



**Пінкіна Т. В., к.б.н., доцент; Соломатіна В. Д., д.б.н., професор;
Світельський М. М., к.с.-г.н., доцент; Ішук О. В., к.с.-г.н., доцент;
Матковська С. І., к.с.-г.н., доцент (Житомирський національний
агроекологічний університет, м. Житомир)**

ЕКОЛОГО-ФІЗІОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТАВКОВИКА ОЗЕРНОГО (MOLLUSCA: GASTROPODA: PULMONATA: LYMNÆIDAE) ЗА ВПЛИВУ ІОНІВ КАДМІЮ ВОДНОГО СЕРЕДОВИЩА

В статті приведені результати досліджень по вивченню впливу іонів кадмію (гостролетальні концентрації – 5-0,5 мг/дм³; хронічно летальні – $5 \cdot 10^{-2}$ - $5 \cdot 10^{-3}$ мг/дм³; витримувані – $5 \cdot 10^{-4}$ - $5 \cdot 10^{-5}$ мг/дм³; підпорогові концентрації – $5 \cdot 10^{-6}$ мг/дм³ і нижче) на етологічні, морфологічні та фізіологічні показники ставковика озерного.

На основі багаторічних досліджень вивчено виживання особин у токсичному середовищі залежно від концентрації іону металу та тривалості його впливу. В результаті вивчення біологічних особливостей за сукупністю основних токсикологічних показників для *L. stagnalis*, підданих дії іонів кадмію водного середовища, встановлено, що цей метал є сильнотоксичним.

Дослідження показало, що найсильніший токсичний вплив на процеси обміну у тілі ставковиків мають розчини хронічних летальних концентрацій іонів кадмію.

Ключові слова: ставковик озерний, токсичне середовище, іони важких металів, летальні концентрації, токсикологічні показники, фізіологічні відправлення, екологічні чинники.

Вступ. Важкі метали, що присутні у природних водах, належать до групи мікроелементів, що в мікро- та ультрамікродозах відзначаються високою фізіологічною активністю. Специфічне біологічне значення кадмію як мікроелементу не встановлено [11]. Однак, завдяки своїм хімічним властивостям цей метал має кумулятивну дію на водні організми, здатен заміщати цинк в багатьох життєво важливих ензиматичних реакціях, призводячи до їх розриву або гальмування. Кадмій належить до числа сильно отруйних речовин, може знижувати репродукцію та затримувати розвиток ембріонів тварин [17].

При вивченні різних еколого-фізіологічних характеристик гідробіонтів важливо знати співвідношення між лінійними розмірами та масою тіла досліджуваних організмів. Ці дані особливо необхідні при

оцінці процесів росту та продукування, інтенсивності обміну речовин, обрахуванні величини потоків енергії через популяції та екосистеми [3].

Аналіз останніх досліджень. У популяціях існують механізми, які визначають їх щільність. До них відносять насамперед розмірну та вікову структуру і виживання особин. У одновікових особин ставковика озерного, а також у молюсків із однієї і тієї ж кладки, уміщених у розчини іонів важких металів, зазвичай спостерігається значна варіабельність у темпах росту, розмірі та масі тіла. Відомо, що ростові процеси досить чутливі до найменших змін будь-якого екологічного чинника, тому розмірно-вагові особливості тварин, уміщених в отруєне середовище, належать до числа параметрів, які характеризують реакції організму гідробіонтів на зміну якості води.

Останнім часом росте кількість досліджень, в яких вивчається вплив на гідробіонтів завідомо летальних концентрацій. При цьому основна увага дослідників направлена на вивчення гострого отруєння гідробіонтів, а за нього основним критерієм є рівень виживання. Однак, ще дуже мало є робіт, в яких оцінюється токсична дія малих концентрацій важких металів за тривалої їх дії, тобто за умов, наближених до існуючих у забруднених природних водах. Хоча, знаючи здатність важких металів до кумуляції, слід звернути увагу на виживання тварин за тривалого впливу токсиканту, бо цей параметр визначає ефективність відтворення молюсків.

З огляду на те, що в науковій літературі є лише розрізнені дані щодо впливу різних концентрацій іонів кадмію на організм молюсків, нами здійснено оцінку впливу цього токсиканту на етологічні, морфологічні та деякі фізіологічні показники ставковика озерного. Дослідження актуальні з огляду на те, що без цих відомостей не можна обійтися у перспективі при біотестуванні екологічного моніторингу вод.

Методика досліджень. У дослідах використано 367 екземплярів ставковика озерного *L.stagnalis*, зібраного вручну у травні-липні 2016-2017 рр. у басейні Середнього Дніпра р. Тетерів (м. Житомир). У лабораторію тварин доставляли у поліетиленових пакетах із невеликою кількістю води. Кожен екземпляр зважували (ваги ВЛТК-500), визначали висоту черепашки (середня висота черепашки – $39,5 \pm 1,1$ мм).

Умови експерименту: температура води – $19-23^{\circ}$ С, рН 7,2-8,6, вміст кисню 8,6-8,9 мг/дм³. Токсикант – хлорид кадмію (ч.д.а.). Розчин готували на дехлорованій відстоюванням (1 доба) воді з Житомирської водогінної мережі.



У лабораторії, задля здійснення тривалих спостережень за фізіологічними відправленнями, молюсків по 5 екз. уміщали у скляні 3-літрові ємності. Ставокикам як корм давали листя кульбаби. Видалення харчових залишків та заміну корму проводили щоденно.

Токсикологічні досліді поставлено за методикою В. А. Алексєєва (1981). Перед основними дослідженнями поставлено по два орієнтовних досліді для застосованого у роботі токсиканту. У першому – визначали концентрації, у яких гинуть або залишаються живими 100% тварин. Діапазон між летальною та недіючою концентраціями було обрано вихідним для основного досліді, а концентрація токсиканту, за якої гинуло 100% тварин, була концентрацією маточного розчину. У другому орієнтовному досліді, який за тривалістю відповідав основному, встановлювали діапазони гостролетальних, хронічних летальних, сублетальних та підпорогових концентрацій. В основному досліді використано 4 концентрації, по одній із кожного діапазону концентрацій. Концентрацію іонів кадмію створювали додаванням у відстояну водопровідну воду розрахованої (по катіону) кількості хлориду кадмію. Контролем слугували тварини, поміщені у чисту воду. Тривалість досліді – 70 діб.

Під час гострого 48-годинного експерименту встановлювали основні екотоксикологічні показники ставковика озерного за впливу на нього іонів кадмію (Cd^{2+}): LC_0 , LC_{50} , LC_{100} , ступінь токсичності, порогову концентрацію, латентний період, летальний час, летальний середній час, коефіцієнт витривалості (Китаєв, Калиниченко, 1974), час виживання, коефіцієнт пристосування (Malasea, 1968).

У дорослих молюсків кожні 10 діб знімали розмірно-вагові показники.

Виживання дорослих молюсків визначали шляхом підрахунку (кожні 10 діб) особин, що вижили на даний момент часу, і співставленням цієї кількості із загальною кількістю особин, яких було взято у досліді на його початку.

При варіаційно-статистичній обробці кількісних даних використовували методику Г.Ф. Лакіна [10].

Постановка завдання. Програмою досліджень було заплановано вивчення біологічних особливостей росту і розвитку, цвітіння і запилення пижма звичайного в умовах Полісся України; визначення фенотипічної мінливості і кореляції кількісних ознак у рослин початкової популяції пижма; вивчення різних способів розмноження пижма; оцінка колекції пижма за господарсько-цінними ознаками: врожайність суцвіть і насіння, вміст біологічно активних речовин і відбирання перспективних зразків для селекції.

Результати досліджень. За будь-якого змісту токсикологічних досліджень першим кроком має бути встановлення меж безпечності токсичної речовини, а також меж найбільшого та помірною її впливу. Іони важких металів у мікрокількостях необхідні живим організмам, а за концентрацій, що перевищують безпечний їх вміст у організмі, стирається грань між їх фізіологічною та токсичною дією [7].

Тому перш ніж з'ясувати особливості реагування фізіологічних систем організму цих молюсків на різні рівні інтоксикації їх іонами кадмію ми вирішили висвітлити загальні особливості токсичного впливу на *L. stagnalis* означеного полютанту, для чого нами було визначено основні токсикологічні показники (табл. 1).

Таблиця 1

Основні токсикологічні показники (мг/дм³) для ставковика озерного, підданого 48-годинній дії розчинів іонів кадмію

Іон	LC ₀	LC ₅₀ *	LC ₁₀₀	Ступінь токсичності	Порогова концентрація
Cd ²⁺	0,05	2	5	2	0,005

*Встановлено графічно

Виходячи з отриманих токсикологічних показників, встановлено зони токсичної активності іонів кадмію – < 0,05-5 мг/дм³.

Згідно зі шкалою токсичності речовин для гідробіонтів [13] досліджена нами речовина, яка в гострих дослідах викликає загибель 50% тварин, за ступенем токсичності віднесена до групи сильнотоксичних речовин (1-10 мг/дм³).

Слід відмітити, що не дивлячись на досить широкий розмах показників ступеню токсичності та діапазонів концентрацій від гостролетальних до підпорогових (табл. 2), молюски надзвичайно чутливі до іонів кадмію; на це вказують значення порогових концентрацій для цього полютанту.

Таблиця 2

Діапазони концентрацій іонів важких металів (мг/дм³) за характером їхнього впливу на ставковика озерного

Іон	Концентрації			
	Гостролетальні	Хронічні летальні	Сублетальні	Підпорогові
Cd ²⁺	5 – 0,5	5·10 ⁻² – 5·10 ⁻³	5·10 ⁻⁴ – 5·10 ⁻⁵	5·10 ⁻⁶ і нижче

Навіть якщо організм реагує серйозними морфологічними та фізіологічними зрушеннями, знаходячись у розчинах з більшими



концентраціями, перші реакції на токсикант з'являються за досить низьких його концентрацій.

При визначенні токсикологічних показників нами враховано швидкі поведінкові та фізіологічні реакції молюсків. Саме ранні реакції організмів на токсичний вплив (поведінка тварин у токсичному середовищі) є найбільш тонким, найбільш чутливим показником рівня токсичності середовища. Своєю поведінкою задовго до моменту прояву незворотніх патологічних зсувів (морфологічних, функціональних) та загибелі, організми реагують на будь-який зовнішній вплив, у тому числі і токсичний. Після занурення ставковиків у розчини з концентрацією нижче порогової ніяких змін у їхній поведінці у відповідь на отруєння середовища не відмічено, що відповідає фазі байдужості процесу отруєння. Перша реакція на вплив розчинами іонів кадмію у концентраціях, що визначаються як порогові, полягає у підвищенні рухової активності молюсків. Це зумовлено наявністю нервового зв'язку, котрий з'єднує органи хімічного чуття молюсків (осфрадії) із колюмелярним м'язом та комплексом м'язів ноги [6].

По мірі підвищення концентрації токсичної речовини у відповідь на подразнення у молюсків посилюється секреторна діяльність залозистих клітин, локалізованих у покривах тіла. Слиз товстим шаром вкриває тіло тварин, створюючи певну перепону для дифузії токсиканту із навколишнього середовища у організм. Це швидка захисна фізіологічна реакція. Сильне ослизнення тіла реєструється у переважній більшості тварин протягом перших двох діб експозиції. У подальшому шар слизу, як правило, не потовщується, а в деяких випадках навіть потоншується (внаслідок коагуляції слизу і відшарування його від тіла у вигляді пластівців).

Однією з патологічних реакцій молюсків у відповідь на дію токсикантів є порушення водного балансу. Слабкий та помірного ступеню набряк також можна розглядати як швидку захисну фізіологічну реакцію, скеровану на обмеження дії токсикантів на молюсків внаслідок «розведення» отруйних речовин [12]. Різке збільшення об'єму тіла (у 1,5-2 рази) і зниження тонусу колюмелярного м'язу не дозволяє тваринам повністю втягнути його всередину черепашки, тому голова та нога вивисають назовні через її вустя (реакція випадіння). За межею сублетальних концентрацій, по мірі наближення до концентрацій летальних молюски спочатку прагнуть залишити токсичне середовище (реакція уникнення), а потім їх рухова активність зменшується і вони або майже нерухомо сидять, прикріпившись до стінок акваріумів або, опустившись на його дно, нерухомо лежать, втягнувши тіло у мушлю (об'єм тіла зменшується на 2-3 мм³).

Латентний період визначали за візуальними спостереженнями. У розчинах іонів кадмію (діапазон 500-0,05 мг/дм³) перші ознаки отруєння з'являються стрімко і через малі проміжки часу (від 0,1 до 2 год). І лише за концентрації 0,005 мг/дм³ етологічні зсуви спостерігаються на початку другої доби експерименту.

Концентрація іонів кадмію (мг/дм ³)	500	50	5	0,5	0,05	0,005
Латентний період (год)	0,1	0,13	0,25	1,45	2,25	25,7

За дії іонів кадмію у концентраціях, що визначаються як летальні (LC₁₀₀), протягом першої доби ставковики переживають фазу враження, що пов'язане з розвитком у них деструктивних процесів на клітинному рівні (деструкція мембран, порушення мембранно-зв'язаних ферментативних процесів та загибель клітин). Протягом 48 год усі особини цієї групи втрачають життєздатність.

Для іонів кадмію встановлено тривалість його впливу, що призводить до розвитку необоротного отруєння, тобто такого отруєння, за якого тварина не відновлює нормальної життєдіяльності навіть після перенесення її з отруйних концентрацій у чисту воду. За дії різних концентрацій означеного полютанту отримано такі значення летального часу:

Концентрація іонів кадмію (мг/дм ³)	500	50	5	0,5	0,05	0,005
Летальний час (год)	0,4	2,3	8,7	25,6	38	44,3

Тривалість розвитку необоротного отруєння у розчинах іонів кадмію підлягає загальній закономірності: вона зменшується зі збільшенням концентрації розчину. Проте слід зазначити, що оборотність отруєння молюсків іонами кадмію досить незначна: ставковики, перенесені у чисту воду у стані втрати рухливості, майже завжди гинуть.

Досить показовими екотоксикологічними показниками є летальний середній час та час виживання. Щодо летального середнього часу, то у нашому досліді отримано такі його значення:

Концентрація іонів кадмію (мг/дм ³)	500	50	5	0,5
Летальний середній час (год)	2,8	6,4	12,4	36

У розчинах летальних концентрацій кадмію молюски гинуть швидко (вже через 3 год). З пониженням концентрації у розчинах іонів кадмію стрімко наростають зміни. Тут значення летального середнього часу невеликі, що вказує на сильну токсичну дію кадмію на молюсків.



Час, необхідний для розвитку смертельного отруєння ставковиків, менший від летального середнього часу за високих концентрацій токсиканту (у таких розчинах інтоксикація організмів наростає стрімко) і майже вдвічі менший за утримування молюсків у сублетальних концентраціях. Час виживання для піддослідних тварин тим більший, чим менша концентрація токсиканту. Для *L. stagnalis*, підданого дії різних концентрацій іонів кадмію, він такий:

Концентрація іонів кадмію (мг/дм ³)	500	50	5	0,5	0,05
Час виживання (год)	2,2	7,7	14,3	32	40

Порівнюючи значення показників часу виживання та летального середнього часу, можна побачити, що після настання фази розвитку смертельного отруєння, загибель 50% тварин в усіх концентраціях токсиканту настає через дуже невеликий проміжок часу. Це вказує на те, що незалежно від величини концентрації розчину іону важкого металу, відразу після сприймання його токсичного впливу інтоксикація молюсків наростає надзвичайно стрімко, що і призводить до загибелі половини тварин. Отже, молюски досить чутливі до впливу цього полютанту.

Яскравим показником, що характеризує амплітуду коливання фізіологічного статусу та токсикорезистентності окремих особин у вибірці, є коефіцієнт витривалості (КВ). З'ясовано, що його значення тим менші, чим меншою є концентрація токсиканту, тобто тварини до дії менших концентрацій пристосовуються найкраще. За різних концентрацій іону кадмію отримано наступні значення коефіцієнту витривалості:

Концентрація іонів кадмію (мг/дм ³)	500	50	5
Коефіцієнт витривалості	3,86	2,08	1,55

За малих концентрацій іону металу неможливо встановити коефіцієнт витривалості, оскільки у таких розчинах відсутня загибель усіх особин до кінця гострого дослідження. І хоча, виходячи зі значення цього показника, можна зробити висновок про краще виживання молюсків у розчинах з меншими концентраціями, амплітуда коливань означеного коефіцієнта дуже незначна, і зміна концентрацій іонів кадмію мало впливає на значення КВ.

З моменту початку токсичного впливу (загибель першої особи) до повної загибелі усіх тварин проміжок часу досить незначний, інтоксикація наростає стрімко. Очевидною є відсутність ефективних природних шляхів протидії важким металам у ставковика, оскільки, якби такі механізми існували, то хоча б у незначній частині вибірки

токсикорезистентність до досліджуваної отруйної речовини була би набагато вищою порівняно з іншими особинами. Це призвело б як до збільшення значень самих коефіцієнтів, так і до зростання амплітуди коливань їх за різними концентраціями. Отже, ще один аспект небезпеки цього полютанту для ставковика озерного полягає у тому, що ці молюски у процесі еволюції не виробили достатньо ефективних засобів протидії означеним елементам, і при досягненні певного рівня токсичного ефекту їх у воді не можуть пристосовуватися до них.

При моніторингу рівня забруднення водного середовища важкими металами та вивченні їх впливу на гідробіонтів як показник можна використовувати коефіцієнт пристосування (КП). Він свідчить про ступінь адаптації гідробіонтів до дії токсичного чинника. КП залежить від хімічної природи та концентрації отрути: більш вираженою є адаптація до отрут органічної природи і майже зовсім відсутня до речовин неорганічних [13]. Експериментально встановлено, що значення КП за впливу іонів кадмію дорівнює 4,5. Невисокі значення цього показника пояснюються нижчими значеннями летальних концентрацій та меншою різницею між летальними та сублетальними концентраціями для сильнотоксичних важких металів, до яких відноситься кадмій. Феномен адаптації ставковиків до отрут цієї групи носить тимчасовий характер і виражається у підвищенні стійкості організму молюсків до отрути, яка змінюється фазою депресії внаслідок порушення їх адаптаційних механізмів.

До критеріїв стійкості організму, які розглядаються у часі, належить виживання особин [2]. Цей показник визначено нами під час хронічного (70 діб) дослідю. Щодо нього, то спостерігається фазність реагування організму молюсків: байдужість, стимуляція, депресія, смерть [5]. За гостролетальних концентрацій іонів кадмію ставковики проходять лише дві останні фази отруєння. Після занурення тварин у такі розчини різко настає депресивна фаза, яка через декілька діб закінчується смертю тварин. У діапазоні хронічних летальних концентрацій кількість особин, які вижили, з плином часу стрімко зменшується, і відсоток виживших особин у 2-3,5 рази менший, ніж у контролі. Розчини сублетальних концентрацій спричиняють стимулюючу дію на ставковиків. Це проявляється у збільшенні відсотку особин, які дожили до кінця експерименту порівняно з контрольною групою тварин.

У розчинах підпорогових концентрацій іонів кадмію відсоток молюсків, які вижили у 70 діб експерименту, суттєво не відрізняється від значень, отриманих у контрольній групі тварин і знижується тільки в кінці дослідю (на 2-6%).



Загалом, встановлена нами закономірність виживання ставковиків у розчинах іонів кадмію не відповідає тенденціям розвитку інтоксикації за впливу інших полютантів, виявлених іншими дослідниками [14], які вважають, що за високої концентрації полютанту організм послідовно проходить всі фази дії отрут, а якщо концентрація мала – процес отруєння не доходить до останніх його фаз. За впливу іонів кадмію у випадку високих їх концентрацій відразу настає різке зниження життєздатності ставковиків і вони швидко гинуть. За сублетальних концентрацій можлива стимуляція одних і пригнічення інших функцій організму, як правило, закінчується пригніченням усіх процесів життєдіяльності. Вплив концентрацій, які тривалий час сприймаються організмом як недіючі (бо сила їхнього впливу спочатку не сягає рівня реактивності тканин), проявляється по мірі збільшення часу перебування молюсків у цих розчинах і відповідно зі збільшенням дозового навантаження на організм тварин.

Зрушення співвідношення води та сухого залишку у будь-який бік яскраво свідчить про наявність певних патологічних змін у організмі тварин. Ця закономірність пов'язана з винятковим значенням води у перебігу всіх фізіологічних та біохімічних процесів їхньої життєдіяльності. Щоби встановити характер порушень обміну у тілі ставковиків, які перебували в отруєному середовищі, нами були встановлені співвідношення середніх значень сирої маси тіла тварин і маси сухої речовини (після висушування у сушильних шафах).

Дослідження показало, що найсильніший токсичний вплив на процеси обміну у тілі ставковиків мають розчини хронічних летальних концентрацій іонів кадмію. За впливу цих концентрацій спостерігаємо стійке негативне зрушення водного балансу молюсків, що проявляється у зневодненні їх тіла, а через це значення показників відношення сухої маси тіла до сирої його маси є найменшими порівняно з контрольними значеннями (відхилення становлять у середньому 8-11% у негативний бік).

Найбільші коливання значень обговорюваного показника спостерігаємо за сублетальних концентрацій токсиканту. За впливу Cd^{2+} спостерігаємо посилення інтоксикації і, відповідно, статистично вірогідне зменшення показників відношення маси сухої речовини тіла до його сирої маси.

За впливу підпорогових концентрацій полютанту токсичний вплив має місце: усі отримані значення досліджуваного показника є меншими контрольних.

Отже, за впливу іонів кадмію водного середовища, загальна маса молюсків переважно збільшується (на 20-40%), а маса сухого

залишку м'якого тіла та мушлі зменшується (на 10-20%). Збільшення загальної маси тіла цих тварин в отруєному середовищі відбувається в основному за рахунок значного накопичення води в їхньому тілі.

Дослідження лінійних розмірів та маси тіла ставковика озерного за впливу на нього іонів кадмію водного середовища показало, що для зміни цих параметрів визначальним чинником є час. У перші 30 діб експерименту, незалежно від концентрації розчину іону металу, не спостерігається статистично вірогідних відмінностей у зміні висоти та товщини мушлі, а також у зміні маси тіла тих молюсків, які зазнали токсичного впливу. І лише з подовженням тривалості перебування тварин в отруєному середовищі розмірно-вагові характеристики зазнають суттєвих змін щодо контрольних значень.

Виявлено, що найменш чутливою характеристикою є висота мушлі, а найбільш чутливою – її товщина і маса тварин. За час хронічного експерименту у розчинах досліджуваного металу показники висоти мушлі ставковика озерного з плином часу збільшуються, і хоча, зі збільшенням концентрації полютанту, мушля росте все повільніше і повільніше, проте зміни темпів росту її не досягають статистично вірогідних відмінностей ($P > 0,05$) порівняно з середніми значеннями висоти мушлі, отриманими у контрольній групі тварин. Однак, слід мати на увазі, що тенденція зміни висоти мушлі дорослих молюсків у розчинах хронічних летальних концентрацій досліджуваного металу така, що за подовження токсичного впливу ріст молюсків сильно уповільнюється, але все ж таки не припиняється навіть до моменту їх загибелі.

Товщина мушлі є більш динамічним лінійним показником, який чутливіший за інші з них до зміни складу середовища. Розчини підпорогових концентрацій іону кадмію не викликають змін цього параметра – мушлі ставковиків закономірно товщають, значення товщини мушлі не відрізняються від таких у контрольній групі тварин.

За впливу іонів кадмію у сублетальних та хронічних летальних концентраціях спостерігається різке порушення мінерального обміну *L. stagnalis*, що проявляється у прогресуючому потоншенні мушлі цих молюсків. Такі процеси відбуваються тим стрімкіше, чим більшою є концентрація токсиканту, і наростають з подовженням впливу останнього. За впливу хронічних летальних концентрацій на момент загибелі тварин (35-40 доба експерименту) різниця у показниках товщини мушлі щодо середніх контрольних значень становить 45-60%.

Зміни маси тіла молюсків також залежать від концентрації іону металу та тривалості їх впливу. У розчинах підпорогових концентрацій маса молюсків протягом хронічного досліджування зростає у відповідно-

сті до її росту у групи контрольних тварин. Молюски активно живляться і більшість трофологічних показників у них реєструється на рівні контролю. Водний баланс за впливу цих концентрацій не порушується.

У сублетальних Cd^{2+} маса молюсків наростає значно повільніше, ніж у контролі. Це можна пояснити як зрушенням водного балансу у негативний бік, так і пригніченням споживання молюсками корму. Тобто деструктивні зміни в організмі молюсків з'являються у цих розчинах скоріше.

Відомо, що існує взаємозв'язок між лінійними розмірами та масою тіла молюсків [3]. Дослідження лінійно-вагових співвідношень молюсків, які перебували в отруєному середовищі, показали, що значення величин маси тіла ставковика озерного у контролі та за впливу підпорогових і сублетальних концентрацій іонів металу співвідносяться зі значеннями висоти мушлі: зі зростанням маси тіла зростають лінійні розміри молюсків (рисунок).

Для описання змін лінійно-вагових характеристик молюсків найкраще підходять експоненційна та степенева функції [15]. Порівняння отриманих значень маси (m) в залежності від висоти мушлі (h) показало, що експоненційна функція краще апроксимує залежність маси від лінійних розмірів ставковиків. Коефіцієнт достовірності (R^2) такої апроксимації досить великий (0,93-0,99) (рисунок).

Аналіз отриманих залежностей маси молюска від висоти його мушлі показує, що у розчинах з важкими металами за впливу підпорогових та сублетальних концентрацій швидкість зростання загальної маси тіла відповідає такій у контролі. У розчинах з кадмієм зростання маси відбувається у підпорогових концентраціях стрімкіше, ніж у контролі (рисунок).

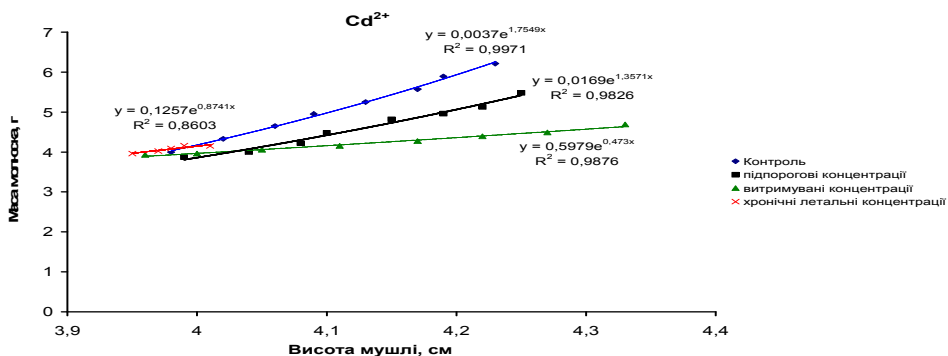


Рисунок. Залежність зміни загальної маси тіла від висоти мушлі *L. stagnalis* за дії Cd^{2+} . $M \pm m$; $n = 4$
За впливу хронічних летальних концентрацій досліджуваного

металу залежність маси моллюска від висоти мушлі практично не змінюється з часом.

Висновки. За сукупністю основних токсикологічних показників для *L. stagnalis*, підданих дії іонів кадмію водного середовища, встановлено, що цей метал є сильнотоксичним.

Вживання особин у токсичному середовищі залежить від концентрації іону металу та тривалості його впливу і характеризується фазністю реагування з боку організму тварин (байдужість, підвищення активності, депресія, смерть). За гостролетальних концентрацій Cd^{2+} ставковики проходять дві останні фази отруєння. Розчини сублетальних концентрацій спричиняють стимулюючу дію на ставковиків.

У *L. stagnalis* під впливом Cd^{2+} порушується ріст. Найбільш чутливим до зміни складу середовища лінійним показником є товщина мушлі, найменш чутливим – висота мушлі. Вплив іонів кадмію призводить до збільшення (на 20-40%) загальної маси тіла ставковиків, викликаного його гідратацією і зменшенням (на 10-20%) маси сухого залишку.

1. Алексеев В. А. Основные принципы сравнительно-токсикологического эксперимента. *Гидробиол. журн.* 1981. Т. 17, № 3. С. 92–100. 2. Алексеев В. А. О понятиях «чувствительности» и «устойчивости» гидробионтов к токсическому воздействию. *Гидробиол. журн.* 1983. Т. 19, № 3. С. 77–81. 3. Алимов А. Ф., Голиков А. Н. Некоторые закономерности соотношений между размерами и весом у моллюсков. *Зоол. журн.* 1974. Т. 53. Вып. 4. С. 517–530. 4. Бандман А. Л., Гудзовский Г. А., Дубейковская Л. С. Вредные химические вещества. Неорганические соединения элементов I-IV группы : справ. изд.-во. Л. : Химия, 1988. 512 с. 5. Веселов Е. А. Основные фазы действия токсических веществ на организмы. *Тез. докл. Всесоюз. научн. конф. по вопрос. водн. токсикол.* М. : Наука, 1968. С. 15–16. 6. Выскушенко Д. А. Реагирование прудовика озерного (*Lymnaea stagnalis* L.) на воздействие сульфата меди и хлорида цинка. *Гидробиол. журн.* 2002. Т. 38. № 4. С. 86–92. 7. Горвая С. Л., Столярова С. А. Физиолого-биохимические показатели рыб водоемов Белоруссии. Минск : Наука и техника, 1987. 157 с. 8. Кизеветтер И. В. Биохимия сырья водного происхождения. М. : Пищев. пром-сть, 1971. 424 с. 9. Китаев С. П., Калиниченко Л. Т. Устойчивость и чувствительность к действию промышленных сточных вод сульфат-целлюлозного завода. *Мат. VII мед.-биол. конф.* Петрозаводск : Изд-во Петрозав. гос. ун-та, 1974. С. 257–260. 10. Лакин Г. В. Биометрия : учебник. М. : Высш. шк., 1990. 351 с. 11. Пінкіна Т. В., Стадниченко А. П. Екотоксикологічна характеристика ставковика озерного за дії на нього хлориду кадмію водного середовища. *Вісник ДАУ : наук.-теор. зб.* Житомир, 2004. № 1. С. 127–133. 12. Пінкіна Т. В., Пінкін А. А. Оцінка токсикорезистентності ставковика озерного (*Mollusca: Gastropoda*) до впливу іонів мангану



(II) у водному середовищі). *Ukrainian Journal of Ecology*. 2018. 8(1). С. 719–729. **13.** Метелев В. В., Канаев А. М., Дзасохова Н. Г. Водная токсикология. М. : Колос. 1974. 247 с. **14.** Строганов Н. С., Данильченко О. П., Амочаева Е. И. Изменение пластического обмена моллюсков *Lymnaea stagnalis* под влиянием трибутилоловохлорида в малых концентрациях. *Биол. науки*. 1977. № 4. С. 75–78. **15.** Умнов А. А. Применение статистических методов для оценки параметров эмпирических уравнений, описывающих взаимосвязь между эмпирическим обменом и массой тела животных. *Журн. общ. биол.* 1976. Т. 37, № 1. С. 71–86. **16.** Malacea Ion Arch. Anthropogenic emissions of heavy metals to the hydrosphere. *Hydrobiol.* 1968. 65, N 1. pp. 79–92. **17.** Pili Anne, Carle Daria O., Kline Edward, Pickering Quentin, Lazorzak James Effects of pollution on freshwater organisms // *J. Water Pollut. Contr. Fed.* 1988. 60, N 6. P. 994–1065.

REFERENCES:

1. Alekseev V. A. Osnovnye printsipy sravnitelno-toksikologicheskogo eksperimenta. *Hidrobiol. zhurn.* 1981. Т. 17, № 3. С. 92–100. **2.** Alekseev V. A. O poniatiiakh «chuvstvitelnosti» i «ustoichivosti» hidrobiontov k toksicheskomu vozdeistviu. *Hidrobiol. zhurn.* 1983. Т. 19, № 3. С. 77–81. **3.** Alimov A. F., Holikov A. N. Nekotorye zakonomernosti sootnoshenii mezhdru razmerami i vesom u molliuskov. *Zool. zhurn.* 1974. Т. 53. Vyp. 4. С. 517–530. **4.** Bandman A. L., Hudzovskii H. A., Dubeikovskaia L. S. Vrednye khimicheskie veshchestva. Neorhanicheskie soedineniia elementov I-IV hruppy : sprav. izd.-vo. L. : Khimiia, 1988. 512 s. **5.** Veselov E. A. Osnovnye fazy deistviia toksicheskikh veshchestv na orhanizmy. *Tez. dokl. Vsesoiuz. nauchn. konf. po vopros. vodn. toksykol.* М. : Nauka, 1968. С. 15–16. **6.** Vyskushenko D. A. Reahirovanie prudovika ozernoho (*Lymnaea stagnalis* L.) na vozdeistvie sulfata medi i khlorida tsynka. *Hidrobiol. zhurn.* 2002. Т. 38. № 4. С. 86–92. **7.** Horovaia S. L., Stoliarova S. A. Fiziologo-biokhimicheskie pokazateli ryb vodoemov Belorussii. Minsk : Nauka i tekhnika, 1987. 157 s. **8.** Kizevetter I. V. Biokhimiia syria vodnogo proiskhozhdeniia. М. : Pishchev. prom-st, 1971. 424 s. **9.** Kitaev S. P., Kalinichenko L. T. Ustoichivost i chuvstvitelnost k deistviu promyshlennykh stochnykh vod sulfat-tselliuloznogo zavoda. *Mat. VII med.-biol. konf. Petrozavodsk* : Izd-vo Petrozav. hos. un-ta, 1974. С. 257–260. **10.** Lakin H. V. Biometriia : uchebnik. М. : Vyssh. shk., 1990. 351 s. **11.** Pinkina T. V., Stadnychenko A. P. Ekotoksikologichna kharakterystyka stavkovyka ozernoho za dii na noho khlorydu kadmiu vodnogo seredovishcha. *Visnyk DAU : nauk.-teor. zb. Zhytomyr*, 2004. № 1. С. 127–133. **12.** Pinkina T. V., Pinkin A. A. Otsinka toksykorezystentnosti stavkovyka ozernoho (Mollusca: Gastropoda) do vplyvu yoniv manhanu (II) u vodnomu seredovishchi). *Ukrainian Journal of Ecology*. 2018. 8(1). С. 719–729. **13.** Metelev V. V., Kanaev A. M., Dzasokhova N. H. Vodnaia toksikologhiia. М. : Kolos. 1974. 247 s. **14.** Strohanov N. S., Danilchenko O. P., Amochaeva E. I. Izmenenie plasticheskoho obmena molliuskov *Lymnaea*

stagnalis pod vlianiem trybutilolovokhlorida v malykh kontsentratsiiah. *Biol. nauki*. 1977. № 4. S. 75–78. **15.** Umnov A. A. Primenenie statisticheskikh metodov dlia otsenki parametrov empiricheskikh uravnenii, opisyvaiushchikh vzaimosviaz mezhdru empiricheskim obmenom i massoi tela zhyvotnykh. *Zhurn. obshch. biol.* 1976. T. 37, № 1. S. 71–86. **16.** Malacea Ion Arch. Anthropogenic emissions of heavy metals to the hydrosphere. *Hydrobiol.* 1968. 65, N 1. pp. 79–92. **17.** Pili Anne, Carle Daria O., Kline Edward, Pickering Quentin, Lazorcza James Effects of pollution on freshwater organisms // *J. Water Pollut. Contr. Fed.* 1988. 60, N 6. P. 994–1065.

Рецензент: Василенко О. М., к.біол.н., доцент (Житомирський державний університет ім. І. Франка, м. Житомир)

Pinkina T. V., Candidate of Biological Sciences (Ph.D.), Associate Professor; Solomatina V. D., Doctor of Biological Sciences, Professor; Svitelskyi M. M., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor; Ishchuk O. V., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor; Matkovska S. I., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor (Zhytomyr National Agroecological University)

ECOLOGICAL AND PHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE LAKE POND (MOLLUSCA: GASTROPODA: PULMONATA: LYMNAEIDAE) DUE TO THE INFLUENCE OF CADMIUM IONS IN THE AQUEOUS MEDIUM

The article presents the results of research on the influence of cadmium ions (acute concentrations – 5-0,5 mg / dm³; chronically lethal – 5·10⁻²-5·10⁻³ mg / dm³; sustained – 5·10⁻⁴-5·10⁻⁵ mg / dm³; subliminal concentrations – 5·10⁻⁶ mg / dm³ and below) on the ethological, morphological and physiological parameters of lake pond. Based on many years of research, the survival of individuals in a toxic environment has been studied, depending on the concentration of the metal ion and the duration of its exposure. As a result of the study of biological peculiarities in the set of basic toxicological indices for *L. stagnalis*, exposed to cadmium ions of the aqueous medium, it was established that this metal is highly toxic.

The study showed that the strongest toxic effects on the metabolic processes in the body of the pond have been the solutions of chronic lethal concentrations of cadmium ions.

Heavy metals present in natural waters belong to a group of trace elements, which are characterized by high physiological activity in micro and ultramicrodoses. The specific biological significance of cadmium as a trace element has not been established. However, due



to its chemical properties, this metal has a cumulative effect on aquatic organisms, which can replace zinc in many vital enzymatic reactions, leading to their breakage or inhibition. Cadmium is among the very poisonous substances, it can reduce reproduction and delay the development of embryos in animals.

In populations, there are mechanisms that determine their density. These include, in particular, the size and age structure and survival of individuals. In the age-old specimens, the pond lobster, as well as mollusks from the same masonry, placed in the solution of heavy metal ions, usually exhibits significant variability in growth rates, size and body weight. It is known that growth processes are quite sensitive to the slightest changes in any ecological factor, therefore the size and weight characteristics of animals placed in a poisonous environment are among the parameters that characterize the organism's response to hydro-organisms to change the quality of water.

Recently, the number of studies in which the effect on hydrobionts of known lethal concentrations is studied is growing. In this case, the main attention of researchers is aimed at studying acute poisoning hydrobionts, and for him the main criterion is the level of survival. However, there are still very few works in which the toxic effects of small concentrations of heavy metals are evaluated for their prolonged action, that is, in conditions close to those existing in contaminated natural waters. Although, knowing the ability of heavy metals to cumulation, attention should be paid to the survival of animals for the long-term exposure of the toxin, because this parameter determines the effectiveness of the reproduction of molluscs.

Given that in the scientific literature there is only a discrete data on the influence of various concentrations of cadmium ions on the body of molluscs, we evaluated the influence of this toxicant on the ethological, morphological and some physiological parameters of lacustrine pond. The research is relevant in view of the fact that without this information one can not do without the prospect of biotesting of environmental monitoring of waters.

***Keywords:* pond lake, toxic environment, heavy metal ions, lethal concentrations, toxicological indicators, physiological departures, ecological factors.**

**Пинкина Т. В., к.б.н., доцент; Соломатина В. Д., д.б.н., профессор;
Свительский Н. М., к.с.-х.н., доцент; Ищук О. В., к.с.-х.н., доцент;
Матковская С. И., к.с.-х.н., доцент** (Житомирский национальный
агроэкологический университет, г. Житомир)

ЭКОЛОГО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРУДОВИКА ОЗЕРНОГО (MOLLUSCA: GASTROPODA: PULMONATA: LYMNÆIDAE) ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ИОНОВ КАДМИЯ ВОДНОЙ СРЕДЫ

В статье приведены результаты исследований по изучению влияния ионов кадмия (остролетальные концентрации – 5-0,5 мг / дм³; хронические летальные – 5·10⁻²-5·10⁻³ мг / дм³; выдерживаемые – 5·10⁻⁴-5·10⁻⁵ мг / дм³; подпороговые концентрации – 5·10⁻⁶ мг / дм³ и ниже) на этологические, морфологические и физиологические показатели прудовика озерного.

На основе многолетних исследований изучено выживание особей в токсичной среде в зависимости от концентрации иона металла и продолжительности его воздействия. В результате изучения биологических особенностей по совокупности основных токсикологических показателей для *L. stagnalis*, подверженных действию ионов кадмия водной среды, установлено, что этот металл является сильнотоксичным.

Исследование показало, что самое сильное токсическое воздействие на процессы обмена в теле прудовиков имеют растворы хронических летальных концентраций ионов кадмия.

Ключевые слова: прудовик озерный, токсичная среда, ионы тяжелых металлов, летальные концентрации, токсикологические показатели, физиологические отправления, экологические факторы.
