

ЕКОЛОГІЧНА ФІЗІОЛОГІЯ І БІОХІМІЯ ВОДНИХ ТВАРИН

УДК 574.24:591.1[57.02+57.04](597)

О.С. ПОТРОХОВ, д. б. н., ст. наук. співроб., зав. відділу,
Інститут гідробіології НАН України,
просп. Володимира Івасюка, 12, Київ, 04210, Україна
e-mail: apotrokhov@gmail.com
ORCID 0000-0002-8274-6898

О.Г. ЗІНЬКОВСЬКИЙ, к. б. н., ст. наук. співр., пров. наук. співроб.,
Інститут гідробіології НАН України,
просп. Володимира Івасюка, 12, Київ, 04210, Україна
e-mail: olzinkovskyi@gmail.com
ORCID 0000-0003-4135-5839

Ю.М. ХУДІЯШ, к. б. н., ст. наук. співроб.,
Інститут гідробіології НАН України,
просп. Володимира Івасюка, 12, Київ, 04210, Україна
e-mail: yurahud@ukr.net,
ORCID 0000-0002-8588-0371

О.М. ВОДЯНИЦЬКИЙ, к. б. н., наук. співроб.,
Інститут гідробіології НАН України,
просп. Володимира Івасюка, 12, Київ, 04210, Україна
e-mail: fishfarmeralex@ukr.net,
ORCID 0000-0002-4912-689X

К. КОФОНОВ, д-р філософ., м. н. с.,
Інститут гідробіології НАН України,
просп. Володимира Івасюка, 12, Київ, 04210, Україна
e-mail: kirillkofonov16@gmail.com
ORCID 0000-0002-7859-5193

Ю.М. КРАСЮК, к. б. н., наук. співроб.,
Інститут гідробіології НАН України,
просп. Володимира Івасюка, 12, Київ, 04210, Україна
e-mail: j-kasyuk@ukr.net
ORCID 0000-0002-8148-3168

ОСОБЛИВОСТІ ГОРМОНАЛЬНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПІВ РОСТУ ТА ГЕНЕРАТИВНИХ ФУНКЦІЙ РИБ ЗА ПОСИЛЕНОГО АНТРОПОГЕННОГО ВПЛИВУ

Досліджено хімічні показники води й продукцію та деструкцію органічних речовин на різних ділянках р. Рось та р. Протока. В районі с. Городище (р. Рось) та с. Піщана (р. Протока) концентрація амонійного азоту перевищувала в 2—5 разів, нітритів — у 1,5—2,5 рази, нітратів — майже в 3,0—5,8 разів контрольні показни-

Ц и т у в а н н я: Потрохов О.С., Зіньковський О.Г., Худіяш Ю.М., Водяницький О.М., Кофонов К., Красюк Ю.М. Особливості гормонального регулювання темпів росту та генеративних функцій риб за посиленого антропогенного впливу. *Гідробіол. журн.* 2024. Т. 60, № 1. С. 84—98.

ки (дендропарк «Олександрія», р. Рось). На ділянках цих річок спостерігалось істотне забруднення води пестицидами (хлорпірифосом) з прилеглих до водойм територій. За наявності збагачення води біогенними речовинами істотно зростають продукційні процеси у воді (с. Піщана), а при значній концентрації хлорпірифосу (с. Городище) продукція органічних речовин знижується порівняно до контролю.

Встановлено, що з погіршенням якості води та за наявності токсичного забруднення водойми зменшуються розмірно-масові показники йоржа звичайного, окуня річкового та краснопірки звичайної. Це, в першу чергу, пов'язано зі зниженням вмісту соматотропіну у крові. Гонадосоматичний індекс самок окуня та краснопірки із забруднених водойм збільшувався, а самців — зменшувався порівняно з контрольними величинами. Також відмічено зростання відносної та абсолютної плодючості краснопірки зі зростанням ступеня забруднення водойми. З підвищенням плодючості самок під дією несприятливих умов зростає вміст естрадіолу в крові. Для самців окуня та краснопірки характерно зниження вмісту тестостерону в крові.

Таким чином, адаптивною відповіддю риб, яка спрямована на підтримку популяції та на підвищення життєстійкості за токсичних умов, є зниження розмірно-масових показників, підвищення плодючості самок. Ці процеси забезпечуються гормональним регулюванням обмінних процесів.

Ключові слова: агропромислові стічні води, окунь річковий, краснопірка звичайна, йорж звичайний, ріст та плодючість риб, соматотропін, тестостерон, естрадіол.

Інтенсивний розвиток промисловості та аграрних господарств чинить значний антропогенний вплив на водні системи та гідробіонтів. Головним джерелом надходження в природні води токсичних речовин є стічні води промислових підприємств. Проте істотний внесок у забруднення водного середовища вносять і агропромислові підприємства через широке застосування мінеральних добрив та різноманітних пестицидів і гербіцидів. Особливо небезпечними є колекторні і дренажні води зрошуваних полів, які забруднюють поверхневі і ґрунтові води сполуками азоту та фосфору, пестицидами. Великі тваринницькі комплекси також істотно забруднюють водне середовище своїми недоочищеними стічними водами. Суттєвим джерелом забруднень водойм і водотоків є й господарсько-побутові стічні води [7].

Під впливом надходження органічних речовин та ксенобіотиків у водах річок та інших водних об'єктів погіршується фізіологічний стан фауни і флори, знижується їхнє розмаїття.

Особливо шкідливими є пестициди, які завдають значної шкоди гідробіонтам при потраплянні їх у воду внаслідок обробки сільськогосподарських угідь і подальшого дощового змиву у прилеглі водойми. Це зумовлено їхньою токсичністю для організмів, здатністю викликати побічні ефекти та післядією [3].

Сучасні пестициди — це складні органічні сполуки, що належать до ксенобіотиків (чужорідних для біосфери хімічних речовин). Більшість цих сполук не мають аналогів у природі, і відповідно, механізмів природного очищення як біоти, так і системи загалом не існує. Їхня токсичність надзвичайно висока, оскільки призводить до порушення життєдіяльності і загибелі організмів, може підірвати біологічний потенціал відтво-

рення гідробіонтів, порушити екологічну рівновагу у системі та призвести до скорочення окремих популяцій та біорізноманіття в цілому [1, 6].

Очевидно те, що негативний вплив на водні системи має багатофакторний характер. Багатофакторність процесу формування якості води обумовлює складність його вивчення. Також проблемою у дослідженні цих процесів є недостатня обґрунтованість теоретичних та методичних розробок, неоднозначність використання інструментальних методів, що ускладнює спроби розкриття механізмів формування якості води, які мають за мету удосконалення управління водоохоронною діяльністю [4].

Нерівнозначність умов і факторів впливу на формування якості водних об'єктів створює необхідність проведення досліджень тих чинників, які спричиняють найбільший вплив. Актуальність таких досліджень обумовлена інтенсивністю використання водних ресурсів та необхідністю визначення пріоритетних джерел забруднення водних екосистем з метою розробки комплексу природоохоронних заходів [5].

Таким чином, нами було поставлено за мету провести дослідження водних ділянок з різним антропогенним навантаженням для визначення сумісної дії негативних чинників (надмірної концентрації біогенних речовин і пестицидів) як на загальний стан водойми, так і на окремі групи гідробіонтів.

Матеріал і методика досліджень

Для досягнення поставленої мети нами було обрано ділянки водойм, розташовані у безпосередній близькості до сільськогосподарських угідь, де активно вносились мінеральні добрива та здійснювалась обробка з використанням різноманітних пестицидів. Обрані водойми та водотоки відрізняються між собою за гідроекологічними характеристиками. Перш за все географічно (наявністю чи відсутністю сільськогосподарських угідь), гідрологічним режимом (наявність чи відсутність значної течії), інтенсивністю покриття вищими водними рослинами прибережної території та водного дзеркала.

Районами для досліджень були обрані: Білоцерківське середнє водосховище, вище за течією м. Біла Церква (на ділянці в районі дендропарку «Олександрія»); руслові ділянки р. Рось (поблизу с. Городище) та р. Протока (в районі с. Піщана). За умовний контроль було обрано Білоцерківське середнє водосховище (рис. 1).

Руслова ділянка р. Рось (с. Городище) — вздовж розташовані заплавні луки та поля з посівами різноманітних агропромислових культур. Донні відклади мулисті, розвинена вища водна рослинність.

Білоцерківське середнє водосховище — зарегульована частина р. Рось. На досліджуваній ділянці переважно замулене дно, в окремих частинах вкриті раковинами дрейсени та піском. Вздовж берегів добре розвинена вища водна рослинність. В районі досліджень відсутній агропромисловий стік води.

Річка Протока — дослідна річкова ділянка розташована неподалік с. Піщана. Донні відклади мулисті. В місці відбору проб відмічена добре



Рис. 1. Райони проведених досліджень: 1 — руслова ділянка р. Рось (с. Городище); 2 — Білоцерківське середнє водосховище, р. Рось (дендропарк «Олександрія»); 3 — р. Протока (с. Піщана)

розвинена вища водна рослинність. Вддовж річки розташовані заплавні луки та поля з посівами сої. З лівого боку розташовані рибогосподарські ставки.

Гонадосоматичний індекс (ГСІ) розраховували, використовуючи відношення маси органів до загальної маси тіла [11]. Абсолютну плодючість розраховували за кількістю ікри на одну самку, відносно — за кількістю ікринок на одиницю маси риби.

Кров отримували відбором з серця. Потім шляхом 15-хвилинного центрифугування при 5000 об/хв відділяли плазму та заморожували її за температури -18°C .

Вміст соматотропіну, естрадіолу та тестостерону визначали у плазмі крові методом імуноферментного аналізу з використанням аналізатора Rayto RT-2100C і наборів для лабораторної діагностики Calbiotech (USA): соматотропін — Human Growth Hormone (hGH) ELISA, тестостерон — Testosterone ELISA, естрадіол — Estradiol ELISA.

Дані обробляли статистично [14] за допомогою програм MS Excel з пакета Microsoft 365 та Statistica 10.0. Достовірність між досліджуваними групами оцінювали за допомогою t -критерію Стюдента за рівня ймовірності $p < 0,05$.

Результати досліджень та їх обговорення

За результатами проведених досліджень встановлено різний ступінь антропогенного токсичного навантаження на різні ділянки р. Рось та

ISSN 0375-8990. Гідробіологічний журнал. 2024. 60(1)

р. Протока. Причому величина рН на досліджених ділянках р. Рось та р. Протока коливалась у межах 7,0—7,4. Концентрацію сполук азоту і фосфору у воді дослідних ділянок водойм наведено в таблиці 1.

Ділянку р. Рось біля дендропарку «Олександрія» можна вважати за контрольну, оскільки азотне забруднення не перевищує нормативні та фонові концентрації для цього регіону. Хоча слід відмітити, що вміст фосфору був близьким до концентрацій на інших двох дослідних ділянках. Це, очевидно, свідчить про потрапляння у водойму побутово-комунальних стоків. У більшості випадків ці стоки характеризуються підвищеним вмістом фосфору як компоненту миючих засобів тощо.

В районі с. Городище і с. Піщана вміст фосфору у воді був близький до значень показників контрольної ділянки. Концентрація азотовмісних сполук була значно вище порівняно з контрольними показниками. Так, в районі с. Городище концентрація амонійного азоту і нітрит-йонів була в середньому в 2 рази, а нітрат-йонів — майже в 5,8 рази вище порівняно з контролем.

В районі с. Піщана спостерігалась найвища концентрація йонів амонію, яка перевищувала контрольні показники в середньому в 5 разів. Концентрація нітрит- і нітрат-йонів збільшувалась відповідно в 2 і 3 рази відносно контролю.

Підвищений вміст азотистих сполук неорганічного азоту в районі дослідних ділянок с. Городище і с. Піщана є свідченням забруднення води сільськогосподарськими стоками. Ці сполуки є головними складовими мінеральних добрив, які застосовуються агропромисловими підприємствами та фермерськими господарствами. Слід відмітити, що підвищена концентрація амонійного і нітритного азоту у воді зазвичай є показником відносно нещодавнього їхнього надходження у водойму.

Нами було досліджено вміст хлорпірифосу у контрольній і дослідних водоймах. Цей інсектицид (О,О-Диетил-О-3,5,6-трихлор-2-піридилфосфоротіоат, $C_{12}H_{11}Cl_3NO_3PS$) широко використовується у аграрному секторі. Хлорпірифос — фосфорорганічний інсектицид широкого спектру дії. Застосовується як інсектицид на зернових, бавовнику, польових, плодових, горіхоплідних і овочевих культурах, а також на газонах і декоративних рослинах [16, 20].

Таблиця 1

Гідрохімічні показники водних дослідних ділянок р. Рось та р. Протока

Точки лову	Нітрати (NO_3^-), мг N/дм ³	Нітрити (NO_2^-), мг N/дм ³	Амоній (NH_4^+), мг N/дм ³	Фосфати (P/PO_4^{3+}), мг P/дм ³
р. Рось, с. Городище	1,83—9,00	0,02—0,09	0,41—1,25	0,39—0,62
р. Протока, с. Піщана	<0,65—6,33	0,02—0,06	0,85—4,6	0,17—0,53
р. Рось, Середнє Білоцерківське вдсх., дендропарк «Олександрія»	#0,65—1,21	0,01—0,04	0,21—0,67	0,23—0,67

Зазвичай при використанні його на сільськогосподарських угіддях певна частина пестициду може потрапляти у прилеглі водойми зі стічними і підземними водами [8]. За токсикологічною класифікацією хлорпірифос належить до надзвичайно токсичних речовин. Його токсичний поріг для більшості видів тварин, в тому числі і гідробіонтів, становить $0,0002 \text{ мг/дм}^3$. Токсичність хлорпірифосу для риб також пов'язана з пригніченням ацетилхолінестерази, яка каталізує розщеплення нейромедіатора ацетилхоліну на холін і ацетат шляхом фосфорилування. Ця реакція необхідна для дезактивації ацетилхоліну і переходу клітини-мішені в стан спокою (наприклад, для розслаблення м'язової клітини). При взаємодії пестициду з естеразами відбувається пригнічення їхньої активності в результаті конкурентного гальмування [17, 20].

Отримані дані по концентрації хлорпірифосу у воді повністю підтверджують розподіл різних ділянок р. Рось та р. Протока за ступенем антропогенного навантаження на водну екосистему (рис. 2). Концентрація хлорпірифосу в районі с. Городище р. Рось перевищувала його концентрацію на контрольній ділянці в 56,5 разів, у р. Протока — у 16 разів. Надмірно застосування пестицидів на полях та змив їх у водойму неминуче призведе до погіршення фізіологічного стану риб.

Переважно, при збалансованому кругообігу речовин у водних екосистемах, наявна рівновага між біотою і біогенними речовинами. Так, інтенсивність синтезу первинної продукції фітопланктоном, в ході якого споживаються неорганічні сполуки азоту та фосфору, зрештою, регулюється швидкістю їхнього утворення в результаті деструкції та мінералізації.

Неконтрольоване надходження у водне середовище значної кількості біогенних речовин спричиняє збільшення швидкості первинного продукування органічної речовини, що не встигає засвоюватись організмами більш високих трофічних рівнів [9].

За джерелами надходження біогенів можна виділити три типи антропогенної евтрофікації: урбогенну, яка виникає внаслідок скидання неочищених від сполук фосфору та азоту міських стічних вод; агрогенну, причиною якої є вимивання ґрунтовими водами і зливами мінеральних добрив із сільськогосподарських угідь; зоогенну внаслідок забруднення водойм стоками тваринницьких ферм [1].

В нашому випадку у всіх досліджених водоймах продукційні процеси значно переважали над деструкційними. Так, на найбільш забрудненій ділянці р. Протока (с. Піщана) A/R — коефіцієнт досягав 95,5, що було викликано масовим розвитком переважно синьозелених водоростей (табл. 2). Збагачення води біогенними сполуками зі стоками з полів та надходження органічного забруднення від пасовищ рогатої худоби викликає істотну евтрофікацію, водойму можна віднести до гіперевтрофної. Істотне надходження до води пестицидів (р. Рось, с. Городище) призводить до деякого зниження первинної продукції та зменшення величини A/R — коефіцієнту порівняно з умовним контролем.

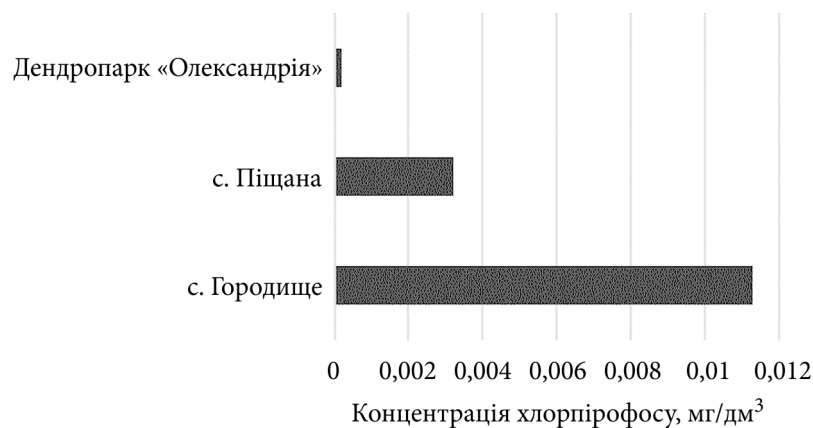


Рис. 2. Концентрація хлорпірофосу у воді на різних ділянках р. Рось та р. Протока, мг/дм³

За ступенем забруднення стоків з прилеглих аграрних територій та господарсько-комунальних стоків досліджені ділянки річок можна розташувати наступним чином: р. Рось (с. Городище) > р. Протока (с. Піщана) > р. Рось (дендропарк «Олександрія»).

Слід також відмітити, що зростання концентрацій біогенних сполук і наявність підвищених концентрацій пестицидів у воді є потенційною загрозою для риб, оскільки їхня дія здатна вплинути на розмірно-масові характеристики та репродуктивну функцію організму.

Розмірно-масові показники риб з дослідних водойм повністю узгоджуються з даними щодо забруднення водойм. Так, на найбільш забрудненій дослідній ділянці р. Рось поблизу с. Городище загальна довжина і маса досліджених видів риб була в середньому майже у 1,5—2 рази менше порівняно з контролем та іншою дослідною ділянкою р. Протока біля с. Піщана (табл. 3).

Слід відмітити, що тривале перебування риб в умовах забруднення також може сприяти більш глобальним змінам і на біохімічному рівні.

Таблиця 2

Первинна продукція та деструкція органічних речовин досліджених водойм, червень 2022 р.

Водойми	Валова продукція (A), мг O ₂ дм³/год.	Чиста продукція, мг O ₂ дм³/год.	Деструкція (R), мг O ₂ дм³/год.	A/R
Р. Рось, с. Городище	0,61	0,57	0,04	15,25
Р. Протока, с. Піщана	1,91	1,88	0,02	95,5
Р. Рось, дендропарк «Олександрія»	0,24	0,24	0,01	24,0

Відомо, що головну роль в регуляції інтенсивності перебігу біохімічних процесів в організмі відіграють гормони. Нами було встановлено, що вміст у крові соматотропіну, який є регулятором процесів росту, істотно змінювався залежно від ступені антропогенного навантаження. Так, у риб, які перебували у забруднених водоймах, рівень соматотропіну був завжди меншим, ніж у риб з контрольної водойми (рис. 3.). При цьому зниження кількості гормону спостерігалось у крові всіх досліджених видів риб. Відомо, що за дії пестицидів зменшується рівень соматотропіну в крові риб [15]. Це підтверджується нашими даними щодо вмісту хлорпірифосу у воді і розмірно-масовими показниками риб з дослідних водойм. Очевидно, зниження вмісту соматотропіну в крові риб, викликане негативною дією пестициду, призводило до зниження темпів росту.

Гонадосоматичний індекс самок окуня і краснопірки збільшувався в забруднених водоймах порівняно до контролю (рис. 4) Лише для йоржа відмічалось зниження ГСІ самок. У самців показники індексу зменшувались із зростанням забруднення води (рис. 5). Однак у йоржа знову виявлялась протилежна іншим видам риб дія погіршення умов існування, ГСІ самців дорівнював контрольним величинам.

Очевидно, в умовах негативного впливу процеси забезпечення життєстійкості риб виявились енергозатратними. Такий прояв може бути компромісом у процесах розподілу енергії між швидкістю росту та толерантністю до пестицидів [19]. Кількість енергії, яку організм може витратити, обмежена, і коли організму потрібно розподілити енергію на захисні механізми, можуть виникнути компроміси з іншими процесами, що потребують енергії, такими як ріст і плодючість [13]. Внаслідок цього, генеративні процеси, а саме — сперматогенез самців, вірогідно, мали нижче енергозабезпечення, що зумовило зниження ГСІ самців досліджених видів риб.

Зростання гонадосоматичного індексу у самок риб на забруднених дослідних ділянках скоріш за все пов'язано з більшою інтенсивністю закладки нових генерацій ооцитів в ястиках. Так, з літературних джерел

Таблиця 3

Маса (г) / довжина (см) тіла риб з досліджених водойм, $n = 25-50$

Види	Р. Рось, дендропарк «Олександрія»	Р. Рось, с. Городище	Р. Протока, с. Піщана
Йорж звичайний <i>Gymnocephalus cernua</i> (L).	$8,74 \pm 0,27$ $9,5 \pm 0,2$	$6,91 \pm 0,86$ $808 \pm 0,3$	$7,99 \pm 0,55$ $9,1 \pm 0,2$
Окунь річковий <i>Perca fluviatilis</i> (L.)	$31,14 \pm 4,61$ $14,3 \pm 0,7$	$14,72 \pm 0,71^*$ $10,8 \pm 0,4^*$	$22,41 \pm 6,89$ $12,7 \pm 1,8$
Краснопірка звичайна <i>Scardinius erythrophthalmus</i> (L)	$17,0 \pm 2,28$ $11,7 \pm 0,5$	$15,01 \pm 3,24$ $10,8 \pm 0,7$	$10,31 \pm 0,45^*$ $8,1 \pm 0,3^*$

Примітка. * $p < 0,05$.

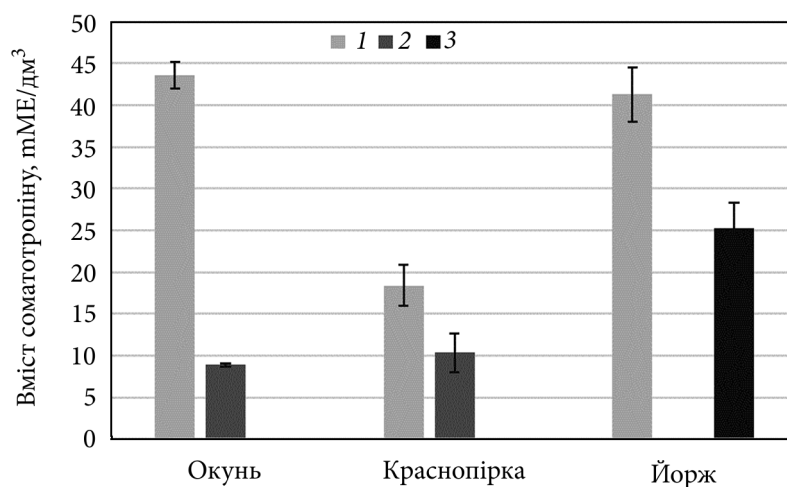


Рис. 3. Вміст соматотропіну у крові риб з досліджених водойм, $M \pm m$, $n = 6-10$. Тут і на рис. 4—8: 1 — р. Рось, дендропарк «Олександрія»; 2 — р. Рось, с. Городище; 3 — р. Протока, с. Піщана

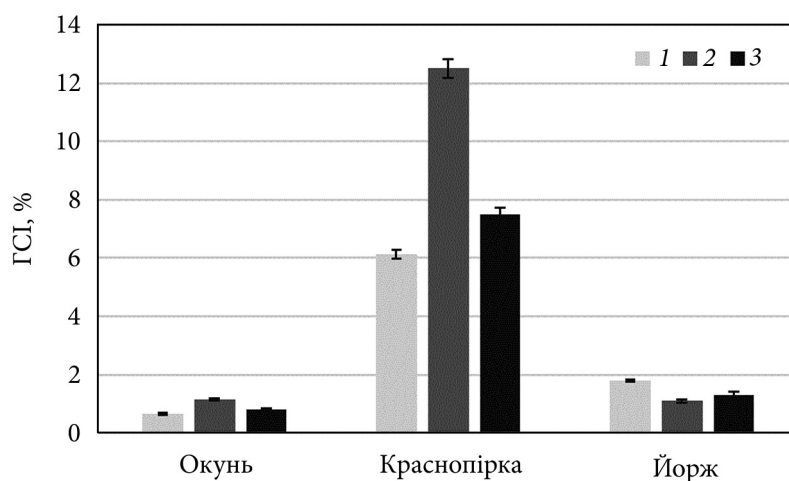


Рис. 4. Гонадосоматичний індекс риб з досліджених водойм, самки, $M \pm m$, $n = 20$

відомо, що в умовах токсичного забруднення води часто величина плодючості зростає задля компенсації зниження виживання. Це дозволяє підтримувати рівень чисельності для нормального існування популяції [2].

Дослідження відносної і абсолютної індивідуальної плодючості краснопірки у певній мірі підтвердили ці твердження. Так, на найбільш забрудненій ділянці р. Рось біля с. Городище відносна і абсолютна індивідуальна плодючість краснопірки була в середньому в 1,5 рази вище, ніж у контрольній водоймі (рис. 6).

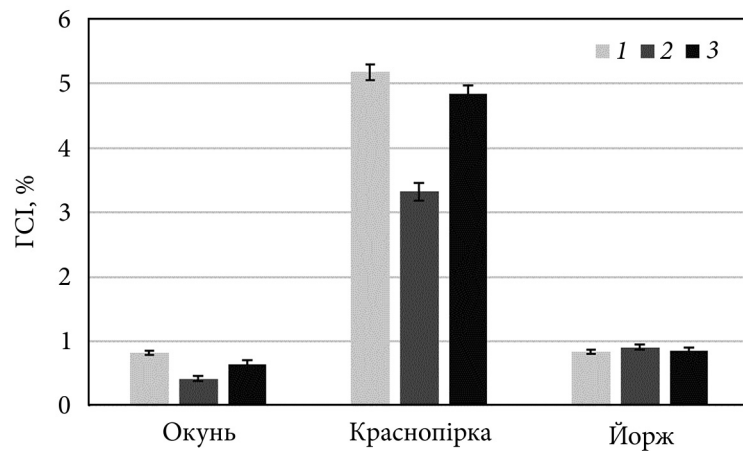


Рис. 5. Гонадосоматичний індекс риб з досліджених водойм, самці, $M \pm m$, $n = 20$

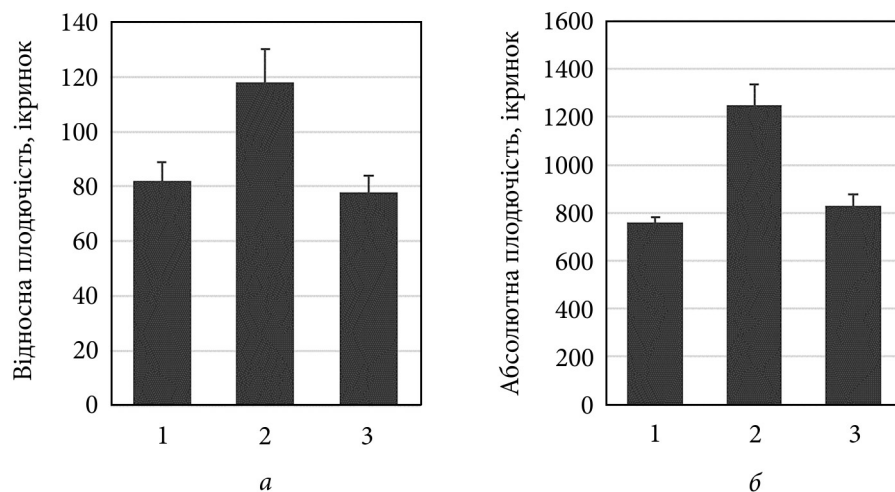


Рис. 6. Відносна плодючість (а) та абсолютна індивідуальна плодючість (б) краснопірки з досліджених водойм, $M \pm m$, $n = 20$

Окрім цього, різні вектори змін ГСІ та плодючості риб за несприятливих умов середовища можна пояснити концепцією гормезису. Гормезис — це явище, при якому низькі концентрації токсиканту або рівні негативного впливу викликають одну реакцію, тоді як вищі рівні та концентрації викликають реакцію в протилежному напрямку, від позитивної до негативної, або навпаки. Залежно від характеру параметра, на який впливають негативно, напрямок відповіді організму змінюється [18].

На генеративні процеси у риб істотно впливають статеві гормони — естрадіол (жіночий) та тестостерон (чоловічий). За нашими даними, вміст естрадіолу і тестостерону в крові повністю корелює з гонадосоматичним індексом (ГСІ) риб. ISSN 0375-8990. Гідробіологічний журнал. 2024. 60(1)

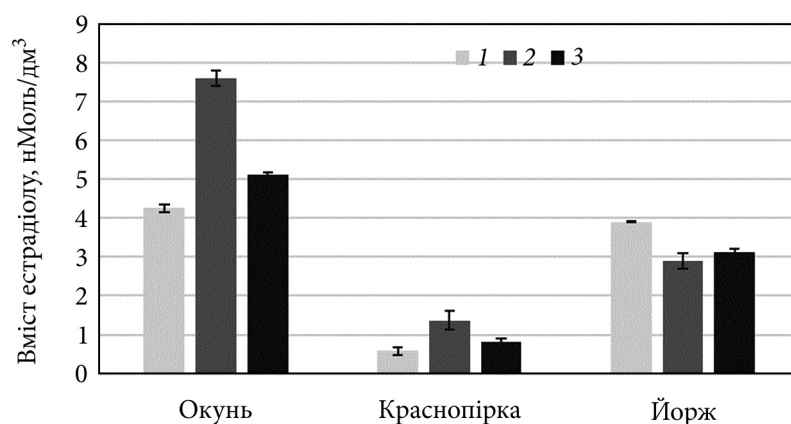


Рис. 7. Вміст естрадіолу в крові риб з досліджених водойм, $M \pm m$, $n = 6-10$

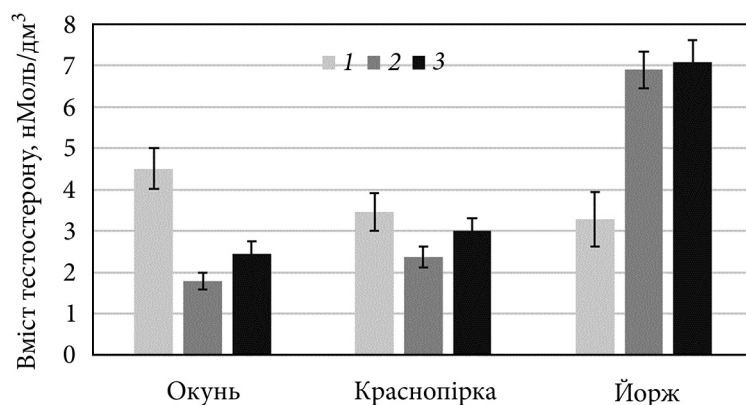


Рис. 8. Вміст тестостерону в крові риб з досліджених водойм, $M \pm m$, $n = 6-10$

тичними індексами дослідних видів риб. Так, естрадіол, який залучений у формування розвитку овоцитів [10]: переважно у всіх досліджених видів риб із забруднених водоймах вміст цього гормону у плазмі крові підвищувався. Так, у окуня по мірі забруднення води вміст естрадіолу збільшувався від 20,5 до 78,8%, у краснопірки — від 37,3% зростав у 2,3 раза (рис. 7). Цей факт пояснює підвищення гонадосоматичного індексу у забруднених водоймах. Проте, рівень естрадіолу у крові йоржа був дещо меншим (на 25,4—34,5%) у забрудненій водоймі, що також пояснює зниження гонадосоматичного індексу.

На протипагу естрадіолу, зміни вмісту тестостерону в плазмі крові риб мають протилежну закономірність. У окуня і краснопірки по мірі забруднення водойми вміст цього гормону знижувався. Для йоржа, навпаки, спостерігається підвищення вмісту тестостерону в крові при забрудненні води стічними водами агропідприємств (рис. 8), що, на фоні зни-

ження естрадіолу, може бути пов'язане з пригніченням ароматази, викликаним, наприклад, негативним впливом токсикантів [12]. Це є видоспецифічною реакцією статеві системи йоржа та гормональної її регуляції.

Висновки

За результатами досліджень встановлено істотний вплив агропідприємств на якість води у водоймах, прилеглих до оброблених полів. В цих водоймах значно підвищується концентрація йонів амонію та нітритів, а також вміст пестицидів (хлорпірифосу). Суттєве підвищення концентрації амонійного азоту свідчить про свіже забруднення води через постійне застосування мінеральних добрив.

Сумарний вплив біогенних сполук і хлорпірифосу призводить до збільшення первинної продукції водойми. Але при значній концентрації хлорпірифосу (р. Рось, с. Городище — 0,0113 мг/дм³) продукція органічних речовин знижується порівняно до контролю.

Під дією погіршення якості води та за наявності токсичних концентрацій пестицидів знижуються темпи росту окуня річкового, краснопірки звичайної та йоржа звичайного. У окуня та краснопірки із забруднених водойм збільшувався гонадосоматичний індекс самок, а самців — знижувався порівняно з контрольними величинами. Відмічено зростання відносної та абсолютної плодючості краснопірки з ростом ступеню забруднення водойми. Проте не відмічається істотного впливу на репродуктивну систему йоржа.

Зниження вмісту гормону росту в крові риб з погіршенням якості води викликає зменшення розмірно-масових показників риб. Збільшення концентрації естрадіолу в крові окуня та краснопірки призвело до зростання плодючості, що є ознаками адаптації організму риб до негативної дії забрудненого середовища. При цьому знижуються енергозатрати на процеси росту задля забезпечення зростаючих енергопотреб на репродуктивні процеси. Для самців більш характерним є зниження вмісту тестостерону в крові на тлі зменшення ГСІ.

Отримані дані свідчать про те, що зміни вмісту гормонів у крові риб можна використовувати для моніторингу якості води водних екосистем.

Список використаної літератури

1. Боярин М.В., Нетробчук І.М. Основи гідроекології: теорія й практика : навч. посіб. Луцьк : Вежа-Друк, 2016. 365 с.
2. Гандзюра В.П., Коваленко В.Ф. Злацький І.А. та ін. Адаптації риб і ракоподібних до токсичного водного середовища. *Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту ім. В. Гнатюка. Сер.: Біологія*. 2017. № 4. С. 85—92.
3. Забокрицька М.Р. Підручник «Агрогідрохімія» — Внесок у реалізацію положень «нітратної директиви» 91/676/ЄЕС в Україні. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*, 2021. Т. 60, № 2. С. 74—80. DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2021.2.7>.
4. Методичні рекомендації щодо визначення основних антропогенних навантажень та їхніх впливів на стан поверхневих вод. Схвалено Науково-технічною радою Держводагентства (протокол від «27» листопада 2018 року № 2). URL: <https://www.davr.gov.ua/fls18/mvod1.pdf> (дата звернення: 21.05.2023)).

5. Програма дій «Порядок денний на XXI століття» («AGENDA 21»): ухвалена конф. ООН з навколиш. середовища і розвитку в Ріо-де Жанейро (Саміт «Планета Земля» 1992 р.). Київ : Інтелсфера, 2000. 359 с.
6. Романенко В.Д. Основи гідроекології: Підручник. Київ : Обереги, 2001. 728 с.
7. Хільчевський В.К., Забокрицька М.Р., Кравчинський Р.Л., Чунарьов О.В. Основні засади управління якістю водних ресурсів та їхня охорона. Київ : Київський університет, 2015. 172 с.
8. Худіаш Ю.М., Причепя М.В., Кофонов К. та ін. Токсичний вплив хлорпірифосу на личинок коропа за умов модельного експерименту і біотестування. Біологічні дослідження-2022: 36. наук. праць. Матеріали XIII Всеукр. наук.-практ. конф. (10—11 жовт. 2022 р., м. Житомир). Житомир : Євро-Волинь, 2022. С. 126—128.
9. Шостак О.О. Евтрофікація водойм, як глобальна екологічна проблема. *Студентський вісник НУБГП*. Рівне: НУБГП, 2022. Т. 17, вип. 1. С. 49—52.
10. Amenyogbe E., Gang Chen, Zhongliang Wang et al. A Review on Sex Steroid Hormone Estrogen Receptors in Mammals and Fish. *Intern. J. Endocrinology*. 2020. Article ID 5386193. 9 p. <https://doi.org/10.1155/2020/5386193>.
11. Anderson R.O., Neumann R.M. Length, weight, and associated structural indices / Fisheries Techniques, 2nd ed. Ed. by B.R. Murphy, D.W. Willis. Bethesda, MD : American Fisheries Society, 1996. P. 447—482.
12. Brandt C., Burnett D.C., Arcinas L. et al. Effects of chlorpyrifos on in vitro sex steroid production and thyroid follicular development in adult and larval Lake Sturgeon, *Acipenser fulvescens*. *Chemosphere*. 2015. Iss. 132. P. 179—187.
13. Congdon J.D., Dunham A.E., Hopkins W.A. et al. Resource allocation-based life histories: a conceptual basis for studies of ecological toxicology. *Environ. Toxicol. Chemistry: An Intern. J.*, 2021. Vol. 20, N 8. P. 1698—1703.
14. Forthofer R.N., Lee E.S., Hernandez M. Biostatistics: A Guide to Design, Analysis, and Discovery. Amsterdam, Boston, Heidelberg : Elsevier, 2007. 493 p.
15. Korkmaz N., Orum I. The effect of pesticide neemazal on the growth hormone (GH) and insulin-like growth hormone (IGF-1) of carp fish (*Cyprinus carpio*, 1758 L). *Industrial technologies*. 2016. Vol. 3, N 1. P. 45—53.
16. Needham L.L. Assessing exposure to organophosphorus pesticides by biomonitoring in epidemiologic studies of birth outcomes. *Environ. Health Persp.* 2005. Vol. 113, N 4. P. 494—498.
17. Salyha Y. Biological effects assessment of chlorpyrifos and some aspects of its neurotoxicity. *Visnyk of Lviv University. Biology series*. 2010. N 54. P. 3—14.
18. Schreck C. B. Stress and fish reproduction: the roles of allostasis and hormesis. *General and comparative endocrinology*. 2010. Vol. 165, N 3. P. 549—556.
19. Sibly R.M., Calow P. A life-cycle theory of responses to stress. *Biol. J. Linnean Society*. 1989. Vol. 37, N 1—2. P. 101—116.
20. Sparks T.C., Crossthwaite A.J., Nauen R. et al. Insecticides, biologics and nematocides: Updates to IRAC's mode of action classification-a tool for resistance management. *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 2020. Vol. 167. 104587.

Надійшла 02.08.2023

O. Potrokhov, Dr. Sci. (Biol.), Senior Researcher, Head of Department,
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine,
Volodymyr Ivasyuk Avenue, 12, Kyiv, 04210, Ukraine,
e-mail: apotrokhov@gmail.com
ORCID 0000-0002-8274-6898

O. Zinkovskyi, PhD. (Biol.), Senior Researcher, Leading Researcher,
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine,
Volodymyr Ivasyuk Avenue, 12, Kyiv, 04210, Ukraine,
e-mail: olzinkovskyi@gmail.com,
ORCID 0000-0003-4135-5839

Yu. Khudiiash, PhD (Biol.), Senior Researcher,
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine,
Volodymyr Ivasyuk Avenue, 12, Kyiv, 04210, Ukraine,
e-mail: yurahud@ukr.net,
ORCID 0000-0002-8588-0371

O. Vodianitskyi, PhD (Biol.), Researcher,
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine,
Volodymyr Ivasyuk Avenue, 12, Kyiv, 04210, Ukraine,
e-mail: fishfarmeralex@ukr.net
ORCID 0000-0002-4912-689X

K. Kofonov, PhD (Biol.), Junior Researcher,
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine,
Volodymyr Ivasyuk Avenue, 12, Kyiv, 04210, Ukraine,
e-mail: kirillkofonov16@gmail.com,
ORCID 0000-0002-7859-5193K.

Yu.M. Krasiuk, PhD (Biol.), Researcher,
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine,
Volodymyr Ivasyuk Avenue, 12, Kyiv, 04210, Ukraine,
e-mail: j-krasyuk@ukr.net
ORCID 0000-0002-8148-3168

FEATURES OF HORMONAL REGULATION OF GROWTH RATE AND GENERATIVE FUNCTIONS OF FISH UNDER INCREASED ANTHROPOGENIC INFLUENCE

The chemical indicators of water, and the production and destruction of organic substances from different areas on the Ros and Protoka river were studied. In the area with Horodyshe village (r. Ros) and with Pishchana village (r. Protoka), the concentration of ammonium nitrogen exceeded 2—5 times, nitrites — 1.5—2.5 times, nitrates — almost 3.0—5.8 times the control indicators (Alexandria dendrological park, r. Ros). In sections of these rivers, significant water pollution with pesticides (chlorpyrophos) from the territories adjacent to water bodies was observed. In the presence of water enrichment with biogenic substances, production processes in water (Pishchana village) increase significantly, and with a significant concentration of chlorpyrophos (Horodyshe village), the production of organic substances decreases compared to the control.

It has been established that with the deterioration of water quality and in the presence of toxic pollution of the reservoir, the size-mass indicators of common ruff, river perch and common rudd decrease. This is primarily due to a decrease in the content of somatotronin in the blood. The gonadosomatic index of perch and rudd females from polluted water bodies increased, while that of males decreased compared to the control values. Also, an increase in the relative and absolute fertility of the rudd with an increase in the degree of pollution of the reservoir was noted. With an increase in the fertility of females under the influence of unfavorable conditions, the content of estradiol in the blood increases. Male perch and rudd are characterized by a decrease in the gonadosomatic index against the background of a decrease in the content of testosterone in the blood.

Thus, the adaptive response of fish, which is aimed at maintaining the population and increasing resilience under toxic conditions, is a decrease in size and mass indicators, and an increase in the fecundity of females. These processes are provided by hormonal regulation of metabolic processes.

Key words: *agro-industrial wastewater, river perch, common ruff, common rudd, growth and fertility of fish, somatotropin, testosterone, estradiol.*