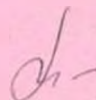


НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ГІДРОБІОЛОГІЇ

ПІНКІНА Тетяна Василівна



УДК 615.9:594.38:591.5

**ВПЛИВ ІОНІВ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ ВОДНОГО
СЕРЕДОВИЩА НА РІСТ, РОЗМНОЖЕННЯ І РОЗВИТОК
СТАВКОВИКА ОЗЕРНОГО (MOLLUSCA, PULMONATA)**

03.00.17 — ГІДРОБІОЛОГІЯ

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата біологічних наук

Київ – 2006

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі загальної екології Державного агроекологічного університету (м. Житомир).

Науковий керівник: доктор біологічних наук, професор
Стадниченко Агнеса Полікарпівна,
Житомирський державний університет,
імені Івана Франка, завідувачка кафедри
зоології.

Офіційні опоненти: доктор біологічних наук, професор
Арсан Орест Михайлович,
Інститут гідробіології НАН України,
завідувач відділу екотоксикології;

кандидат біологічних наук, доцент
Лукашев Дмитро Володимирович,
Київський національний університет
ім. Т.Г. Шевченка,
доцент кафедри зоології.

Провідна установа: Інститут зоології імені І.І. Шмальгаузена
НАН України.

Захист відбудеться "14" грудня 2006р. об 11 годині на
засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.213.01 при Інституті
гідробіології НАН України за адресою: просп. Героїв
Сталінграда, 12, м. Київ, 04210.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Інституту
гідробіології НАН України (просп. Героїв Сталінграда, 12, м.
Київ, 04210).

Автореферат розісланий "11" листопада 2006р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
кандидат біологічних наук



Н.І. Гончаренко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. З кожним роком зростає концентрація важких металів у внутрішніх водоймах України. Це визначає актуальність проблеми вивчення впливу підвищених концентрацій цих речовин на водні екосистеми. Актуальним є також пошук тест-реакцій організмів, які чітко і швидко могли б свідчити про наявність поллютанту у середовищі.

Найбільш ефективними показниками, за допомогою яких можна розробити методи визначення речовин, що негативно впливають на водні гідроценози, є ріст, розмноження і розвиток гідробіонтів (Строганов, 1971), зокрема, легеневиx моллюсків. Проте особливості репродукції моллюсків у середовищі, що містить важкі метали, та вплив цих токсикантів на ембріональні та ранні стадії розвитку організмів вивчені недостатньо.

Після аварії на Чорнобильській АЕС значна частина радіонуклідів потрапила у поверхневі води, спричинивши додатковий негативний вплив на гідробіонтів. Виникла проблема вивчення комбінованого впливу іонізуючої радіації та інших хімічних агентів, зокрема, важких металів на водні організми.

Мета і задачі дослідження. Мета роботи – з'ясувати основні закономірності впливу іонів важких металів (міді, кадмію, нікелю, цинку, кобальту, марганцю) і сумісної дії радіації та означених поллютантів на ріст, розмноження і розвиток ставковика озерного (*Lymnaea stagnalis*, L.).

Для досягнення цієї мети потрібно було вирішити наступні задачі:

- встановити основні екотоксикологічні показники ставковика озерного за дії на нього різних концентрацій Cu^{2+} , Cd^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , Co^{2+} , Mn^{2+} водного середовища;
- дослідити вплив іонів важких металів на розмірно-вагові характеристики і виживання моллюсків та їх молоді;
- з'ясувати особливості трофіки моллюсків у отруєному середовищі;
- здійснити спостереження за етологічними особливостями ставковика озерного в репродукційний період за перебування його у середовищі, що містить іони важких металів;
- провести порівняльне вивчення стійкості структур синкапсул моллюсків за різних рівнів інтоксикації іонами важких металів і на цій основі виявити особливості їх будови, фізіології формування та встановити частоту появи вад розвитку;
- виявити відмінності у темпах народжуваності та кількісних характеристиках вилуплення молоді ставковика озерного у розчинах різних концентрацій Cu^{2+} , Cd^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , Co^{2+} , Mn^{2+} водного середовища;
- провести комплексне дослідження по вивченню опосередкованого впливу іонізуючої радіації та безпосереднього впливу іонів важких металів на морфологічні та біологічні характеристики ставковика озерного.

Об'єкт дослідження – процеси реагування фізіологічних відправлень червоного легеневого моллюска ставковика озерного (*L. stagnalis*) на різні

рівні інтоксикації Cu^{2+} , Cd^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , Co^{2+} , Mn^{2+} і явища сумісної дії радіації та важких металів на організм цих гідробіонтів.

Предмет дослідження – вплив антропогенних чинників середовища на гідробіонтів.

Методи дослідження – хімічні, біологічні, фізичні, статистичні.

Наукова новизна одержаних результатів. Наукова новизна роботи полягає в тому, що вперше:

– проведено системні комплексні дослідження змін низки основних морфологічних показників та фізіологічних характеристик ставковика озерного в залежності від рівня забруднення середовища важкими металами (Cu^{2+} , Cd^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , Co^{2+} , Mn^{2+}), які мають різні ступені токсичності;

– простежено динаміку та проведено аналіз отриманих залежностей зміни розмірно-вагових характеристик дорослих моллюсків та їх молоді у часі за умов хронічного отруєння;

– досліджено зміни у поведінці ставковиків під час репродукції, в особливостях будови синкапсул, темпах яйцекладки, кількісних змінах вилуплення молоді за впливу іонів важких металів у залежності від тривалості та рівня токсичності середовища; проведено аналіз причин появи аномальних синкапсул та вад розвитку ембріонів у отруєному середовищі;

– здійснено співставлення біологічних характеристик ставковика озерного за утримання його у середовищі, отруєному важкими металами, з такими ж показниками, отриманими для моллюсків із радіаційно забрудненого середовища.

Практичне значення одержаних результатів. Отримані результати дають можливість:

– обґрунтувати прогнозування змін, що зазнають природні угруповання під впливом забруднення важкими металами;

– врахувати дію Cu^{2+} , Cd^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , Co^{2+} , Mn^{2+} на процеси відтворення біоти водойм, які зазнали антропогенного забруднення;

– оцінити обтяжуючу дію іонізуючої радіації на процеси репродукції гідробіонтів, які зазнають токсичного впливу;

– використати найчутливіші до забруднення іонами важких металів морфофункціональні показники ставковика озерного для діагностування екотоксикологічної ситуації у водоймах та при розробці моніторингових тестів;

– застосовувати ставковика озерного як одного з біоіндикаторів рівня забруднення водойм важкими металами;

– розробити рекомендації для встановлення екологічних ГДК іонів важких металів, а пізніше і для створення єдиної інтегрованої системи ГДК токсичних речовин для водойм загального користування.

Особистий внесок здобувача. Автором визначено основні завдання наукової роботи, обрано та опановано методи їх вирішення і розроблено стратегію наукового експерименту; підібрано та опрацьовано літературні дані; зібрано матеріал для досліджень; поставлено і проведено досліди з вивчення впливу токсикантів на

морфофункціональні та біологічні показники ставковика озерного: цифрові результати експериментів оброблено методами варіаційної статистики; проведено аналіз та оформлення отриманих результатів, їх узагальнення та формулювання висновків.

Апробація результатів дисертації. Результати дисертаційної роботи були оприлюднені на Міжнародних наукових конференціях “Молюски. Основні результати, проблеми та перспективи досліджень” (Житомир, 2002), “Еколого-функціональні та фауністичні аспекти дослідження молюсків, їх роль у біоіндикації стану навколишнього середовища” (Житомир, 2004), “Молодь і поступ біології” (Львів, 2005, 2006), “Актуальные проблемы экологической физиологии, биохимии и генетики животных” (Саранськ, 2005), на Міжнародних та Всеукраїнських науково-практичних конференціях “Зоологічні дослідження в Україні на межі тисячоліть” (Кривий Ріг, 2001), “Науковий потенціал світу `2004” (Дніпропетровськ, 2004), “Наука і освіта `2004”, “Наука і освіта `2005” (Дніпропетровськ, 2004, 2005), “Проблеми відтворення та охорони біорізноманіття України” (Полтава, 2004), на XXX-ій науковій конференції до 45-ої річниці Житомирського державного технологічного університету (Житомир, 2005), на міжвузівських науково-практичних конференціях “Вода: проблеми і шляхи вирішення” (Житомир, 2003), “Наука. Молодь. Екологія” (Житомир, 2004), “Сучасні проблеми екології” (Житомир, 2005, 2006), на XXI малакологічному семінарі (Торуń-Сієхосінек, 2005).

Публікації. За матеріалами дисертаційних досліджень опубліковано 27 наукових робіт, у тому числі статті в наукових журналах – 11 (6 із них у фахових виданнях ВАК), тези в матеріалах конференцій та семінарів – 16.

Структура дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, 7 розділів, висновків, списку літератури, який містить 247 джерел (з них на кирилиці – 180, на латиниці – 67) і п'яти додатків. Повний обсяг дисертації становить 122 сторінки. Текст проілюстрований 1 фотографією, 4 таблицями і 31 рисунком. Додатки розміщені на 86 сторінках тексту, містять 136 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

ВАЖКІ МЕТАЛИ ВОДНОГО СЕРЕДОВИЩА ТА ЇХ ВПЛИВ НА ГІДРОБІОНТІВ (ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД)

В розділі проведений аналіз літературних джерел за темою дисертаційної роботи. У роботах вітчизняних і зарубіжних вчених визначено необхідність пошуку репрезентативних видів-моніторів та чутливих до токсичного впливу тест-функцій гідробіонтів. Виявлено, що недостатньо дослідженими є питання вивчення особливостей росту, розмноження та розвитку ставковика озерного в отруєному важкими металами середовищі. У зв'язку з посиленням забруднення гідроценозів України важкими металами та радіонуклідами, потребують вивчення питання сумісного впливу радіоактивного опромінення та іонів важких металів на організм тварин.

МАТЕРІАЛ І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Матеріалом для дослідження слугували однорозмірні ставковики (*Lymnaea stagnalis*) зібрані у ріпалі р. Тетерів (м. Житомир). У період з 2000 по 2004 рр. проведено 392 експерименти з вивчення росту, репродукції та розвитку молюсків за дії різних концентрацій Cu^{2+} , Cd^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , Co^{2+} , Mn^{2+} водного середовища. У межах кожного експериментального дослідження здійснено від 3 до 6 експериментальних повторностей. Всього досліджено 11 153 дорослих особин і 3 717 синкапсул.

Кількість садків, закладених для тривалих спостережень за молюсками і з метою отримання кладок, становила 250 екз. за один рік. Видалення харчових залишків та заміну корму проводили щоденно.

Токсикологічні дослідження поставлено за методикою В. А. Алексєєва (1981). Перед основними дослідженнями поставлено по два орієнтовних досліді для кожного із застосованих у роботі токсикантів. 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 важких металів створювали додаванням у відстояну водопровідну воду розрахованих (по катіону) кількостей хлоридів металів. Контролем слугували тварини, поміщені у чисту воду. Тривалість досліді – 70 діб.

Під час гострого 48-годинного експерименту встановлювали основні екоотоксикологічні показники ставковика озерного за впливу на нього іонів важких металів (Cu^{2+} , Cd^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , Co^{2+} , Mn^{2+}): LC_0 , LC_{50} , LC_{100} , ступінь токсичності, порогову концентрацію, латентний період, летальний час, летальний середній час, коефіцієнт витривалості (Китаєв, Калениченко, 1974), час виживання, коефіцієнт пристосування (Malacea, 1968).

Відкладені молюсками синкапсули вивчали під мікроскопом і поміщали для подальшого розвитку у чашки Петрі. Молодь переносили у скляні ємності на першу-другу добу після виходу її з синкапсул, попередньо зваживши та знявши лінійні показники.

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

Для вивчення копуляції молюсків проводили прямі спостереження за поведінкою їх у лабораторних культурах.

Виживання дорослих молюсків і молоді 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 дослід на його початку.

Окремо були проведені аналогічні описаним дослідження з моллюсками, яких було взято з р. Лозниця (притоки р. Уж) – водойми району, що потерпів від аварії на ЧАЕС (II зона радіоактивного забруднення).

Отримані цифрові дані оброблено з використанням методів варіаційної статистики (Лакин, 1990) та спеціальних комп'ютерних програм Excel і "STATISTICA 6.0". Для встановлення ступеня подібності між впливом на біоту іонів важких металів основні екотоксикологічні показники оброблено методом ієрархічного кластерного аналізу.

ЕКОТОКСИКОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА *LYMNAEA STAGNALIS*

Досліджені іони за *ступенем токсичності* віднесено до наступних чотирьох груп: 1. Високотоксичні речовини – сполуки міді. 2. Сильнотоксичні – кадмію та нікелю. 3. Помірнотоксичні – цинку. 4. Слабкотоксичні речовини – сполуки марганцю та кобальту.

Діапазон концентрацій від гостролетальних до підпорогових для ставковика є досить широким, що вказує на лабільність організму цих моллюсків (табл.). Проте значення порогових концентрацій вказують на надзвичайну чутливість тварин до іонів важких металів.

Таблиця.

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

| Іон | Концентрації | | | |
|------------------|----------------|---|---|----------------------------|
| | Гостролетальні | Хронічні летальні | Сублетальні | Підпорогові |
| Cu ²⁺ | 4 – 0,4 | 4·10 ⁻² – 4·10 ⁻³ | 4·10 ⁻⁴ – 4·10 ⁻⁷ | 4·10 ⁻⁸ і нижче |
| Cd ²⁺ | 5 – 0,5 | 5·10 ⁻² – 5·10 ⁻³ | 5·10 ⁻⁴ – 5·10 ⁻⁵ | 5·10 ⁻⁶ і нижче |
| Ni ²⁺ | 15 – 5 | 0,5 – 0,05 | 5·10 ⁻³ – 5·10 ⁻² | 5·10 ⁻⁶ і нижче |
| Zn ²⁺ | 25 – 3 | 2 – 0,5 | 5·10 ⁻² – 5·10 ⁻⁴ | 5·10 ⁻⁵ і нижче |
| Co ²⁺ | 25 – 5 | 4 – 1 | 0,2 – 0,02 | 0,03 і нижче |
| Mn ²⁺ | 195 – 100 | 95 – 35 | 20 – 0,3 | 0,03 і нижче |

При визначенні токсикологічних показників враховано *швидкі поведінкові та фізіологічні реакції моллюсків*: рухову активність тварин, ступінь ослизнення їх тіла, реакції уникнення та випадіння.

Значення *латентного періоду* вказують на те, що ставковики чутливі навіть до дуже невисоких концентрацій важких металів у воді – завжди можна спостерігати зміни поведінки тварин. Перші етологічні реакції у розчинах іонів важких металів спостерігаються через 5-15 хв (діапазони концентрацій в межах

200-500 мг/дм³). За низьких концентрацій поліютантів (0,002-0,005 мг/дм³) перші поведінкові реакції спостерігаються через 10-11 год (у розчинах Cu²⁺, Co²⁺) або на початку другої доби експерименту.

Тривалість розвитку необоротного отруєння (*летальний час*) зменшується зі збільшенням концентрації розчину. За показником летального часу молюски виявляються найчутливішими до розчинів міді. У розчинах інших іонів оборотність отруєння молюсків важкими металами досить незначна: ставковики, перенесені у чисту воду у стані втрати рухливості, майже завжди гинуть.

Значення *летального середнього часу* підтверджують віднесення іонів важких металів до певних ступенів токсичності. *Час виживання* 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. Порівняння значень показників часу виживання та летального середнього часу дозволяє зробити висновок, що після настання фази розвитку смертельного отруєння загибель 50% тварин в усіх концентраціях токсикантів настає через дуже невеликий проміжок часу. Це вказує на те, що інтоксикація молюсків наростає надзвичайно стрімко, що і призводить до загибелі половини тварин.

Значення *коефіцієнту витривалості* (КВ) тим менші, чим меншою є концентрація токсикантів, тобто тварини до дії менших концентрацій пристосовуються краще. За малих концентрацій іонів металів неможливо встановити КВ, оскільки у таких розчинах відсутня загибель усіх особин до кінця гострого дослідю.

Експериментально встановлено, що значення *коефіцієнту пристосування* найвищі для сильнотоксичних металів (4,5-6 год) і менші для слабкотоксичних (1-1,7 год). Пояснюється це вищими значеннями летальних концентрацій та більшою різницею між летальними та сублетальними концентраціями для слабкотоксичних важких металів. Стосовно високотоксичних металів помічено, що феномен адаптації ставковиків до отруту носить тимчасовий характер і виражається у підвищенні стійкості організму молюсків до отрути, яка змінюється фазою депресії внаслідок порушення їх адаптаційних механізмів.

ВПЛИВ ІОНІВ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ НА РОЗМІРНО-ВАГОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТА ВИЖИВАННЯ СТАВКОВИКА ОЗЕРНОГО ЗА УМОВ ХРОНІЧНОГО ДОСЛІДУ

Розмірно-вагові характеристики та виживання дорослих молюсків. У перші 30 діб експерименту, незалежно від концентрації розчину та характеру іону металу, не спостерігається статистично вірогідних відмінностей у зміні висоти та товщини мушлі і маси тіла молюсків. Лише з подовженням тривалості

перебування тварин у середовищі з важкими металами розмірно-вагові характеристики зазнають суттєвих змін порівняно з контрольними значеннями. Найменш чутливою характеристикою є висота мушлі, а найбільш чутливою – її товщина і маса тварин. За час хронічного експерименту у розчинах усіх досліджуваних металів показники висоти мушлі ставковика озерного з плином часу збільшуються. Зменшення темпів росту зі збільшенням концентрації поллютанту не досягають статистично вірогідних відмінностей порівняно з середніми значеннями показника, отриманими у контрольній групі тварин. У розчинах хронічних летальних концентрацій усіх шести досліджуваних металів за подовження токсичного впливу ріст молюсків сильно уповільнюється, але все ж таки не припиняється до моменту їх загибелі.

Розчини підпорогових концентрацій іонів металів не викликають змін товщини мушлі – вони закономірно товстіють, значення цього параметра не відрізняються від таких у контрольній групі тварин. У розчинах Ni^{2+} означених концентрацій відхилення від контрольних значень за цим показником становить майже 30% у бік зменшення значень. Уповільнення росту цього параметру в розчинах сублетальних концентрацій після 20-30 діб експозиції починає статистично вірогідно відрізнятися від контрольних значень. За високих концентрацій важких металів спостерігається прогресуюче потончення мушлі внаслідок порушення мінерального обміну. Такі процеси відбуваються тим стрімкіше, чим більшою є концентрація токсиканту, і наростають з подовженням впливу останнього. На момент загибелі тварин у цих розчинах (35-40 доба експерименту) різниця у показниках товщини мушлі щодо середніх контрольних значень становить 45-60%.

Зміни маси тіла молюсків також залежать від концентрації іонів металів та тривалості їх впливу. У розчинах підпорогових концентрацій маса молюсків протягом хронічного дослідження зростає у відповідності до її росту у групі контрольних тварин. Повільне та незначне збільшення маси тіла у випадку впливу сублетальних концентрацій Ni^{2+} та Zn^{2+} і різке зменшення маси тіла піддослідних тварин за впливу таких же концентрацій Cu^{2+} , Cd^{2+} , Co^{2+} , Mn^{2+} не може мати пристосувального значення і є наслідком патологічних змін у організмі досліджуваних гідробіонтів.

Значення величин маси тіла ставковика озерного у контролі та за впливу підпорогових і сублетальних концентрацій іонів металів співвідносяться зі значеннями висоти мушлі. Порівняння отриманих значень маси у залежності від висоти мушлі показало, що експоненційна функція краще апроксимує залежність маси від лінійних розмірів ставковиків. Коефіцієнт вірогідності (R^2) такої апроксимації досить великий (0,93-0,99).

Щодо показників виживання то спостерігається фазність реагування організму молюсків: байдужість, стимуляція, депресія, смерть. За гостролетальних концентрацій усіх досліджуваних металів ставковики проходять лише дві останні фази отруєння, які через декілька діб закінчуються смертю тварин. У діапазоні хронічних летальних концентрацій кількість

особин, що 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.

Розмірно-вагові характеристики та виживання молоді ставковика озерного. У показниках зміни висоти мушлі молоді чітко прослідковується тенденція до зниження темпів росту молодих ставковиків у токсичному середовищі. Усі отримані у дослідях середні значення висоти мушлі молоді є меншими від контрольних значень, за винятком показників, отриманих у розчинах сублетальних концентрацій Ni^{2+} та підпорогових та сублетальних концентрацій Mn^{2+} . Найсильніший токсичний вплив на розмірні характеристики молоді спричиняють іони кадмію, тут їх значення найменші (1,18-1,24±0,02 мм). У більшості з досліджених розчинів важких металів за впливу підпорогових і сублетальних концентрацій не спостерігається статистично вірогідної відмінності розмірно-вагових показників від контрольних значень, що говорить про певну стійкість означених показників до токсичного впливу. Проте з підвищенням концентрації токсиканту відбувається наростання інтоксикації, що відбивається і на лінійно-вагових показниках. Відхилення від контролю за масою тварин у розчинах хронічних летальних концентрацій сягають в окремих випадках 49, а за розмірами – 30%.

Відсоток молодих особин, які вижили у токсичному середовищі під час хронічного (30 діб) дослідження, завжди нижчий за контрольні значення незалежно від концентрації полутанту у середовищі. За впливу сублетальних концентрацій Ni^{2+} та підпорогових концентрацій Mn^{2+} величини показників виживання наближаються до 50%, а за впливу інших металів у деяких випадках виживання молодих ставковиків у 3-4 рази менше контрольних показників.

ОСОБЛИВОСТІ ТРОФІКИ СТАВКОВИКА ОЗЕРНОГО ЗА ДІЇ ІОНІВ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ

Результати досліджень показали, що розмах коливань значень величин середньодобового раціону (ВСР) та тривалості проходження корму через травний тракт (ТПК) становлять відповідно – 1,55–2,73% та 350–440 хв за впливу іонів міді; 1,65–3,45% та 341–483 хв – іонів кадмію; 2,52–4,94% та 396–477 хв – іонів нікелю; 1,05–2,92% та 338–467 хв – іонів цинку; 1,30–1,74% та 360–944 хв – іонів кобальту і 2,18–4,65% та 302–423 хв за впливу іонів марганцю. Дослідження живлення молюсків у діапазоні гостролетальних концентрацій не проводилося, оскільки тварини у цих розчинах майже (близько 7–9% від загальної кількості молюсків) або й зовсім не споживають корм.

За впливу іонів важких металів значення ВСР ставковика з підвищенням концентрації токсикантів знижується. Щоб якимось чином компенсувати мале споживання їжі, статистично вірогідно збільшується час проходження її через травний тракт молюсків. Зростання значень ТПК може лише частково

компенсувати прогресуюче падіння ВСР. І хоча через це тварини ще деякий час здатні протистояти впливові токсиканту, є очевидним, що подальше знаходження їх у отруєній важкими металами воді має призвести до загибелі особин. Високі концентрації іонів кобальту водного середовища призводять до майже повного паралічу кишкового і припинення його перистальтичної діяльності (значення ТПК зростає стрибкоподібно на 151,6 % щодо контролю). Кількість спожитого ставковиками за місяць корму прогресуюче знижується з підвищенням концентрації токсикантів.

Ставковик озерний за трофологічними показниками найбільш чутливий до впливу іонів нікелю та кобальту, а це розбігається з загальною токсичністю цих речовин, яка визначається за виживанням особин. Очевидно, що важкі метали, маючи загальний токсичний вплив на організми, можуть специфічно (сильніше або слабше) впливати на ті чи інші функціональні системи. Ці особливості можуть бути використані як тест-реакції у системі біомоніторингу стану природних вод.

ВПЛИВ ІОНІВ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ ВОДНОГО СЕРЕДОВИЩА НА РОЗМНОЖЕННЯ ТА РОЗВИТОК *Lymnaea stagnalis*

Вплив іонів важких металів на статеву поведінку. *L. stagnalis* – одночасний гермафродит. Наявність у воді іонів важких металів є одним із стресових чинників, який впливає на особливості копуляції цих тварин. У отруєному середовищі статева поведінка ставковиків відрізняється від такої у контролі і залежить як від природи іону, так і від концентрації його у воді. У розчинах найбільш токсичних іонів важких металів, якими є мідь та кадмій, кількість копуляцій у розчинах підпорогових та сублетальних концентрацій збільшується, що свідчить про прагнення організму таким чином “загасити” негативний вплив токсиканту. У розчинах хронічних летальних концентрацій цих поллютантів швидко настає депресивна фаза отруєння, що проявляється у зниженні числа коітусів. За впливу Cu^{2+} депресія настає уже у розчинах сублетальних концентрацій. У розчинах з Zn^{2+} спостерігається зворотна картина. Статева активність молюсків падає при невеликих концентраціях токсиканту у середовищі і різко збільшуючись за сублетальних концентрацій, залишається досить високою за хронічних летальних концентрацій. Кількість парвань тут у 3,6 рази більша, ніж у контролі, і тривалість копуляції подовжується, становлячи в середньому 1,74 год. Зі зменшенням загальної токсичності іонів металів, як то є у розчинах з Co^{2+} та Mn^{2+} , не спостерігається істотної різниці частоти копуляції ставковиків порівняно із контрольною групою тварин. Але встановлено, що іони марганцю стимулюють статеву поведінку молюсків, що проявляється у сильній активізації пошукової поведінки партнера. У діапазоні гостролетальних концентрацій у середньому майже 87% молюсків поводять себе як “самці”, але парвання не відбувається. У розчинах хронічних летальних концентрацій стресова дія токсиканту спочатку проявляється як у активізації статевої поведінки, так і у відкладанні

ставковиками аномальних порожніх синкапсул, які являють собою довгі слизові шнури довжиною 180 – 300 мм. Лише на 4 – 5 добу організм тварин справляється зі стресом, статева активність зменшується і молюски відкладають повноцінні кладки.

У лабораторних умовах, незалежно від концентрації іону в середовищі, найчастіше (77% від загального числа коїтусів) має місце “роздільностатева” копуляція. Спосіб парування, коли кожний із копулюючих молюсків поводить себе одночасно і як “самець”, і як “самка” найчастіше спостерігався за сублетальних концентрацій Cd^{2+} та Zn^{2+} із-за стимуляції статевої функції. Поодинокі випадки копуляції такого типу відмічено і в контролі. У розчинах підпорогових та сублетальних концентрацій Ni^{2+} та сублетальних концентрацій Cu^{2+} спостерігали копуляцію ланцюжком. Перевага такого типу копуляції у цих розчинах пояснюється стимуляцією фізіологічної активності чоловічого відділу статевої системи ставковиків.

Зменшення кількості парувань не завжди супроводжується подовженням коїтусу і навпаки. Статеві функції ставковиків хоча і є досить чутливою до впливу іонів важких металів, проте відгук молюсків є індивідуальним на кожен іон і не підлягає загальним закономірностям реагування гідробіонтів на токсичний вплив.

Деякі закономірності яйцекладки та особливості будови кладок у середовищі, що містить іони важких металів. Прісноводні молюски чутливі до хімічного складу середовища існування і реагують на високі концентрації іонів зменшенням яйцекладки, а за тривалого перебування у отруєному середовищі зовсім припиняють відтворення. Тривалість відкладання синкапсул ставковиком озерним у чистій воді в лабораторній культурі коливається в межах 16-23 хв. У токсичному середовищі за впливу сублетальних концентрацій іонів важких металів, за стимуляції статевої функції, тривалість овіпозиції дещо скорочується і становить 12-16 хв. З пригніченням репродукції у розчинах хронічних летальних концентрацій досліджуваних поліюгантів тривалість відкладання синкапсул подовжується (18-28 хв).

Протягом 70 днів дослідів групою контрольних тварин, які перебували у чистій воді, було відкладено у середньому 84 ± 7 синкапсули. Цей показник не перевищено за перебування ставковиків у жодному з розчинів шести досліджуваних іонів важких металів. Від 72 до 81% кладок було відкладено вночі. У розчинах з Cu^{2+} ($4 \cdot 10^{-8}$ мг/дм³), Ni^{2+} (усіх досліджуваних концентрацій), Zn^{2+} (0,005, 0,5 мг/дм³) кількість відкладених синкапсул перевищує 50% від контролю (52 – 66%). У решті розчинів цих та інших досліджуваних металів кількість відкладених молюсками синкапсул коливається від 44 до 14% порівняно з контрольною групою тварин.

Інтенсивність відкладання кладок ставковиками за час хронічного дослідів у більшості випадків відповідає динаміці зміни частоти парувань під час гострого 48-годинного експерименту. Деякі відміни пояснюються тим, що під час

тривалого перебування тварин у отруєному середовищі наступає їх відносна адаптація до токсичного впливу.

Довжина синкапсул *L. stagnalis* у розчинах іонів важких металів змінюється статистично вірогідно. У розчинах хронічних летальних концентрацій усіх шести металів довжина кладок у 1,2–1,3 рази менша від тих, що відкладені в контрольних розчинах. За впливу сублетальних концентрацій Cu^{2+} , Ni^{2+} , Mn^{2+} кладки дещо довші за контрольні, а в усіх розчинах підпорогових концентрацій і за впливу сублетальних концентрацій Cd^{2+} , Zn^{2+} , Co^{2+} значення довжини синкапсул у 1,1–1,2 рази менші за контрольні.

Середні величини довжини яйцевих капсул майже в усіх розчинах досліджуваних іонів менші контрольних значень у 1,1–1,2 рази. Виняток становлять собою лише розміри яйцевих капсул, відкладених у розчинах підпорогових та сублетальних концентрацій Zn^{2+} та хронічних летальних концентрацій Co^{2+} , де вони дещо більші за контрольні значення. У означених розчинах іонів кобальту яйцеві капсули найкрупніші (1,52 мм відносно 1,35 мм у контролі). Найменших розмірів (1,14 мм) яйцеві капсули відкладені ставковиками у розчинах хронічних летальних концентрацій іонів кадмію.

Характеристики розмірів синкапсул та кількості яйцевих капсул у кладці ставковиків є дуже мінливими. Коефіцієнт варіації для довжини синкапсул коливається в межах 15,04 – 46,51%, а для кількості яйцевих капсул – 14,51 – 46,98%. Використання означених характеристик у гідроекології як індикаторів функціонального стану організму за дії на нього токсичних речовин, може бути доцільним тільки за умови використання матеріалу великого об'єму; в іншому випадку дані можуть виявитися недостатньо точними.

Аномалії у будові синкапсул за дії іонів важких металів. Вплив важких металів на статеву систему ставковика призводить до послаблення гомеостатичної регуляції, що призводить до порушення узгодженості роботи її відділів і, як результат, до появи різних аномалій у будові синкапсул. Відхилення від нормальної морфології кладок яєць у розчинах важких металів різних концентрацій різноманітні за етіологією та проявами: відсутність яйцевих капсул у синкапсулі (рис. 1 А); слабка спіралізація тяжа з яйцевими капсулами (рис. 1 Б); багатозиготність яйцевих капсул (рис. 1 В, Ж); однорядне розміщення яйцевих капсул в синкапсулі (рис. 1 Г); зрощення кількох яйцевих капсул звичайного розміру в одну крупну (рис. 1 Д); відсутність яйцеклітини в яйцевій капсулі (рис. 1 Ж); мала кількість яйцевих капсул в синкапсулі (рис. 1 З); здвоєння яйцевих капсул (рис. 1 Е); наявність яйцевих капсул та яйцеклітин поза синкапсулою (рис. 1 Є).

Більшість порушень будови синкапсул належить до групи морфологічних аномалій, які не впливають на ембріогенез. Такі ж аномалії зустрічаються і в кладках контрольної групи тварин, проте їх відношення щодо кладок, отриманих у моллюсків за перебування в токсичному середовищі, становить у середньому 1:5.

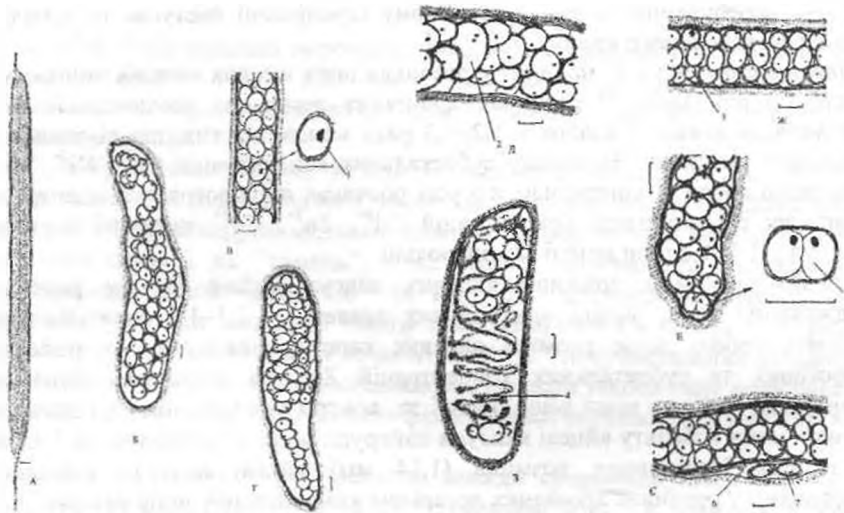


Рис. 1. Аномалії у будові синкапсул ставковика озерного:

А – відсутність яйцевих капсул у синкапсулі; Б – слабка спіралізація тяжа з яйцевими капсулами; В – багатозиготність яйцевих капсул; Г – деспіралізація стрічки з яйцевими капсулами; Д – зрощення кількох яйцевих капсул звичайного розміру в одну крупну; Ж – багатозиготність та відсутність яйцеклітин в яйцевих капсулах; З – зменшення кількості яйцевих капсул у синкапсулі; Е – здвоєння яйцевих капсул; Є – наявність яйцевих капсул та яйцеклітин поза синкапсулою. 1 – багатозиготність яйцевої капсули. 2 – зрощення яйцевих капсул в одну крупну; 3 – відсутність яйцеклітини в яйцевій капсулі; 4 – міжкапсульні тяжі; 5 – здвосні яйцеві капсули; 6 – яйцеклітини поза синкапсулою; 7 – яйцеві капсули поза синкапсулою.

Масштабна лінійка – 1 мм (ориг.).

За перебування молюсків у розчинах підпорогових концентрацій кількість аномалій у будові кладок дорівнює такому ж у контролі, що вказує на стійкість статеві системи при незначному впливові токсиканту. Кількість порушень у будові синкапсул зростає зі зростанням концентрацій політантів і за впливу розчинів хронічних летальних концентрацій іонів металів співвідношення показників у контрольної групи щодо отриманих у токсичному середовищі становить 1:7,5. Кількість аномалій не залежить від природи важких металів.

Явище зрощення яйцевих капсул у кладках ставковика обумовлене уповільненим проходженням окремих капсул через початковий відділ лабіринту яйцеводу, що призводить до їх тісного зіткнення і злиття внутрішніх мембран. Такі капсули покриваються однією шарувагою оболонкою. Блокування роботи лабіринту яйцеводу призводить до появи аномалії відсутності яйцевих капсул у

синкапсулі. Порушення спіралізації або трансформація спірального укладання яйцевих капсул в лінійне в кладках ставковика зумовлені прискоренням видалення тяжу з яйцевими капсулами із зони, де він укладається по спіралі і де формується макроструктура синкапсул.

Деякі морфологічні аномалії синкапсул ставковика впливають на протікання ембріогенезу та життєздатність зародків. Серед таких ми спостерігали розміщення яйцеклітин за межами яйцевих капсул, що викликане дисгармонією у функціонуванні гермафродитної залози і придаткових залоз яйцеводу (у першу чергу – білкової). Зменшення розмірів яйцевих капсул пов'язане з гіпофункцією білкової залози на початку або в кінці проходження потоку яйцеклітин, що овулювали, через квадрівій, а також прискореним виведенням яйцевих капсул із квадрівія. Дуже часто воно супроводжується відсутністю яйцеклітин у капсулах. Поява ущільнених міжкапсульних тяжів – наслідок зміни властивостей секретів, які виробляються придатковими залозами яйцеводу. При порушенні функції матки повністю непрозорими стають усі синкапсули.

Несправжня поліембріонія – явище, коли в одній яйцевій капсулі випадково опиняються дві або більше яйцеклітин, є звичайною в кладках ставковика озерного, проте за впливу токсикантів таке явище спостерігається на 28% частіше, ніж у контрольній групі тварин. Найбільша кількість таких аномалій виявлена у розчинах сублетальних концентрацій іонів кадмію та цинку, що можна пояснити інтенсивною овуляцією яйцеклітин, викликану активним паруванням молюсків. Розміри молюсків-близнюків завжди менші, ніж особин, які розвиваються поодиночі. У контрольних розчинах життєздатними виявляються тільки близнюки, що розвиваються всередині капсули попарно. За умов впливу важких металів (особливо за хронічних летальних та сублетальних концентрацій) така молодь виявляється нежиттєздатною, і це впливає на загальні показники виживання молоді ставковиків у токсичному середовищі. У розчинах підпорогових концентрацій іонів металів у синкапсулах, які містять двозиготні яйцеві капсули, є можливим народження життєздатної молоді (на 3-5 діб раніше звичайного строку). Проте така молодь, як правило, має менші розміри (наприклад, висота мушлі молоді, що розвивається з одностиготних яйцевих капсул в розчинах з Cd^{2+} у середньому становить $1,35 \pm 0,02$, а з двозиготних – $1,17 \pm 0,03$ мм; у розчинах з Zn^{2+} відповідно, $1,50 \pm 0,02$ і $1,21 \pm 0,02$ мм), слабку активність і низьку життєздатність, що рано чи пізно призводить до її загибелі.

Вплив іонів важких металів на тривалість ембріогенезу і вилуплення молоді. За оптимальних умов у лабораторних дослідженнях вихід із яйця у ставковиків відбувається переважно на 17-у добу. Важкі метали в залежності від концентрації прискорюють, або пригнічують розвиток ембріонів, а пізніше і молоді молюсків. Найбільші середні значення тривалості ембріогенезу (до 20 діб) спостерігаються у розчинах сублетальних концентрацій іонів кобальту та нікелю. У контрольних розчинах тривалість вилупову у середньому становить 6-7 діб, досягаючи у деяких випадках 8-9 діб. Тривалість вилупову молоді з підвищенням концентрації токсиканту зменшується порівняно з контролем і

становить 4-5 діб, хоча тривалість ембріонального розвитку при цьому збільшується.

За перебування синкапсул у розчинах сублетальних концентрацій важких металів кількість яйцевих капсул у 1,2 рази перевищує контрольні значення, але відсоток вилуплення молоді є значно нижчим контрольних показників. З підвищенням концентрації досліджуваних поліютантів (діапазон хронічних летальних концентрацій) токсичний вплив останніх наростає, що проявляється як у зниженні плідності, так і відсотку вилуплення молоді молюсків. Лише у розчинах Co^{2+} концентрацією $2,5 \text{ мг/дм}^3$ кількість яйцевих капсул перевищує контрольні значення, проте це зовсім не впливає на відсоток вилуплення молоді. За перебування у цих концентраціях до 27% усіх синкапсул не отримують подальшого розвитку (завмирають).

Загалом зі збільшенням концентрації важких металів спочатку, як відповідь на токсичний вплив, плідність зростає, але вона не перекидає смертності ембріонів у токсичному середовищі, і відсоток вилуплення молюсків зменшується, а пізніше, зі збільшенням концентрації іонів у середовищі, спостерігається пригнічення як плідності, так і народжуваності. Ступінь ушкодження статевих органів та гамет у більшій мірі залежить від концентрації іону металу та тривалості його впливу, і у меншій мірі – від природи іону.

МОРФОЛОГІЧНІ ТА БІОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ *L. STAGNALIS* ІЗ ЗОНИ РАДІОАКТИВНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ЗА УМОВИ УТРИМАННЯ У СЕРЕДОВИЩІ, ЩО МІСТИТЬ ІОНИ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ

Протягом 70 діб експерименту групою контрольних тварин, узятих із умовно чистої водойми, загалом було відкладено у 1,5 рази більше кладок, ніж молюсками із неблагополучної щодо радіонуклідів водойми. Ставокники із радіаційної зони, вміщені у розчини з Zn^{2+} , Co^{2+} , Mn^{2+} усіх досліджуваних концентрацій, відкладають у 1,8-2 рази меншу кількість синкапсул. Найменшу кількість синкапсул виявлено у розчинах підпорогових концентрацій Zn^{2+} (12 ± 1), де, очевидно, дуже повільно включаються механізми адаптації, та в розчинах хронічних летальних концентрацій Co^{2+} (9 ± 1), де отруєння тварин швидше, ніж у розчинах інших металів, сягає своєї межі. Найбільшу кількість синкапсул відкладено у розчинах Ni^{2+} усіх досліджуваних концентрацій.

Довжина синкапсул відкладених ставковиками із зони радіоактивного забруднення, змінюється незначно, але все ж таки ці молюски здебільшого утворюють кладки дещо менших розмірів, порівняно з контрольною групою тварин. Статистично вірогідні відмінності означеного показника спостерігаються лише за впливу сублетальних та хронічних летальних концентрацій іонів цинку.

За впливу токсикантів яйцеві капсули, відкладені молюсками з р. Лозниця (II зона радіоактивного забруднення), мають здебільшого менші розміри порівняно з контрольними значеннями. У розчинах, що містять іони кобальту усіх досліджуваних концентрацій, розміри яйцевих капсул вірогідно менші

контрольних. Таке ж спостерігається за впливу підпорогових та хронічних летальних концентрацій Zn^{2+} і Cu^{2+} , та підпорогових концентрацій Cd^{2+} .

Частота зустрічальності майже всіх тератогенних порушень у синкапсулах відкладених ставковиками із зони радіоактивного забруднення є у 1,5-2 рази більшою.

Тривалість ембріогенезу подовжується у ставковиків з р. Лозниця за перебування їх у розчинах важких металів у середньому на 1-2 доби, але молодь залишає синкапсули інтенсивніше (тривалість вильову становить 3-5 діб).

Кількість яйцевих капсул у синкапсулах ставковиків із радіаційної зони, які перебували у розчинах різних концентрацій важких металів, вірогідно зменшується у 1,5-2,3 рази. Це, у свою чергу, зменшує показники вилуплення молоді. Однією з причин зменшення кількості яйцевих капсул у кладках ставковика може бути порушення спіралізації, коли яйцеві капсули укладаються у синкапсулах пухко. Через це, при такій же як у контрольній групі тварин довжині кладок, яйцевих капсул у них майже вдвічі менше.

Значення показників вилуплення молоді є в середньому у 1,5 рази меншими за отримані у контролі. Найнижчі їх значення отримано у розчинах з Co^{2+} , де вони є меншими у 1,7-1,8 рази. Стимуляційної дії розчинів сублетальних концентрацій важких металів, яка мала місце у попередніх дослідженнях, у цих експериментах не відмічено. Підпорогові концентрації іонів важких металів водного середовища не можна вважати недіючими: відсоток вилуплення ювенільних особин у таких розчинах у 1,3-1,5 рази менший за контрольні значення. Розмиваються також межі у реагуванні на сублетальні та хронічні летальні концентрації, останні уже не виступають як такі, котрі виключно стійко пригнічують вилуплення молоді.

Усі середні значення висоти мушлі молоді ставковиків при їх народженні є меншими за такі характеристики для молоді, отриманої з кладок молюсків з умовно чистої зони, хоча динаміка змін цього показника є загальною для обох випадків.

За подальшого тривалого (до 60 діб) утримання новонароджених молюсків у токсичному середовищі спостерігали за змінами їх лінійного росту та загальної маси тіла. Помічено, що і ці показники, отримані за сумісного впливу двох негативних чинників навколишнього середовища (іонізуюче випромінювання – опосередкований вплив, важкі метали – пряма дія), виявляються нижчими за такі, отримані за впливу на молодь самих лише токсикантів хімічної природи. Загалом за впливу усіх досліджуваних іонів важких металів молодь ставковиків росте і набирає вагу повільніше, ніж у дослідженнях, де враховувалася дія лише одного з цих негативних чинників.

Показники росту тих молодих ставковиків, які перебували у розчинах з Cu^{2+} , Ni^{2+} , Co^{2+} , є вірогідно меншими за контрольні значення. За впливу Cd^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} водного середовища чітко прослідковується тенденція до уповільнення темпів росту ювенільних особин. Найбільш сприйнятливими до

токсичного впливу виявляються молоді ставковики, що перебувають у розчинах з Cd^{2+} : тут показники висоти мушлі виявляються найнижчими.

Ювенільні особини, народжені від *L. stagnalis* із зони радіоактивного забруднення, за ваговими характеристиками виявляються більш чутливими до токсичного середовища, ніж за показниками висоти мушлі. Уже в розчинах підпорогових концентрацій іонів важких металів значення середніх показників загальної маси тіла молоді виявляються вірогідно меншими за контрольні значення у 1,2-1,4 рази.

З підвищенням концентрації токсиканту відсоток молодих ставковиків, які залишаються живими до кінця досліду, прогресуюче зменшується. За впливу на молодь сублетальних та хронічних летальних концентрацій Cd^{2+} , сублетальних концентрацій Ni^{2+} та Zn^{2+} показники виживання молоді ставковиків є нижчими, ніж такі, отримані у моллюсків, які зазнавали впливу лише самих важких металів, що свідчить про ослаблення організму молодих тварин.

За динамікою зміни біологічних показників можна зробити висновок про синергізм радіаційного чинника та іонів важких металів. На нашу думку, іонізуюче опромінення є обтяжуючим чинником для тварин, які зазнають впливу іонів важких металів: ослаблюється організм дорослих ставковиків, і навіть при опосередкованому впливові спостерігаються негативні зміни в ембріонах та організмі ювенільних особин.

ВИСНОВКИ

У дисертації здійснене теоретичне узагальнення основних закономірностей впливу іонів важких металів (Cu^{2+} , Cd^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , Co^{2+} , Mn^{2+}) на ріст, розмноження і розвиток ставковика озерного. Проведено системне дослідження впливу означених токсикантів та радіаційного опромінення на морфофункціональні та біологічні характеристики *L. stagnalis*. З'ясовано зміни цих характеристик за підвищення вмісту металу-токсиканту в середовищі. Показано наявність зв'язку динаміки цих змін залежно від стану організму тварини, природи іону металу, його концентрації та тривалості токсичного впливу.

1. За сукупністю основних токсикологічних показників для *L. stagnalis*, підданих дії іонів важких металів водного середовища, останні утворюють такий ряд у порядку зменшення рівня токсичності: $Cu^{2+} > Cd^{2+} > Ni^{2+} > Zn^{2+} > Co^{2+} > Mn^{2+}$. З них високотоксичними є Cu^{2+} , сильнотоксичними – Cd^{2+} і Ni^{2+} , помірнотоксичними – Zn^{2+} , слабкотоксичними – Co^{2+} і Mn^{2+} .

2. Виживання 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 іонів важких металів ставковики проходять дві останні фази отруєння. Розчини сублетальних концентрацій спричиняють стимулюючу дію на ставковиків.

3. У *L. stagnalis* під впливом іонів важких металів порушуються ріст розмноження, і розвиток. Найбільш чутливим до зміни складу середовища лінійним показником є товщина мушлі, найменш чутливим – висота мушлі. Вплив іонів важких металів призводить до збільшення (на 20-40%) загальної маси тіла ставковиків, викликаного його гідратацією і зменшенням (на 10-20%) маси сухого залишку.

4. Депресія живлення і, відповідно, сильне уповільнення росту тварин спостерігаються за впливу хронічних летальних концентрацій поллютантів. За таких умов патологічні процеси переважають над захисно-приспосувальними, що призводить до зниження величин середньодобового та середньомісячного раціонів і тривалості проходження корму через травний тракт. За впливу сублетальних концентрацій важких металів зменшення споживання корму супроводжується подовженням тривалості знаходження корму у травному тракті молюсків. Ставковик озерний за трофологічними показниками найбільш чутливий до дії Ni^{2+} і Co^{2+} .

5. Іони важких металів порушують фізіологічну рівновагу в організмі ставковика і викликають зміни у функціонуванні репродуктивної системи. Частота парувальних молюсків найбільша (у 2,5-3,6 рази відносно контрольних значень) у розчинах сублетальних концентрацій Cd^{4+} і Zn^{2+} . “Роздільностатєва” копуляція за токсичного впливу становить 77% від загального числа парувальних. Найяскравіші етологічні зміни (сильна активація пошукової поведінки партнера) у репродуктивний період спостерігаються за впливу Mn^{2+} .

6. Ушкодження механізмів регуляції розмноження ставковиків з підвищенням концентрації поллютанту у середовищі призводить до зростання плідності (у 1,2 рази) і зменшення відсотку вилуплення молюсків із кладок (на 15-26%) порівняно з контролем. За хронічних летальних концентрацій пригнічуються як плідність, так і народжуваність. Аномалії у будові синкапсул ставковика у розчинах сублетальних концентрацій іонів важких металів зустрічаються у 5 разів частіше, а в розчинах хронічних летальних концентрацій – у 7,5 разів частіше, ніж у контрольній групі. За впливу хронічних летальних концентрацій важких металів до 20-27% синкапсул завмирають.

7. Найбільші середні значення тривалості ембріогенезу (20 ± 1 діб) спостерігаються у розчинах сублетальних концентрацій Ni^{2+} і Co^{2+} ; найменші – за впливу хронічних летальних концентрацій Co^{2+} (12 ± 3 діб). Значення лінійно-вагових показників молоді ставковиків знижуються з підвищенням концентрації поллютантів. За впливу сублетальних концентрацій іонів важких металів показники виживання ювенільних особин у 3-4 рази нижчі контрольних. У розчинах хронічних летальних концентрацій Co^{2+} та Mn^{2+} гине 80-90% молоді.

8. Іонізуюче опромінення є обтяжуючим чинником для тварин, які піддаються дії токсичного середовища. Спостерігається синергізм радіаційного чинника та іонів важких металів водного середовища на репродуктивну систему і ріст ювенільних особин ставковика озерного. Значення біологічних показників за таких умов виявляються меншими отриманих для тварин контрольної групи.

9. Кількісні характеристики росту, розмноження та розвитку ставковика озерного досліджені в дисертації відображають токсикологічну ситуацію середовища і можуть бути рекомендовані як біологічні критерії токсичності при біогестуванні у системі екологічного моніторингу рівня забруднення природних вод іонами важких металів.

ПУБЛІКАЦІЇ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Пінкіна Т.В. Оцінка дії хлориду марганцю водного середовища на особливості репродукції і розвитку ставковика озерного (*Mollusca, Gastropoda, Pulmonata, Lymnaeidae*) // Вісник ДАУ: Наук.-теор. зб. – Житомир, 2003. – № 2. – С. 59-65.
2. Пінкіна Т.В. Вплив хлориду цинку на розмноження та розвиток ставковика озерного (*Mollusca, Gastropoda, Pulmonata, Lymnaeidae*) // Вісник Львів. ун-ту: Сер. біологічна. – вип. 35. – 2004. – С. 185-189.
3. Пінкіна Т.В. Реагування репродуктивної системи ставковика озерного на вплив різних концентрацій хлориду міді // Вісник ДАУ: Наук.-теор. зб. – Житомир, 2004. – № 1. – С. 127-133.
4. Пинкина Т.В. Влияние ионной формы кадмия на размножение и развитие прудовика озерного (*Lymnaea stagnalis L.*) // Гидробиол. журн. – 2005. – Т. 41, № 5. – С. 76-83.
5. Стадниченко А.П., Пінкіна Т.В. Екотоксикологічна характеристика ставковика озерного за дії на нього хлориду кадмію водного середовища // Вісник ДАУ: Наук.-теор. зб. – Житомир, 2004. – № 1. – С. 127-133. (Дисертантом зібрано і опрацьовано матеріал, оформлено статтю. Загальний внесок – 50%).
6. Пінкіна Т.В. Поведінкові, морфологічні та фізіологічні реакції ставковика озерного (*Mollusca, Gastropoda, Pulmonata, Lymnaeidae*) за впливу на нього іонів важких металів водного середовища // Наук. часопис НПУ ім. М.П. Драгоманова: Серія 20, Біологія, - вип.1 (1). - К., 2005. – С. 160-172.
7. Пинкина Т.В. Реагирование репродуктивной системы прудовика озерного на воздействие различных концентраций хлорида кобальта // Природничий альманах: Сер. біологічна. - вип. 7. – Херсон, 2006. – С. 177-185.
8. Пінкіна Т.В., Гирин В.К., Іваненко Л.Д., Мокрицька А.М., Мостіпака О.А., Павлюченко О.В. Червоногі легеневі молюски (*Mollusca, Gastropoda, Pulmonata*) в системі біологічного моніторингу // Вісник Житомир. пед. ун-ту. – 2002. – вип. 10. – С. 185-187. (Дисертантом опрацьовано матеріал щодо репродукції пульмонат. Загальний внесок – 40%).
9. Пінкіна Т.В. Оцінка дії хлориду нікелю на особливості репродукції та розвитку ставковика озерного (*Mollusca, Gastropoda, Pulmonata, Lymnaeidae*) // Еколого-функціональні та фауністичні аспекти дослідження молосків. їх роль у біоіндикації стану навколишнього середовища: Зб. наук. пр. – Житомир: Волинь, 2004. – С. 147-150
10. Пінкіна Т.В. Вплив солей важких металів на морфофізіологічні особливості, розмноження та розвиток ставковика озерного / Житомир. наук. малакологічна шк.: Наук. зб. / За ред. Стадниченко А.П. – Житомир: Вид-во ЖДУ ім. І Франка, 2005. – С. 173-176.

11. Пінкіна Т.В., Пінкін А.А. Трофологічні характеристики ставковика озерного із зони радіоактивного забруднення за умови утримання у середовищі затруєному іонами важких металів // Еколого-функціональні та фауністичні аспекти дослідження моллюсків. Їх роль у біоіндикації стану навколишнього середовища: Зб. наук. пр. – Житомир: Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2006. – Вип. 2. – С. 222-226.
12. Стадниченко А.П., Вискушенко Д.А., Пінкіна Т.В. Показники фізіологічного статусу зоологічних тест-об'єктів у системі екологічного моніторингу // Зоологічні дослідження в Україні на межі тисячоліть: тези Всеукр. зоол. конф. – Кривий Ріг: І. В. І. – 2001. – С. 24-26. (Дисертантом досліджено швидкі фізіологічні реакції *L. stagnalis* у токсичному середовищі і опрацьовано матеріал. Загальний внесок – 40%).
13. Пінкіна Т.В. Вплив антропогенного забруднення водойм солями важких металів на мінеральний обмін *Lymnaea stagnalis* // Вода: проблеми і шляхи вирішення: Мат. наук.-практ. конф. – Житомир, 2003. – С. 40-41.
14. Пінкіна Т.В., Бондарчук О.М., Єрошина О.А., Гурчин Д.С. Зміни в процесах репродукції та розвитку ставковика озерного за умови впливу солей важких металів // Вода: проблеми і шляхи вирішення: Мат. наук.-практ. конф. – Житомир, 2003. – С. 42-48. (Дисертантом розроблена методика дослідження, оброблено результати, підготовлено статтю. Загальний внесок – 60%).
15. Котюк Л.А., Пінкіна Т.В. Використання ставковика озерного як індикатора впливу солей важких металів в екологічному моніторингу // Мат. VII Міжнар. наук.-практ. конф. – Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2004. – С. 60. (Дисертантом проведено дослідження, зроблено узагальнення, підготовлено і оформлено статтю. Загальний внесок – 60%).
16. Пінкіна Т.В., Гурчин Д.С. Результати досліджень реагування репродуктивної системи ставковика озерного на різні рівні інтоксикації солями важких металів // Проблеми відтворення та охорони біорізноманіття України (до 115-ї річниці М.І. Гавриленка): Мат. Всеукр. студ. наук.-практ. конф. – Полтава, 2004. – С. 163-164. (Дисертантом проведена статистична обробка отриманих результатів, зроблено висновки, оформлено статтю. Загальний внесок – 70%).
17. Пінкіна Т.В., Корбут О.І., Лысюк Т.Ф. Ответные реакции репродуктивной системы *Lymnaea stagnalis* на действие тяжелых металлов // Научный потенциал світу: Мат. I Міжнар. наук.-практич. конф. – Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2004. – Т. 1. – Біологія. – С. 57-58. (Дисертантом розроблено методику дослідження, оброблено результати, оформлено статтю. Загальний внесок – 70%).
18. Пінкіна Т.В., Бондарчук О.М., Єрошина О.А., Масенюк І.В., Гурчин Д.С. Дослідження токсичності іонів важких металів для ставковика озерного (вплив на репродукцію) // Наука. Молодь. Екологія. – 2004: Мат. наук.-практ. конф. – Житомир: Вісник ПМАН. – 5/04. – С. 4-5. (Дисертантом оброблено фактичний матеріал, оформлено статтю. Загальний внесок – 70%).
19. Пінкіна Т.В., Лысюк Т.Ф., Корбут О.І., Бурилко І.В. Етологічні особливості ставковика озерного (*Mollusca: Gastropoda: Pulmonata: Lymnaeidae*) за впливу на нього іонів важких металів водного середовища // Молодь і поступ біології: Тези доп. Перш. міжнар. конф. студ. та аспір. – Львів: Сполом, 2005. – С. 77-78. (Дисертантом описано поведінку тварин у токсичному середовищі, підготовано статтю. Загальний внесок – 60%).

20. Pinkina T.V. The peculiarities of *Lymnaea stagnalis* reproduction and development under the influence of heavy metal ions // XXI Krajowe Seminarium Malakologiczne. – Toruń-Ciechocinek, 2005. – P. 31.
21. Стадниченко А.П., Пінкіна Т.В. Етологічні особливості ставковика озера у середовищі затруєному іонами важких металів // Наука і освіта, 2005: Мат. VIII Міжнар. наук.-практ. конф. – Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2005. – Т. 17. – Екологія. – С. 85-86. (Дисертантом проведено дослідження, підготовано статтю. Загальний внесок – 50%).
22. Пинкина Т.В., Корбут О.И., Лысюк Т.Ф. Влияние интоксикации хлоридом кадмия на этологические особенности прудовика озера в репродуктивный период // Актуальные проблемы экологической физиологии, биохимии и генетики животных: Мат. Междунар. науч. конф. – Саранск: Изд-во Мордовского ун-та, 2005. – С. 180-181. (Дисертантом описано репродуктивну поведінку, зроблено узагальнення, оформлено статтю. Загальний внесок – 60%).
23. Пінкіна Т.В., Лисюк Т.Ф., Корбут О.І., Бурилко І.В., Гурчин Д.С. Вплив іонів важких металів водного середовища на фізіологічні реакції ставковика озера (*Mollusca: Gastropoda: Pulmonata: Lymnaeidae*) // Сучасні проблеми екології: Мат. II Міжвуз. конф. студ. аспір. та мол. вчених. – Житомир, 2005. – С. 16-20. (Дисертантом проведено дослідження, опрацьовано матеріал, оформлено статтю. Загальний внесок – 70%).
24. Пінкіна Т.В. Особливості реагування статевої системи *Lymnaea stagnalis* на забруднення середовища важкими металами та перспективи їх використання при біотестуванні // Тези XXX наук. конф. присвяч. 45-ій річч. ЖДТУ. – Житомир, 2005, С. 79-80.
25. Пінкіна Т.В., Лисюк Т.Ф., Савчук І.М., Гурчин Д.С., Пінкіна А.А. Вживання ставковика озера у середовищі затруєному іонами важких металів як критерій стійкості організму // Молодь і поступ біології: Тези доп. Другої міжнар. конф. студ. та аспір. – Львів, 2006. – С. 215-216. (Дисертантом оброблено фактичний матеріал, сформульовано висновки, оформлено статтю. Загальний внесок – 70%).
26. Пінкіна Т.В., Лисюк Т.Ф., Пінкіна А.А. Вплив іонів важких металів на розмірно-вагові характеристики ставковика озера // Сучасні проблеми екології: Мат. III Міжвуз. конф. студ. аспір. та мол. вчених. – Житомир, 2006. – С. 47-49. (Дисертантом проведено дослідження, оброблено результати, підготовлено статтю. Загальний внесок – 80%).
27. Пінкіна Т.В., Лисюк Т.Ф., Савчук І.М., Гурчин Д.С., Пінкіна А.А. Доцільність використання безхребетних тварин у системі біомоніторингу // Біоетика: сучасний стан та перспективи розвитку: Мат. Всеукр. наук.-практ. конф. – Полтава, 2006. – С. 252-253. (Дисертанту належить розробка ідеї досліджень, підготовка матеріалу до друку. Загальний внесок – 50%).

АНОТАЦІЯ

Пінкіна Т.В. Вплив іонів важких металів водного середовища на ріст, розмноження і розвиток ставковика озерного (*Mollusca, Pulmonata*). – Рукопис. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата біологічних наук зі спеціальності 03.00.17 – гідробіологія. – Інститут гідробіології НАН України, Київ, 2006.

Дисертація присвячена дослідженню впливу іонів важких металів на морфологічні та біологічні характеристики *Lymnaea stagnalis*. Встановлено основні екотоксикологічні показники ставковика озерного за дії на нього різних концентрацій Cu^{2+} , Cd^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , Co^{2+} , Mn^{2+} водного середовища та діапазони гостролетальних, хронічних летальних, сублетальних та підпорогових концентрацій токсикантів. Визначено ступені токсичності досліджуваних речовин. Досліджено вплив іонів важких металів на розмірно-вагові характеристики і виживання молюсків та їх молоді. Виділено лінійні показники, які найбільш чутливі до зміни токсичності. Знайдено чутливі етологічні реакції ставковика озерного в репродукційний період за перебування його у отруєному середовищі. Визначено частоту і тривалість паруваль. Проведено порівняльне вивчення стійкості структур синкапсул молюсків, виявлено особливості їх будови, фізіології формування та встановлено частоту появи вад розвитку за різних рівнів інтоксикації іонами важких металів. Відзначено більшу чутливість ембріонів та ювенільних особин до токсичного впливу. Виявлено відмінності у темпах народжуваності та в кількісних характеристиках вилуплення молоді ставковика озерного у розчинах різних концентрацій забрудників. Проведено комплексне дослідження з вивчення опосередкованого впливу іонізуючої радіації та безпосереднього впливу іонів важких металів на морфологічні та біологічні характеристики ставковика озерного.

Ключові слова: ставковик, важкі метали, токсичність, репродукція, синкапсула, тератогенні порушення, ріст, розвиток.

АННОТАЦИЯ

Пинкина Т.В. Влияние ионов тяжелых металлов водной среды на рост, размножение и развитие прудовика озерного (*Mollusca, Pulmonata*). – Рукопись. Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности 03.00.17 – гидробиология. – Институт гидробиологии НАН Украины, Киев, 2006.

Диссертация посвящена исследованию влияния ионов тяжелых металлов на морфологические и биологические характеристики *Lymnaea stagnalis*. Установлены основные экотоксикологические показатели прудовика озерного под влиянием на него разных концентраций Cu^{2+} , Cd^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , Co^{2+} , Mn^{2+} водной среды и диапазоны остролетальных, хронических летальных, сублетальных и подпороговых концентраций токсикантов. Подтверждена

высокая лабильность организма прудовика: диапазон концентраций от остролетальных до подпороговых у них широк. Определены степени токсичности исследуемых ионов: высокотоксичные – ионы меди, сильнотоксичные – кадмия и никеля, умеренно токсичные – цинка, слаботоксичные – ионы марганца и кобальта. Гибель животных в растворах остролетальных концентраций происходит в течение первых суток воздействия вследствие поражения тканей и систем органов. Хронические летальные концентрации токсикантов резко угнетают размножение прудовиков. Растворы тяжелых металлов в диапазоне сублетальных концентраций оказывают стимулирующее действие на репродуктивную систему моллюсков и, в целом, на выживание взрослых особей и молоди. Влияние токсикантов в диапазоне подпороговых концентраций нельзя считать безопасным вследствие кумулятивных свойств тяжелых металлов – с удлинением времени воздействия они переходят в разряд сублетальных. Исследовано влияние ионов тяжелых металлов на размерно-весовые характеристики моллюсков и их потомства. Установлено соответствие между изменениями массы тела и высоты раковины моллюсков. Выделены линейные показатели, которые наиболее чувствительны к изменению токсичности. Показано уменьшение основных трофологических показателей моллюсков с увеличением концентрации тяжелых металлов. Уменьшение в растворах сублетальных концентраций количества потребляемой прудовиками пищи отчасти компенсируется удлинением времени нахождения пищи в пищеварительном тракте. Найдены чувствительные этологические реакции прудовиков в репродуктивный период при нахождении их в загрязненной среде. Определены частота и продолжительность спариваний. Проведено сравнительное изучение стойкости структур синкапсул моллюсков, установлены особенности их строения, физиологии формирования и определена частота появления нарушений развития при разных уровнях интоксикации ионами тяжелых металлов. Выяснено, что эмбрионы и ювенильные особи более чувствительны к токсическому влиянию, чем взрослые животные. Выявлены отличия в темпах отрождения и в количественных характеристиках вылупления молоди прудовика озонного в растворах разных концентраций загрязнителей. Проведено комплексное исследование – по изучению опосредованного влияния ионизирующей радиации и прямого влияния ионов тяжелых металлов на биологические характеристики прудовика. Установлено, что облучение выступает отягчающим фактором для животных, находящихся в загрязненных тяжелыми металлами средах. Обоснована возможность использования показательных изменений основных биологических характеристик прудовика для оценки качества водной среды.

Ключевые слова: прудовик, тяжелые металлы, токсичность, репродукция, синкапсула, тератогенные нарушения, рост, развитие.

SUMMARY

Pinkina T.V. The influence of heavy metal ions of water environment on the growth, propagation and evolution of *Lymnaea stagnalis* (Mollusca, Pulmonata).
– Manuscript. Thesis for the candidate degree of biological sciences in the speciality 03.00.17 – hydrobiology. – Institute of Hydrobiology, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, 2006.

The thesis is dedicated to the investigation of the effects of heavy metal ions on morphological and biological characteristics of *Lymnaea stagnalis*. The fundamental ecotoxicological indices of *Lymnaea stagnalis* effected by various concentrations of Cu^{2+} , Cd^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , Co^{2+} and Mn^{2+} water environment and the ranges of acute – and chronically lethaled, transferred and subthreshold toxicant concentrations as well as the degree of toxicity of ions covered have been determined. The effect of heavy metal ions on dimensional and weight characteristics and the survival of the mollusks' adults and their youngs has been studied. The linear indices varying considerably with toxicity have been distinguished. There is a striking correlation between the feeding depression and the growth delay of animals under high toxicant concentration. A fall in essential trophological characteristics of mollusks with increase in heavy metal concentration has been shown. There have been determinate sensitive ethological responses of *Lymnaea stagnalis* at their reproductive period in the polluted environment. The studies have been made into structural stability of mollusks' cincinnule, the peculiarities of their texture and formation physiology as well as an incidence of evolution disturbances at different intoxication levels by heavy metal ions. It has been found that the embryos and juveniles are more sensitive to toxicity than the adults with increasing the dose load on their organism. Careful investigations have revealed an outstanding distinction in the birth – rate and the quantitative characteristics of *Lymnaea stagnalis*' juvenile hatching in the solutions of different pollutant concentrations. A complex investigation has been made on studying the mediocre effect of ionized radiation and direct impact of heavy metal ions on morphological and biological characteristics of *Lymnaea stagnalis*.

Key words: *Lymnaea stagnalis*, heavy metals, toxicity, reproduction, cincinnule, teratogenic disturbance, growth, evolution.