

УДК 577. 1-034

Снітинський В. В., д. б. н., професор, академік НААНУ**Онисковець М. Я.**, аспірант[©]*Львівський національний аграрний університет***ОСНОВНІ МЕХАНІЗМИ ТОКСИЧНОЇ ДІЇ ЙОНІВ ВАЖКИХ
МЕТАЛІВ НА ОРГАНІЗМ РИБ**

У статті проаналізовано проблему забруднення водних екосистем важкими металами. Узагальнено літературні дані щодо основних механізмів токсичного впливу йонів важких металів на організм риб.

Ключові слова: важкі метали, риби, токсичність, водні екосистеми

За останні десятиріччя антропогенний вплив на водні екосистеми набув глобального характеру і в цілому призводить до різкого погіршення умов існування водних організмів, у тому числі і риб [34]. Найбільшу небезпеку становить забруднення водойм важкими металами [3, 32], які навіть у порівняно малих кількостях можуть негативно впливати на організм водних тварин [25]. Біологічні наслідки забруднення водного середовища важкими металами виявляються, насамперед, у прямому токсичному впливі на риб, що призводить до зміни біохімічних, фізіологічних та морфологічних показників у їх організмі [27, 40]. Вельми актуальним є дослідження впливу важких металів на організм риб, оскільки в санітарно-гігієнічному плані риба є важливою ланкою у міграції важких металів за трофічним ланцюгом, кінцевою ланкою якого є людина [7].

Проблема токсичної дії важких металів у водних екосистемах та їх впливу на організм водних тварин і, зокрема риб, досліджується давно. На сьогодні напрацьовано чималий матеріал, який узагальнено в багатьох роботах [1, 13, 20, 24, 27, 28, 36, 38]. Аналіз літературних даних свідчить, що саме підвищення концентрації йонів металу у водному середовищі є основним фактором, який впливає на їх проникнення і накопичення в організмі риб [5, 12, 30].

Встановлено, що потужним джерелом надходження важких металів у водойми є неочищені стоки підприємств гірничодобувної промисловості, кольорової металургії, машинобудівельних, металообробних заводів та гальванічних цехів [2, 6]. Крім того, не останнє місце займають відходи тваринних фер, застосування мінеральних добрив та отрутохімікатів у сільському господарстві [39].

Поведінка важких металів у водному середовищі є своєрідною, оскільки вони, на відміну від органічних речовин не піддаються деструкції, а постійно присутні у водних екосистемах, змінюючи лише форму сполук, реакційну здатність та біологічну активність. Їх фізико-хімічний стан змінюється в результаті процесів гідролізу, комплексоутворення, адсорбції та осадження. Вказані процеси визначають міграційну рухливість важких металів, їх

[©] Снітинський В. В., Онисковець М. Я., 2011

перерозподіл між основними компонентами водної екосистеми, біодоступність і токсичність для водних організмів [21]. Встановлено, що максимальну здатність накопичувати важкі метали мають завислі частинки та донні відклади водою, потім організми планктону, бентосу та риб [35]. Вченими доведено наявність кореляційного зв'язку між вмістом важких металів у бентосі, донних відкладах та організмах риб [37]. Таким чином, риби як завершальна ланка трофічних ланцюгів у водних екосистемах дають найбільш інтегровану оцінку забруднення і можуть виконувати функцію біоіндикаторів [26].

Фізіологічна активність важких металів щодо гідробіонтів, і риб зокрема, визначена їхніми фізико-хімічними формами наявності у воді. Найдоступніші для водних організмів є вільні йони важких металів, їхні гідрокомплекси та інші низькомолекулярні комплексні сполуки. Водночас важкі метали, зв'язані в комплекси з природними органічними речовинами (гумінові та фульвокислоти, білки, амінокислоти та ін.), є біологічно недоступними або малоактивними [4, 35]. Зв'язані форми важких металів з молекулярною масою, яка перевищує 1,0–1,5 тис. атомних одиниць маси, практично нетоксичні або токсичність їх для гідробіонтів сильно послаблена [22, 29]. Зниження токсичності зумовлене створенням міцних хімічних сполук, часто хелатного типу, та зменшенням завдяки цьому активності йонів металів. Іншим чинником зниження токсичності важких металів є недоступність їхніх комплексних сполук для живих організмів [22], оскільки високомолекулярні сполуки металів не можуть проникати через мембрану клітини [35].

Незважаючи на певні відмінності в процесах токсичного впливу різних важких металів на організм риб, як правило, виділяють ряд послідовних фаз з такими симптомами отруєння: неспокій, підвищення частоти дихання, рясне слизовиділення, далі слідує глибоке дихання, зниження реакції на зовнішні подразнення, риби рухаються поштовхами (безсистемними кидками), намагаються вистрибнути з води, відбувається порушення рівноваги і риби перекидаються на бік, потім аритмічне дихання і смерть без судом. Картина подібна до тієї, яка спостерігається при повільній задусі в зв'язку з нестачею кисню і надлишком в організмі вуглекислоти. Дихання порушується внаслідок прямої дії солей на епітелій зябер. При отруєнні риб токсикантами цієї групи у риб відзначається утворення на шкірі і зябрах товстої оболонки із слизу, що покриває зябра і все тіло. Респіраторний епітелій і епідерміс шкіри руйнуються. Швидкість перебігу певних стадій отруєння залежить від концентрації токсиканту у воді та видової чутливості риб [2, 16].

Під дією важких металів в організмі риб відбуваються патологічні зміни на всіх рівнях від молекулярного до організмового [8]. Йони важких металів, прямо, шляхом дії на ферменти, чи опосередковано, шляхом утворення регуляторних сполук, здатні змінювати інтенсивність та спрямованість метаболізму у риб [13, 23]. Крім цього, відбуваються зміни проникності мембран, інгібується окислювальне фосфорилування, синтез білків та нуклеїнових кислот [18, 24]. Важкі метали викликають в живому організмі канцерогенну, мутагенну, ембріотоксичну, гонадотоксичну дію [4, 9, 19].

Токсичність металів прямо пропорційно залежить від фізико-хімічних властивостей води (температури, вмісту кисню, твердості, рН середовища, йонної сили, наявності хелатуючих агентів, домішок інших речовин) [30].

З еколого-токсикологічних позицій не всі важкі метали можуть бути оцінені однозначно. Серед важких металів особливу загрозу для гідробіоценозів становлять: свинець, кадмій, мідь, цинк, хром і ртуть [16, 17, 31]. Навіть незначні концентрації цих металів порушують екологічну рівновагу і через токсичний стрес спричиняють незворотні функціональні порушення, а часом і смерть гідробіонтів [20, 25]. Перш за все, ці метали у значних об'ємах використовуються у виробничій діяльності людини [31, 36]. До прикладу, свинець включений до групи металів, гранично допустимі концентрації яких значно перевищують реальні природні фонові значення. Дослідження токсичної забрудненості іхтіофауни поверхневих вод України, показали, що за вмістом йонів Pb^{2+} у рибі понад 15% водойм перевищують допустимі норми, при цьому близько 5% - більш ніж удвічі [31].

За даними деяких авторів (І. І. Грициняк, Т. Г. Литвинова, Н. Л. Колесник), залежно від здатності накопичувати важкі метали, органи і тканини риб можна розмістити в такій послідовності: кістки > зябра > печінка > нирки > шкіра > м'язи [9].

Механізм дії йонів важких металів базується на їх здатності утворювати в живих тканинах стійкі зв'язки із сірковмісткими лігандами, джерелами яких можуть бути білки та низькомолекулярні тіоли [14]. [Токсичні ефекти важких металів реалізуються переважно за конкурентним механізмом з іншими металами. Відома конкуренція наступних металів [15]:

кадмій – кальцій, мідь, цинк;
мідь – цинк, марганець, нікель;
нікель – кальцій, магній, залізо, мідь, цинк;
хром – залізо, марганець, кобальт, мідь;
молібден – мідь, свинець;
марганець – магній, цинк;
цинк – марганець, кобальт, мідь, кадмій.

Встановлено, що за умов забруднення водних екосистем важкими металами знижується виживання, темпи росту та розвитку риб, продуктивність їх популяцій, порушуються міжпопуляційні зв'язки та екологічна рівновага [10, 27, 28, 33].

Таким чином, наукову і практичну актуальність становить подальше дослідження особливостей впливу йонів важких металів на організм риб, оскільки риби є найбільшою групою хребетних, які займають значну частину водних екосистем [11]. Доцільність таких досліджень зумовлена необхідністю корекції кругообігу важких металів у навколишньому природному середовищі та зменшенні екологічного напруження в окремих ланках трофічного ланцюга.

Література

1. Арсан В. О. Енергозабезпечення організму коропа при адаптації до змін концентрації іонів важких металів у водному середовищі : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. біол. наук / В. О. Арсан. – Київ, 2004. – 20 с.
2. Біоіндикація стану забруднення вод токсикантами [Електронний ресурс] / О. З. Злотін, О. О. Дегтярьова // Охорона довкілля. Національна бібліотека України імені В. І. Вернадського. - Режим доступу до журн.: http://www.nbu.gov.ua/portal/soc_gum/znpkhnpu/Biol/2008_10/23.html
3. Брагинский Л. П. К методике токсикологического эксперимента с тяжелыми металлами на гидробионтах / Л. П. Брагинский, П. Н. Линник // Гидробиол. журн. – 2003. – Т. 39, № 1. – С. 92-104.
4. Будников Г. К. Тяжелые металлы в экологическом мониторинге водных экосистем / Г. К. Будников // Соросовский образовательный журнал. – 1998. – № 5. – С. 23-29.
5. Воробьев В. И. Микроэлементы и их применение в рыбоводстве / В. И. Воробьев. – М.: Пищевая пром-сть, 1979. – 184 с.
6. Вредные вещества в промышленности. Неорганические и элементоорганические соединения. / Под ред. Н.В. Лазарева. – Л.: Химия, 1977. – 608 с.
7. Гладышев М. И. Содержание металлов в экосистеме и окрестностях рекреационного и рыбоводного пруда Бугач / М. И. Гладышев, И. В. Грибовская, Е. А Иванова // Водные ресурсы. – 2001. – Т. 28, № 3. – С. 320-328.
8. Гомбоева С. В. Экологические особенности распределения тяжелых металлов в рыбах Байкальского региона : автореф. дис... канд. биол. наук / С. В. Гомбоева. – Улан-Удэ, 2003. – 22 с.
9. Грициняк І. І. Спосіб прогнозування концентрацій деяких важких металів в органах і тканинах коропових риб / І. І. Грициняк, Т. Г. Литвинова, Н. Л. Колесник // Рибогосподарська наука України. – 2009. – № 2. – С. 21-24
10. Грициняк І. І. Спосіб прогнозування концентрацій Fe, Mn, Ni, Co у органах і тканинах коропа та товстолоба / І. І. Грициняк, Т. Г. Литвинова, Н. Л. Колесник // Рибогосподарська наука України. – 2009. – № 4. – С. 11-15
11. Данилів С. І. Реакція лейкоцитів периферичної крові коропа на надлишкові концентрації свинцю / С. І. Данилів, М. А. Мазепа // Рибогосподарська наука України. – 2009. – №2. – С. 105-109
12. Евтушенко Н. Ю. Особенности накопления тяжелых металлов у тканях рыб Кременчугского водохранилища / Н. Ю. Евтушенко, О. В. Данилко // Гидробиол. журн. – 1996. – Т. 32, № 4. – С. 58–66.
13. Евтушенко Н. Ю. Роль макро- и микроэлементов в метаболизме пресноводных рыб : атореф. дис...докт. биол. наук / Н. Ю. Евтушенко. – Москва, 1985. – 41с.
14. Заботкина Е. А. Влияние тяжелых металлов на иммунофизиологический статус рыб / Е. А. Заботкина, Т. Б. Лапирова // Успехи соврем. биологии. – 2003. – Т. 123, № 4. – С. 401–408.

15. Иванов В. В. Экологическая геохимия элементов: Справочник: в 6 кн./ Под ред Э.К. Буренкова. – М.: Экология, 1995. – Кн. 4. – 416 с.
16. Калининградский рыболовный клуб. Опасно: сточные воды! [Электронный ресурс] / А. Канаев, В. Метелев // ВИЭБ "Рыбоводство и рыболовство. – 1968 г. – № 3-5. - Режим доступа до журн. : <http://www.kaliningrad-fishing.ru/zhur-mix/rr/rr-0045.html>
17. Касумян А. О. Воздействие химических загрязнителей на пищевое поведение и чувствительность рыб к пищевым стимулам / А. О. Касумян // Вопросы ихтиологии. – 2001. – Т. 41, № 1. – С. 82–95.
18. Коновалов Ю. Д. Связывание кадмия и ртути белками и низкомолекулярными тиоловыми соединениями рыб / Ю. Д. Коновалов // Гидробиол. журн. Экологическая физиология и биохимия водных животных. – 1992. – Т. 39. – № 1. – С. 42-51.
19. Коршун М. М. Довкілля та здоров'я / М. М. Коршун. – 2002.- №4(23). – С. 51-56.
20. Линник П.Н. Кадмий в поверхностных водах: содержание, формы нахождения, токсическое действие / П. Н. Линник, И. В. Искра // Гидробиол. журн. – 1997. – Т. 33, № 6. – С. 72–85.
21. Линник П. Н. Роль растворенных органических веществ в миграции цинка, свинца и кадмия в водохранилищах Днепра / П. Н. Линник, И.В. Искра // Водные ресурсы. – 1997. – 24,4. – С. 494–502.
22. Линник П. Н. Формы нахождения тяжелых металлов – составная часть экотоксикологической характеристики водных экосистем / П. Н. Линник // Водные ресурсы. – 1989. – № 1. – С. 123–135.
23. Лукьяненко В. И. Общая ихтиотоксикология / В. И. Лукьяненко. – М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1982. – 320 с.
24. Мурадова Г. Р. Влияние ионов кадмия и свинца на некоторые показатели липидного обмена и систему антиоксидантной защиты карпа (*Cyprinus carpio* L.) : автореф. дис. ... канд. биол. наук / Г. Р. Мурадова. – Махачкала, 2007. – 22 с.
25. Мур Дж. Тяжелые металлы в природных водах / Дж. Мур. С. Рамамурти. – М. : Мир, 1987. – 285 с.
26. Назыров А. Д. Биоаккумуляция тяжелых металлов, диоксинов и влияние на гематологические и биохимические показатели гидробионтов р. Уфа: автореф. дис. ... канд. биол. наук / А. Д. Назыров. – Уфа, 2003. – 23 с.
27. Немова Н. Н. Биохимические эффекты накопления ртути у рыб / Н. Н. Немова. - М.: Наука, 2005. – 164 с.
28. Немова Н. Н. Биохимическая индикация состояния рыб / Н. Н. Немова, Р. У. Высоцкая. - М.: Наука, 2004. – 210 с.
29. Никаноров А. М. Биомониторинг металлов в пресноводных экосистемах / А. М. Никаноров, А. В. Жулидов. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 327 с.

30. Патин С. А. Микроэлементы в морских организмах и водах экосистемах / С. А. Патин, Н. П. Морозов. – М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1981. – 182 с.

31. Пилипенко Ю. В. Міграційні шляхи розповсюдження іонів важких металів в органах і тканинах риб-біомеліораторів в умовах малих водосховищ / Ю. В. Пилипенко, О. О. Бєдункова, Є. Ю. Пилипенко // Вісник НУВГП. – Рівне, 2007. – вип. 2(38). – С. 313–318.

32. Пилипенко Ю. В. Оценка пищевого качества рыб- биомелиораторов на содержание тяжелых металлов / Ю. В. Пилипенко // Гидробиол. журн. – 2007. – Т. 43, № 5. – С. 64-77.

33. Реакция иммунной системы рыб на загрязнение воды токсикантами и закисление среды / [В. Р. Микряков, Л. В. Балабанова, Е. А. Заботкина. и др.]. – М. : Наука, 2001. – 126 с.

34. Романенко В. Д. Основи гідроекології. / В. Д. Романенко. – Київ : Обереги, 2001. – 728 с.

35. Ситник Ю. М. Еколого-токсикологічна характеристика Чорного Великого озера Шацького національного природного парку / Ю. М. Ситник, П. Г. Шевченко, Ю. М. Забитівський // Вісник Львів. ун-ту серія біологічна. – 2007. – Вип. 43. – С. 13-26

36. Трахтенберг И. М. Тяжелые металлы во внешней среде. Современные гигиенические и токсикологические аспекты / И. М. Трахтенберг, В. С., Колесников, В. П. Луковенко. – Минск : Наука и техника, 1994. – 285 с.

37. Федоненко О. В. Розподіл свинцю та кадмію в екосистемі самарського рибницького ставу / О. В. Федоненко, Т. С. Шарамок, Н. Б. Єсіпова. // Вісник Харківського національного університету імені В.Н.Каразіна. Серія: біологія. – 2007. – Вип. 6, № 788. – С 105-109

38. Хоменчук В. О. Біохімічні особливості проникнення і розподілу деяких важких металів в організмі коропа лускатого : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. біол. наук / В. О. Хоменчук. – Львів, 2003. – 18 с.

39. Speciation and mobility in straw and wood combustion fly ash. / [K. H. Hansen, A. J. Pedersen, L. M. Ottosen et al.] // Chemosphere. – 2001. – V 45. – P. 123–128.

40. The relative importance of water and food as cadmium source to *Daphnia magna* Straus / [C Barata, S. J. Markich, D. J. Baird et al.] // Aquat. Toxicol. – 2002. – V. 61. – P.143-154.

Summary

V. V. Snitinskiy, M. Ya. Onyskovets

Lviv National Agrarian University

MAIN MECHANISMS OF ACTION OF THE HEAVY METALS TOXIC IONS ON THE FISH ORGANISM

The article analyzes the problem of aquatic ecosystems contamination with a heavy metals. It summarizes a literature data on the basic mechanisms of toxic effects of heavy metal ions on the fish organism.

Стаття надійшла до редакції 26.04.2011