

УДК [597.4/.5:556.53]:911.375

Ю. Г. Крот, Д. В. Медовник, М. В. Причепя

ОСОБЛИВОСТИ ФІЗИОЛОГІЧНОЇ АДАПТАЦІЇ РИБ МАЛИХ РІЧОК УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ

Досліджено особливості фізіологічної адаптації аборигенного та інвазивного видів риб до умов існування у малих річках урбанізованих територій. Показано, що розвиток компенсаторно-адаптивної реакції на токсичне забруднення середовища у піщурка звичайного (*Gobio gobio* (L.)) забезпечеться за рахунок підвищення загального рівня метаболізму з переважанням анаболічних процесів, тоді як у карася сріблястого (*Carassius gibelio* (Bloch)) — за рахунок інтенсифікації гліколізу у печінці без зміни вмісту інших енергоємних речовин у тканинах.

Ключові слова: аборигенні, інвазивні види риб, малі річки, антропогенне порушення, активність ферментів, енергосміні сполуки, фізіологічна адаптація.

Відомо, що антропогенна діяльність на водозбірній площі малих річок негативно впливає на їх екологічний стан, що відображається на біотичній складовій, зокрема іхтіофауні [1, 3].

Порушення гідрологічного режиму, надходження забруднюючих речовин із прилеглої території і скиди стічних вод істотно впливають на структурно-функціональний стан іхтіоценозів [5, 16]. У той же час у малих річках, що протікають урбанізованою територією м. Києва, відмічені риби, що належать до різних екологічних груп [15]. Для більш точної оцінки фізіологічного статусу необхідно визначення рівня їх метаболізму за активністю ферментів енергетичного обміну та вмістом енергоємних сполук у тканинах.

Метою даної роботи було дослідження особливостей реакції риб на біохімічному рівні на вплив оточуючого середовища на ділянках малих річок з різним ступенем антропогенного порушення.

Матеріал і методика досліджень. У роботі використано іхтіологічний матеріал, зібраний та визначений до виду згідно загальноприйнятих методик [9, 13] на річках Горенці, Либеді, Нивці і Сирці впродовж 2015—2016 рр. При цьому не були застосовані методи лову, що суперечать законодавству України чи потребують спеціальних дозволів. У середній течії річок було об-

© Ю. Г. Крот, Д. В. Медовник, М. В. Причепя, 2018

рано модельні ділянки — поза межами забудови, частково зарегульована (р. Горенка); у межах забудови, частково зарегульована (р. Нивка); поза межами забудови, частково каналізована (р. Сирець); у межах забудови, значною мірою каналізована (р. Либідь) [15].

Біохімічні дослідження тканин печінки, м'язів і зябрових пелюсток проведено на 15 особинах пічкура звичайного (по п'ять із річок Горенки, Либеді і Нивки) та 22 особинах карася сріблястого (по п'ять із річок Горенки, Нивки та Сирця і сім із річки Либеді). Вік досліджених особин становив два—три роки. Пічкур звичайний і карась сріблястий були обрані як відповідно аборигенний та інвазивний види, що стабільно мешкають у зазначених водотоках, не здійснюючи міграцій до приймаючих водойм.

Вміст глікогену у тканинах визначали антроновим методом [14], загального білка — за методом Лоурі [22], малонового діальдегіду (МДА) — за методом Стальної [18], вміст ліпідів, активність лактатдегідрогенази (ЛДГ), лужної фосфатази (ЛФ) і гаммаглутамілтрансферази (ГГТ) — з використанням відповідних стандартних комерційних наборів («Філісіт-Діагностика», Україна).

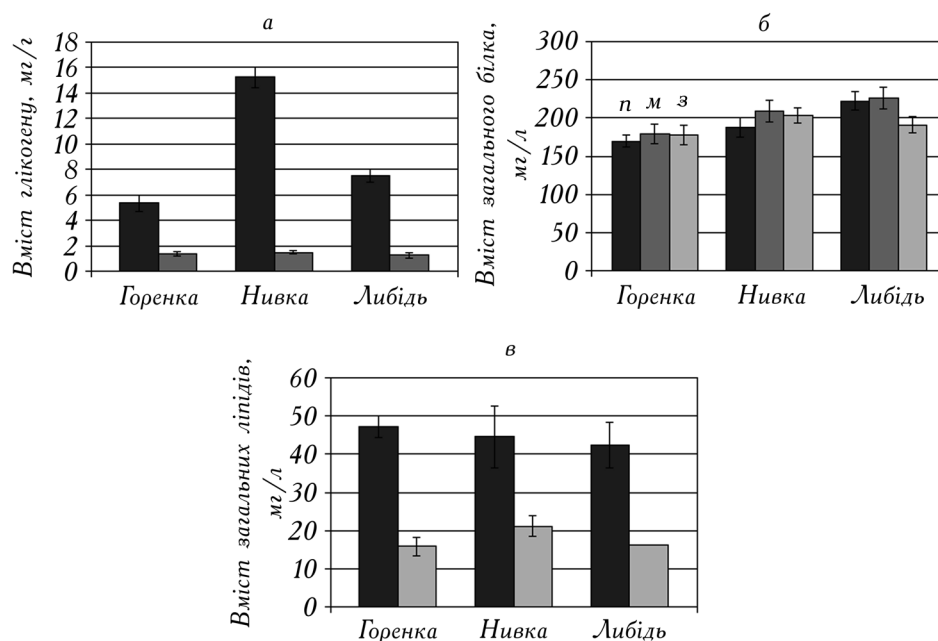
Гостру летальну токсичність води і донних відкладів та якість води за гідрохімічними показниками визначали згідно [6, 7]. Статистичну обробку отриманих даних проведено у MS Excel 2007.

Результати досліджень та їх обговорення

Дослідження гідрохімічних та еколого-токсикологічних характеристик води і донних відкладів малих річок Либеді, Нивки і Сирця під час відбору іхтіологічного матеріалу показали, що зазначені водотоки зазнають значного антропогенного забруднення. Зокрема, вміст сполук неорганічного азоту і органічних речовин за БПК₅ і ХПК у воді річок Либеді, Нивки і Сирця в окремі періоди перевищував ГДК_{рибогосп} у 2—7 раз. Згідно екологічної оцінки якості [7], вода у р. Либеді в різні періоди відповідала III—V класу, 4—7 категорії («задовільна — дуже погана»), а у річках Нивці і Сирці — III—V класу, 5—7 категорії («посередня — дуже погана»).

Показники гострої летальної токсичності води і донних відкладів на досліджуваних ділянках у р. Либеді коливались в діапазонах відповідно «відсутня — середня» і «відсутня — висока», р. Нивці — «відсутня — низька» і «відсутня — середня», р. Сирці — «відсутня — помірна» і «відсутня». На деяких ділянках р. Либеді відсутність токсичності донних відкладів може бути зумовлена вимиванням забруднених мулових фракцій за рахунок високої швидкості течії.

У той же час якість води р. Горенки за вмістом органічних речовин і сполук неорганічного азоту в цілому відповідала нормативам для водойм рибогосподарського призначення, відмічене лише незначне перевищення вмісту амонійного азоту. За екологічною оцінкою якості вона відповідала I—III класу, 1—4 категорії («відмінна — задовільна»). Токсичності води і донних



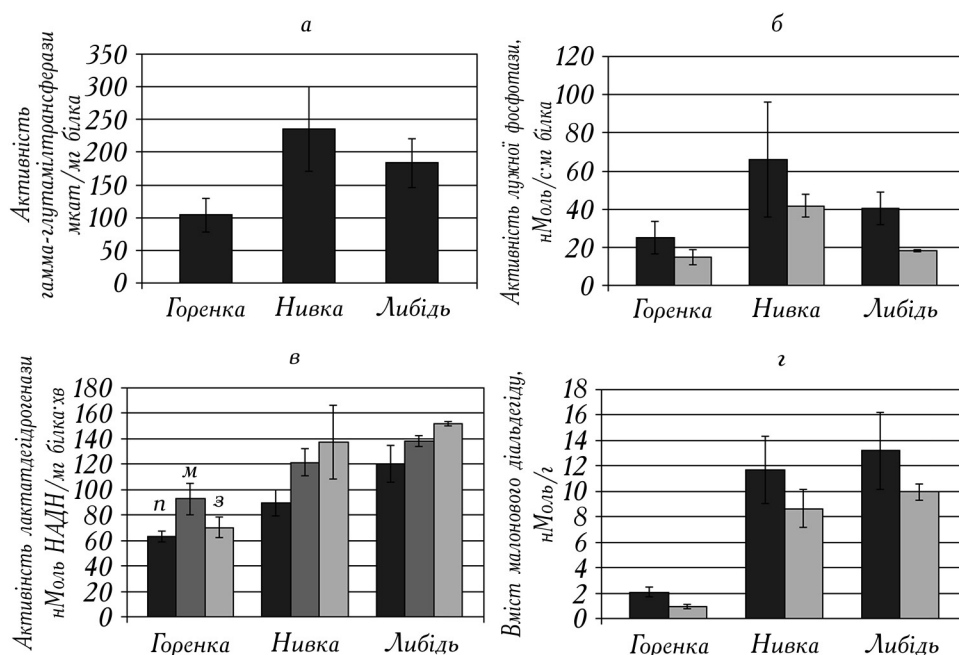
1. Вміст глікогену (а), загального білка (б) та загальних ліпідів (в) у тканинах пічкура звичайного з малих річок урбанізованих територій. Тут і на рис. 2—4: *n* — печінка; *m* — м'язи; *z* — зябра.

відкладів не виявлено. Виходячи з порівняно низького ступеню забруднення, досліджувану ділянку р. Горенки було прийнято за умовний контроль.

Дослідження особливостей адаптації популяції аборигенного виду пічкура звичайного та інвазивного карася сріблястого на біохімічному рівні виявили залежність фізіологічного стану риб від ступеню антропогенного порушення річок. У більшості тканин і органів пічкура з більш забруднених водотоків вміст енергоємних речовин — глікогену, білків і ліпідів вірогідно не відрізнявся від умовного контролю, однак у особин з р. Нивки вміст глікогену у печінці перевищував умовний контроль на 65%, з р. Либеді вміст загального білка у печінці і м'язах був вищим відповідно на 31 і 27% (рис. 1).

Можна припустити, що більш високий вміст енергоємних речовин у тканинах пічкура з більш забруднених водотоків зумовлений гормезисом, тобто стимулюючим впливом помірних доз негативних чинників, та подальшою адаптацією риб до несприятливих умов на більш високому метаболічному рівні.

Відомо [12, 17], що глікоген використовується рибами як джерело енергії для формування адаптивної відповіді на шкодочинний вплив середовища, а за тривалої дії несприятливих умов витрачаються також депоновані у тканинах ліпіди та білки. Тому притаманне риbam із більш забруднених річок переважання анаболічних процесів над катаболічними, що виражалось у посиленому накопиченні енергоємних сполук, слід розглядати як прояв адаптації до нестабільних та несприятливих умов оточуючого середовища. Разом з



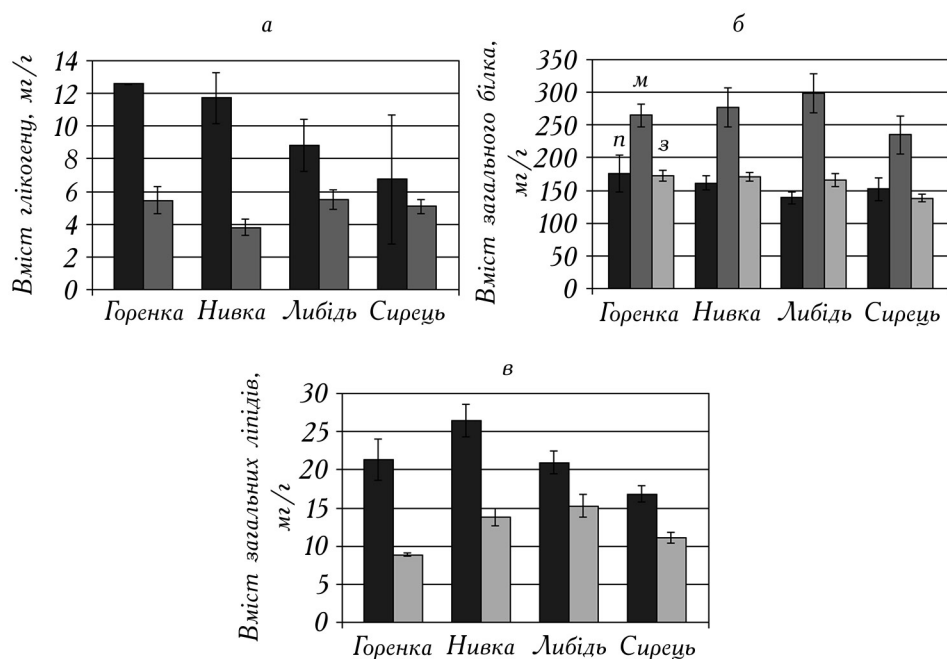
2. Активність ГГТ (а), ЛФ (б), ЛДГ (в) і вміст МДА (г) у тканинах пічкара звичайного з малих річок урбанізованих територій.

тим у тканинах пічкара з річок Либеді і Нивки відмічена вища активність ГГТ, ЛФ, ЛДГ та вміст МДА (рис. 2).

Встановлено, що активність ферментів у тканинах риb змінюється у відповідь на дію зовнішніх чинників і може слугувати індикатором мобілізації захисних функцій організму [19]. Зокрема, підвищена активність ГГТ, яка бере участь у обміні амінокислот, у риb із забруднених водотоків відображає інтенсивність деструктивного процесу у печінці [4]. Її підвищене значення (на 77—127% порівняно з контролем) може бути зумовлене токсичним впливом оточуючого середовища.

Вища активність ЛФ, яка каталізує дефосфорилування органічних сполук, у печінці і зябрах пічкара відповідно в на 61—164% і 24—184% порівняно з контролем також може бути пов'язана з посиленням функціональної активності цих органів у відповідь на дію зовнішніх чинників. Відомо [20, 23, 24], що цей фермент використовується як індикатор токсичності середовища для моніторингу екологічного стану водних об'єктів.

Активність ЛДГ, що є каталізатором гліколізу, у печінці, м'язах і зябрах пічкара з більш забруднених водотоків була відповідно на 42—91, 31—49 і 95—116% вищою, ніж у контролі. Підвищена активність цього ферменту вказує, зокрема, на інтенсивність розвитку компенсаторно-адаптивної реакції організму, яка може бути спричинена несприятливими фізико-хімічними характеристиками водного середовища [8, 21].

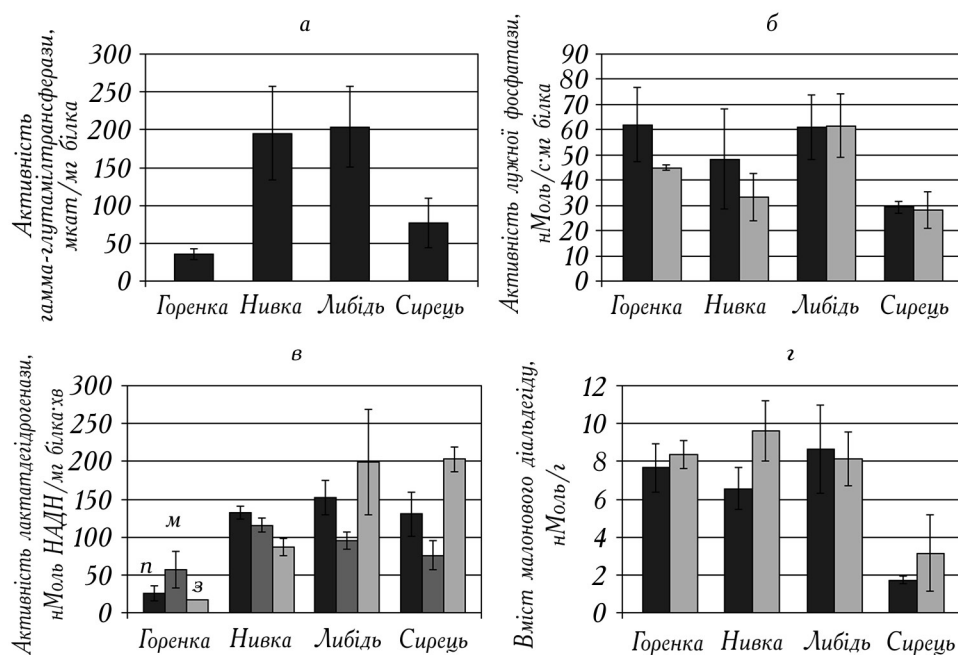


3. Вміст глікогену (а), загального білка (б) та загальних ліпідів (в) у тканинах карася сріблястого з малих річок урбанізованих територій.

Вміст МДА, що є продуктом перекисного окиснення ліпідів, у печінці і зябрах риб перевищував контрольне значення у 5—6 і 9—10 разів. Це вказує на певний дисбаланс біохімічних процесів, що може бути наслідком негативного впливу середовища їх існування, насамперед токсичного забруднення [2, 10, 11].

Отже, у пічкара звичайного із більш забруднених водотоків відбувалась інтенсифікація метаболічних процесів з підтриманням гомеостазу на більш високому рівні, що може бути зумовлене розвитком компенсаторно-адаптивних реакцій організму у відповідь на негативні чинники. Вища активність досліджених ферментів у тканинах особин із забруднених водотоків свідчить на користь посилення енерговитрат, при цьому анаболічні процеси, виражені у накопиченні енергоємних речовин, переважали над катаболічними. Тобто, відповідні умови на антропогенно порушених ділянках чинили певний стимулюючий вплив на пічкара звичайного. Його постійна приналежність до домінуючих видів [15] також свідчить на користь адаптації цього виду риб до специфічних умов існування.

На відміну від аборигенного, у інвазивного виду — карася сріблястого в умовах антропогенно порушених річок Либеді, Нивки і Сирця не відмічено істотних відмінностей у вмісті білка і ліпідів у печінці і м'язах порівняно з умовним контролем (рис. 3).



4. Активність ГГТ (а), ЛФ (б), ЛДГ (в) та вміст МДА (г) у тканинах карася сріблястого з малих річок урбанізованих територій.

У той же час вміст глікогену у печінці риб із забруднених річок Либеді і Сирця був меншим відповідно на 30 і 46% ніж у контролі. При цьому у особин із р. Сирця виявлена тенденція до зниження вмісту всіх енергоємних речовин у тканинах. Низький вміст глікогену у печінці вказує на переважання катаболічних процесів над анаболічними, що може бути наслідком як його підвищених витрат, так і зниження накопичення. Можна припустити, що така особливість метаболізму зумовлена зростанням енерговитрат на адаптацію до дії негативних умов, зокрема токсичного забруднення. У той же час карасю сріблястому була властива різна активність ферментів та вмісту МДА у тканинах (рис. 4).

Вища активність ГГТ у особин з річок Либеді і Нивки (у печінці у 2—5 раз) і ЛДГ (у печінці, м'язах і зябрах відповідно у 5—6, 1,5—2 і 5—12 раз) порівняно з контролем може свідчити про токсичний вплив середовища та мобілізацію захисних функцій організму. Активність ЛФ та вміст МДА у карася в цілому не відрізнялись від умовного контролю, окрім нижчої активності ЛФ у м'язах особин із р. Нивки, що може вказувати на їх адаптованість до наслідків антропогенного порушення. В той же час у особин із р. Сирця ці показники були нижчими (ЛФ у печінці і зябрах відповідно на 53 і 37%, МДА — на 77 і 62%), ніж у контролі. З урахуванням істотно нижчого вмісту глікогену у печінці це може вказувати на нижчу інтенсивність компенсаторно-адаптивних реакцій в організмі риб та їх метаболізму.

Отже, у карася сріблястого із забруднених водотоків розвиток компенсаторно-адаптивних реакцій проявляється переважно в інтенсифікації процесу гліколізу, про що свідчить вища активність ЛДГ та нижчий вміст глікогену у печінці. Переважання у них катаболічних процесів над анаболічними зумовлене посиленням енерговитрат на адаптацію до несприятливих умов середовища. При цьому токсичний вплив не відображається на вмісті інших енергоємних сполук у печінці і м'язах, який характеризувався певною стабільністю. Разом з тим не було виявлено ознак посилення функціональної активності органів та дисбалансу метаболічних процесів. Це свідчить на користь високих адаптивних можливостей карася сріблястого до несприятливих умов середовища, що уможливило його приналежність до домінуючих видів [15].

Таким чином, у досліджуваних видів риб встановлені відмінності у спрямованості метаболічних процесів, пов'язаних з їх адаптацією до умов існування у малих річках урбанізованих територій. У пічкура звичайного спостерігалось значне загальне підвищення метаболічної активності з переважанням анаболічних процесів, тоді як у карася сріблястого задіяні переважно гліколітичні процеси при збереженні сталого вмісту інших енергоємних сполук.

Висновки

Виявлено відмінності у стратегії фізіологічної адаптації аборигенного пічкура звичайного та інвазивного карася сріблястого як видів риб, що набули найбільшого поширення у малих річках урбанізованих територій.

У процесі розвитку компенсаторно-адаптивної реакції у пічкура звичайного відбувалась інтенсифікація метаболічних процесів з підтриманням гомеостазу на більш високому рівні, на що вказує зростання ферментативної активності та вмісту енергоємних речовин у тканинах.

Розвиток компенсаторно-адаптивної реакції у карася сріблястого забезпечується переважно за рахунок гліколізу, на що вказують зростання активності лактатдегідрогенази та зниження вмісту глікогену в печінці. При цьому вміст інших енергоємних сполук у тканинах підтримується на стабільному рівні.

За однакових умов існування досліджені аборигенний та інвазивний види риб відрізнялись різною спрямованістю метаболічних процесів, причому різні шляхи енергозабезпечення організму забезпечили високу ефективність їх адаптації в малих річках урбанізованих територій.

**

*Исследованы особенности физиологической адаптации аборигенного и инвазивного видов рыб к условиям существования в малых реках урбанизированных территорий. Показано, что развитие компенсаторно-адаптивной реакции на токсическое загрязнение среды у пескаря обыкновенного (*Gobio gobio* (L.)) было обеспечено за счет повышения общего уровня метаболизма с преобладанием анаболических процессов, тогда как у карася серебристого (*Carassius gibelio* (Bloch)) — за счет интен-*

сификации гликолиза в печени без изменения содержания других энергоемких веществ в тканях.

**

*The physiological adaptation features of the native and invasive fish species to environmental conditions in small rivers of the urbanized territories were studied. It was shown that the compensatory-adaptive reaction development to the toxic pollution of the environment of the Common gudgeon (*Gobio gobio* (L.)) was provided by increasing the general level of metabolism with predominance of anabolic processes, whereas Prussian carp (*Carassius gibelio* (Bloch)) responded to pollution by the glycolysis intensification in liver without altering the other energy-intensive substances content in its tissues.*

**

1. Гай А. С., Гроза В. А. Малі річки України: екологічні проблеми та перспективи збереження // Наук. зап. Терноп. пед. ун-ту. Сер. Біологія. Спец. вип. Гідроекологія. — 2010. — № 2. — С. 75—77.
2. Грубинко В. В., Леус Ю. В. Перекисное окисление липидов и антиоксидантная защита у рыб (обзор) // Гидробиол. журн. — 2001. — Т. 37, № 1. — С. 64—78.
3. Иванчева Е. Ю., Терещенко В. Г. Влияние особенностей водосбора на видовое разнообразие ихтиофауны малой реки // Биоразнообразие и роль животных в экосистемах: Материалы IV междунар. науч. конф. — Днепропетровск, 2007. — С. 151—153.
4. Клиническая биохимия / Под ред. В. А. Ткачука. — М.: Геотар-Мед, 2004. — 512 с.
5. Коновець І. М., Кіпніс Л. С., Гончарова М. Т. та ін. Еколого-токсикологічне дослідження рівнів забруднення води та донних відкладів р. Нивка в районі аеропорту «Київ» // Рибогосп. наука України. — 2013. — № 2. — С. 32—44.
6. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / За ред. В. Д Романенка. — К.: Логос, 2006. — 408 с.
7. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями. — К.: Символ-Т, 1998. — 28 с.
8. Мещерякова О. В. Динамика активности изоформ лактатдегидрогеназы, малатдегидрогеназы и глицерфосфатдередуктазы в процессе адаптации рыб к различным факторам окружающей среды: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Петрозаводск, 2004. — 22 с.
9. Мовчан Ю. В. Рыбы Украины (визначник-довідник). — К.: Золоті ворота, 2011. — 444 с.
10. Немова Н. Н., Высоцкая Р. У. Биохимическая индикация состояния рыб. — М.: Наука, 2004. — 225 с.
11. Особа І. А. Біологічна роль перекисного окиснення ліпідів у забезпеченні функціонування організму рыб // Рибогосп. наука України. — 2013. — № 1. — С. 88—96.
12. Попова Е. М., Кощій І. В. Ліпіди як компонент адаптації рыб до екологічного стресу // Там же. — 2007. — № 1. — С. 49—56.

13. *Правдин И. Ф.* Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных). — М.: Пищ. пром-сть, 1966. — 376 с.
14. *Практикум по биохимии: Учеб. пособие / Под ред. С. Е. Северина, Г. А. Соловьевой.* — М.: Изд-во Моск. гос. ун-та, 1989. — 509 с.
15. *Романенко В. Д., Меговник Д. В.* Видова та екологічна характеристика іхтіофауни малих річок урбанізованих територій // Гидробиол. журн. — 2017. — Т. 53, № 4. — С. 3—12.
16. *Романенко О. В., Арсан О. М., Кіпніс Л. С., Ситник Ю. М.* Екологічні проблеми Київських водойм і прилеглих територій. — К.: Наук. думка, 2015. — 192 с.
17. *Сергеева Н. Р., Лукьяненко В. И.* Общая ихтиотоксикология. — Краснодар: Наука. — 2008. — 157 с.
18. *Современные методы в биохимии / Под ред. В. Н. Ореховича* — М.: Медицина, 1977. — 392 с.
19. *Федоненко О. В.* Вплив антропогенних факторів на стан промислової іхтіофауни Запорізького водосховища: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. — Одеса, 2010. — 34 с.
20. *Anderson T., Forlin L., Hardig J., Larsson A.* Physiological disturbances in fish living in coastal water polluted with bleached kraft pulp mill effluents // *Can. J. Fish Aquat. Sci.* — 1988. — Vol. 45, N 9 — P. 1525—1536.
21. *Diamantino T. C., Almeida E., Soares A. M., Guilhermino V. M.* Lactate dehydrogenase activity — an effective parameter in aquatic toxicity tests // *Chemosphere.* — 2001. — Vol. 45. — P. 53—560.
22. *Lowry J. O. H., Rosenbrough N. J, Farr A. L. Randal R. J.* Protein measurement with the Folin phenol reagent // *J. Biol. Chem.* — 1951. — Vol. 193, N 1. — С. 265—275.
23. *Molina R., Moreno I., Pichardo S. et al.* Acid and alkaline phosphatase activities and pathological changes induced in Tilapia fish (*Oreochromis* sp.) exposed subchronically to microcystins from toxic cyanobacterial blooms under laboratory conditions // *Toxicon.* — 2005. — Vol. 46, N 7. — P. 725—735.
24. *Rajamanickam V., Muthuswamy N.* Effect of heavy metals induced toxicity on metabolic biomarkers in common carp (*Cyprinus carpio* L.) // *Mj. Intern. J. Sci. Tech.* — 2008. — Vol. 2, N 1. — P. 192—200.