями ядер еритроцитів (у 2–7 разів) у порівнянні з кров'ю карася. Очевидно, тут мають місце видові особливості захисних реакцій червоної крові риб, які потребують подальшого вивчення.

У лейкоцитарній формулі, навпаки більш суттєві зміни відмічались в крові карася. Реакцією його крові на забруднення була активація процесів гранулопоезу і нейрофілозу. Збільшення кількості гранулоцитних лейкоцитів у карася в токсичній зоні відмічалось і раніше (Kurchenko & Sharamok, 2019). Посилення синтезу гранулоцитів є бар'єрною функцією крові, яка відноситься до адаптаційного механізму. Результати досліджень показали, що у карася потенціал пристосувальних можливостей крові виявився вище, ніж у плоскирки. Очевидно, це пов'язано з особливостями біології карася (Караваєва та ін., 1994). Карась, на відміну від плоскирки, придонна риба, в його раціоні значний відсоток займає детрит, який активно акумулює сполуки важких металів, що потрапляють в організм риб і формують відповідний механізм захисту.

Характерною особливістю відгуку крові обох видів риб на хронічний токсикоз було підвищення кількості лейкоцитів на фоні зниження частки лімфоцитів. Подібна залежність спостерігалась у риб в умовах гострої і хронічної інтоксикації міддю (Mazon et al., 2002) та хронічної інтоксикації цинком (Srivastava & Punia, 2011).

Висновки. Результати проведених досліджень показали, що за цитометичними показниками зрілих еритроцитів риб, що мешкали у Самарській затоці (зона токсифікації важкими металами) та нижній ділянки водосховища (умовна чиста зона) не було виявлено вірогідних відмінностей, проте площа ядер і ядерно-цитоплазматичне співвідношення у риб із забрудненої зони були вище на 12–20 %, і у карася ці відмінності були вище, ніж у плітки.

Характерною особливістю крові обох видів риб із забрудненої зони було вірогідне збільшення молодих бластних форм еритроцитів (базофільних і поліхроматофільних нормобластів) – на 30–33 %.

У риб із забрудненої зони виявлено вірогідне зростання кількості клітин з патологічними явищами (на

31–32 % порівняно з умовно чистою зоною), причому, у плоскирки число еритроцитів з патологіями було вдвічі більше, ніж у карася. Більшість виявлених клітинних патологій зустрічалась у риб незалежно від їх видової приналежності (пойкілоцитоз, гіпохромія, фестончасті краї оболонки, мікроядра), але за кількістю окремих патологій види риб відрізнялись. У плоскирки в декілька разів було більше клітин з патологіями ядер, ніж у карася.

Лейкоцитарний профіль крові риб з різних зон теж мав певні відмінності. Загальна кількість лейкоцитів була вірогідно вище у риб із зони забруднення важкими металами: у плоскирки на 19 %, у карася – на 22 %.

У лейкоцитарній формулі крові риб із забрудненої зони вірогідно збільшувалась частка сегментоядерних форм і моноцитів на фоні зниження лімфоцитів. Про хронічну інтоксикацію риб у Самарській затоці свідчили збільшені лейкоцитарні індекси інтоксикації: у плоскирки – на 48 %, у карася – на 39 %.

Таким чином, адаптативними реакціями крові риб на хронічну інтоксикацію важкими металами можна вважати збільшення резерву молодих бластних форм еритроцитів і підвищення синтезу лейкоцитів за рахунок гранулоцитних форм. Активація гранулопоезу свідчить про підвищення захисної реакції крові риб на дію токсикантів.

Бібліографічні посилання:

1. Buzevych, I. Yu., (2012). Stan ta perspektyvy rybohospodarskoho vykorystannia promyslovoi ikhtiofauny velykykh rivnyynykh vodoshkovyshch Ukrainy [Status and prospects of the fishery use of the industrial ichthyofauna of large plain reservoirs of Ukraine]. *Dys. ... doktora biol. nauk*: 03.00.10. Kyiv, 297 (in Ukrainian).
2. Heina, K. N. (2019). Stan ta dynamika popovnennia promyslovoho zapasu ikhtiofauny ponyzziv r. Dnipro [Status and dynamics of replenishment of the industrial stock of ichthyofauna in the lower reaches of the Dnipro River]. *Rybohospodarska nauka Ukrainy*, 1(47), 17–27. doi: 10.15407/fsu2019.01.017 (in Ukrainian).
3. Ivanova, N. T. (1989). Atlas kletok krovi ryib [Atlas of the fish blood cells]. M. : Leg. pisch. prom-st, 184 (in Russian).
4. Karaieva, N. V., Kovalchuk, N. Ye. & Melnychuk, V. P. (1994). Zhyvlennia koropa ta sribliastoho karasia u vodoimakh z riznymy trofichnymy umovamy [Feeding the European carp carp and the Prussian carp in the reservoirs with different trophic conditions]. *Rybne hospodarstvo*. 48. 17–23 (in Ukrainian).
5. Konkova, A. V., Fedorova, N. N. (2016). Patomorfologicheskie izmeneniya eritrotsitov molodi lescha Abramis brama Volzhsko-Kaspiyskogo basseyna [The pathomorphological changes of the young bream Abramis brama erythrocytes from the Volga-Caspian basin]. *Trudy VNIRO*, 162, 12–19 (in Russian).
6. Lytvynenko, V.O., Khrystenko, D. S., Kotovska, H. O., Kolesnyk, N. L. & Symon, M. Yu. (2021). Osoblyvosti vykorystannia Kyivskoho vodoshkovyshcha yak rybohospodarskoho vodnoho obiekta (ohliad) [Features of using the Kyiv Reservoir as a fishery water body (review)]. *Rybohospodarska nauka Ukrainy*, 4 (58), 5–28. doi: <https://doi.org/10.15407/fsu2021.04.005> (in Ukrainian).
7. Mineev, A. K. (2013). Nespetsificheskie reaktsii u ryib iz vodoemov sredney i nizhney Volgi [Nonspecific reactions of the fish from the middle and lower Volga]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*. 3–7, 15, 2301–2318 (in Russian).
8. Mineev, A. K. & Kalinin, E. A. (2012). Osobnosti leykotsitarnoy formuly u plotvyi (Rutilus rutilus Linnaeus, 1758) iz vodoemov raznogo tipa (na primere Saratovskogo vodohranilishcha i malyih rek respubliki Udmurtiya). [Features of the leukocyte formula of the roach (Rutilus rutilus Linnaeus, 1758) from the reservoirs of different types (on the example of the Saratov reservoir and small rivers of the Republic of Udmurtia)]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*, 14, 1, 213–217 (in Russian).
9. Myslyva, T. M. (2016). Vazhki metaly i mikroelementy v orhanakh y tkanynakh predstavnykiv ikhtiofauny malykh richok zhytomyrskoho polissia [Heavy metals and trace elements in the organs and tissues of the ichthyofauna of small rivers of Zhytomyr Polissya]. *Visnyk Zhytomyrskoho natsionalnoho ahroekolohichnoho universytetu*, 1(1), 22–34. Access mode: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vzhnau_2016_1\(1\)_5](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vzhnau_2016_1(1)_5) (in Ukrainian).
10. Ostrovskiy, V. K., Svitich, Yu. M. & Veber, V. R. (1983). Leykotsitarnyy indeks intoksikatsii pri ostrykh gnoyniyh i vospaditelnykh zbolevaniyah legkih [Leukocyte intoxication index during the acute purulent and inflammatory lung diseases]. *Vest. hirurgii*, 131, 11, 21–24 (in Russian).
11. Rabcheniuk, O. O. (2019). Vplyv pidvyshchennykh kontsentratsii ferumu u vodi na metabolichni protsesy v orhanizmi koropa ta shchuky [The influence of high concentrations of iron in water on metabolic processes of the European carp and the pike] *Dys. na zdobuttia naukovooho stupenia kand. biol. nauk*, 03.00.10 – Ikhtiolohiia. Ternopil, 162 (in Ukrainian).
12. Serpunin, G. G. (2010). Gematologicheskie pokazateli adaptatsiy ryib. Monografiya [Hematological parameters of the fish adaptations. Monograph] Kaliningrad: Izd-vo FGOU VPO "KGTU", 460 (in Russian).
13. Skyba, O. I., Hrubinko, V. V. & Fedoniuk, L. Ya. (2018). Zapobihannia zabrudnenniu hidroekosystem vazhkymy metalamy yak odna z form realizatsii tsilei staloho rozvytku v Ukraini [Prevention of pollution of the hydroecosystems with heavy metals as one of the forms of realization of the goals of sustainable development in Ukraine]. *Ekolohichni nauky*, 4 (23), 101–105. doi: 10.32846/2306-9716-2018-4-23-22 (in Ukrainian).
14. Snitynskyi, V. V. & Onyskovets, M. Ya. (2011). Osnovni mekhanizmy toksychnoi dii yoniv vazhkykh metaliv na orhanizm ryb [The main mechanisms of toxic action of heavy metal ions on the fish]. *Naukovyi visnyk LNUVMBT imeni S.Z. Gzhytskoho*, 13, 2(48), 471–476 (in Ukrainian).
15. Fedonenko, O. V., Yesipova, N. B., Sharamok, T. S., Ananieva, T. V. & Yakovenko, V. O. (2012). Suchasni problemy hidrobiolohii: Zaporizke vodoshkovyshche [Modern problems of hydrobiology: Zaporizhzhia reservoir]. D.: LIRA, 279 (in Ukrainian).
16. Fedonenko, O. V., Marenkov, O. M. (2018). Promyslove osvoiennia ikhtiofauny Zaporizkoho (Dniprovskoho) vodoshkovyshcha: Dovidnyk. [Industrial development of ichthyofauna of the Zaporizhzhia (Dnipro) reservoir: Handbook] LIRA. Dnipro. 152 (in Ukrainian).

17. Sharamok, T. S. & Yesipova, N. B. (2015). Vplyv antropohennykh faktoriv na hematolohichni pokaznyky ryb [Influence of the anthropogenic factors on hematological parameters of the fish]. *Naukovi zapysky Ternopilskoho natsionalnoho pedahohichnoho universytet, 64*, 722–726 (in Ukrainian).
18. Sharamok, T. S., Yesipova, N. B., Fedonenko, O. V. & Biletska, O. V. (2016). Ekoloho-hematolohichna kharakterystyka plitky zvychnoi Zaporizkoho vodoshkovyshcha [Ecological and hematological characteristics of the common roach from the Zaporizhzhia reservoir]. *Biolohichni visnyk MDPU imeni Bohdana Khmelnytskoho, 6* (2), 303–310 (in Ukrainian).
19. Sharamok, T. S., Fedonenko, O. V., Kurchenko, Yu. V. & Nikolenko Yu. V. (2019). Hidroekolohichna otsinka Zaporizkoho vodoshkovyshcha [Hydroecological assessment of the Zaporizhzhia Reservoir]. *Pytannia bioindykatsii ta ekolohii, 24* (2), 147–161 (in Ukrainian).
20. Al-Asghar, N. A., Abdel-Warith, A. W. A., Younis, E. S. M. & Allam, H. Y. (2015). Haematological and biochemical parameters and tissue accumulations of cadmium in *Oreochromis niloticus* exposed to various concentrations of cadmium chloride. *Saudi J. Biol. Sci., 22*, 543–550. doi: 10.1016/j.sjbs.2015.01.002
21. Authman, M. M. N., Zaki, M. S., Khallaf, E. A. & Abbas H. H. (2015). Use of Fish as Bioindicator of the Effects of Heavy Metals Pollution. *J. Aquac. Res. Develop, 6*, 328–341. doi: 10.4172/2155-9546.1000328
22. Fedonenko, O., Yakovenko, V., Ananieva, T., Sharamok, T., Yesipova, N. & Marenkov, O. (2018). Fishery and environmental situation assessment of water bodies in the Dnipropetrovsk region of Ukraine. Monograph. World Scientific News, 92(1), 1–138. EISSN 2392-2192
23. Kurchenko, V. & Sharamok, T. (2019). Hematological indices of the prussian carp (*Carassius Gibelio* (Bloch, 1782)) from the Zaporizhian (Dnipro) reservoir. *Acta Biol. Univ. Daugavp, 19*(2), 141–148.
24. Mazon, A. F., Monteiro, E. A. S., Pinheiro, G. H. D. & Fernandes, M. N. (2002). Hematological and physiological changes induced by short-term exposure to copper in the freshwater fish. *Brazilian Journal of Biology, 62*, 621–631. doi: 10.1590/S1519-69842002000400010
25. Mini, V. S. (2015). Haematological changes in a freshwater fish, *Anabas testudineus* Bloch, on exposure to heavy metal toxicant cadmium chloride. *Asian J. Sci. and Technol., 6*, 1, 988–992.
26. Sharon, G. & Zilberg, D. (2011). Atlas of Fish Histology and Histopathology. Arava Research and Development Centers, 77.
27. Sfakianakis, D. G., Renieri, E., Kentouri, M. & Tsatsakis A.M. (2015) Effect of heavy metals on fish larvae deformities. *Environmental Research, 137*, 246–255. doi: 10.1016/j.envres.2014.12.014
28. Srivastava, R. & Punia, P. (2011). Effect of heavy metal on biochemical and hematological parameters in *Cyprinus carpio* and its use as a bioindicators of pollution stress. *J. Ecophysiol. Occup. Hlth., 11*. 21–28.
29. Qiaoqiao, Z., Nan, Y., Youzhi, L., Bo R., Xiaohui, D., Hualin, B. & Xin, Y. (2020). Total concentrations and sources of heavy metal pollution in global river and lake water bodies from 1972 to 2017. *Global Ecology and Conservation, 22*. doi: 10.1016/j.gecco.2020.e00925
30. Vergani, L., Grattarola, M., Borghi, C., Dondero, F. & Viarengo, A. (2005). Fish and molluscan metallothioneins. *FEBS Journal, 272*, 23, 6014–6023.

Yesipova, N. B., Ph. D (Biological Sciences), Associate Professor, Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

Sharamok, T. S., Ph. D (Agricultural Sciences), Associate Professor, Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

The adaptive changes in the fish blood cells in conditions of the chronic intoxication

The article analyzes the adaptive responses of the fish blood to the chronic heavy metal intoxication. The research was conducted on two sections of the Zaporizhzhia (Dnipro) Reservoir with varying degrees of toxic pollution. The fish (Prussian carp and silver bream) were used for the experiments. They are widespread in the freshwater reservoirs, have different diets and habitats. In the fish, morphometric parameters of erythrocytes were determined, cell pathologies and changes in the leukocyte formula were analyzed. The results of the research showed that the fish from the contaminated area credibly had the increased the area of the erythrocyte nuclei, the nuclear-cytoplasmic ratio, increased percentage of the young blast forms, increased number of erythrocytes with the pathological phenomena (poikilocytosis, hypochromia, karyopyknosis, micronuclei, nuclear shadows, amitosis); the number of leukocytes probably increased due to segmental forms and monocytes. Thus, the increase in the young forms of erythrocytes and the activation of granulopoiesis can be regarded as the adaptive responses of the fish blood to the chronic heavy metal intoxication.

The increased intoxication of the fish with heavy metals was indicated by the leukocyte intoxication index, which increased in the Prussian carp in the contaminated area by 39%, in the silver bream – by 48%. The reactions of the Prussian carp and silver bream blood to the effects of toxicants were the same, but differences in the leukocyte formula of the Prussian carp from contaminated and relatively clean areas were more pronounced. Under the conditions of intoxication in the blood of the Prussian carp twice as much neutrophils were created compared to the white bream. Increased neutrophilia indicates activation of the protective function of the blood and, apparently, indicates a greater potential for adaptive capabilities of the Prussian carp compared to the white bream. These differences between the two species of fish are due to the peculiarities of their biology: the Prussian carp, unlike the silver bream, is a demersal fish, a significant percentage of which is detritus, that actively accumulates heavy metal compounds and thus causes increased intoxication of fish.

Key words: fish, heavy metals, erythrocytes, leukocytes, adaptation.