

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет лісового господарства та екології
Кафедра біоресурсів, аквакультури та природничих наук

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Хижняк Владислав Дмитрович

УДК _____

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ОЦІНКА БІОАКУМУЛЯЦІЇ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ ДЕЯКИМИ ГІДРОБІНТАМИ
ЯК ОСНОВА ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ВОДОЙМИ

207 Водні біоресурси та аквакультура

(шифр і назва спеціальності)

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр.

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

В.Д. Хижняк

(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи
Соломатіна В.Д.

(прізвище, ім'я, по батькові)

Д-р. біол. н., професор

(науковий ступінь, вчене звання)

Житомир - 2023

АННОТАЦІЯ

Хижняк В.Д. Оцінка біоаккумуляції важких металів деякими гідробіонтами як основа для моніторингу екологічного стану водойми. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавра за спеціальністю 207 – водні біоресурси та аквакультура. – Поліський національний університет, Житомир, 2023.

Зміст анотації: Кваліфікаційна робота містить 32 сторінки, 7 таблиць, 4 рисунки. Список використаних джерел налічує 25 позицій.

Об'єктом дослідження є біоаккумуляція важких металів гідробіонтами.

Мета дослідження полягала у визначенні закономірностей біоаккумуляції та поширення важких металів по трофічних мережах, використання іхтіофауни як об'єкта для оцінки якості водного середовища

В Розділі 1 наведено аналітичний огляд літератури за темою кваліфікаційної роботи; в Розділі 2 – програма, методика та умови проведення дослідження; в Розділі 3 – представлені результати експериментальних досліджень.

Ключові слова: важкі метали, гідробіонти, лящ, окунь, плоскирка, плітка.

ABSTRACT

Khizhnyak V.D. Assessment of bioaccumulation of heavy metals by some hydrobionts as a basis for monitoring the ecological state of the water body. - Qualification work on manuscript rights.

Qualification work for obtaining a bachelor's degree in specialty 207 - water bioresources and aquaculture. – Polis National University, Zhytomyr, 2023.

Content of the abstract: The qualification work contains 32 pages, 7 tables, 4 figures. The list of used sources has 25 items.

The object of research is the bioaccumulation of heavy metals by hydrobionts.

The purpose of the study was to determine the patterns of bioaccumulation and distribution of heavy metals in trophic networks, the use of ichthyofauna as an object for assessing the quality of the aquatic environment

Chapter 1 provides an analytical review of the literature on the topic of qualification work; in Section 2 – the program, methodology and conditions of the research; Section 3 presents the results of experimental studies.

Key words: heavy metals, hydrobionts, bream, perch, flatfish, gossip.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ І. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	8
РОЗДІЛ ІІ. ПРОГРАМА, МЕТОДИКА ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ПРЕДМЕТУ ДОСЛІДЖЕННЯ	15
2.1. Програма досліджень.....	15
2.2. Методика проведення досліджень.....	15
2.3. Характеристика предмету дослідження.....	17
РОЗДІЛ ІІІ. БІОАКУМУЛЯЦІЯ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ ДЕЯКИМИ ГІДРОБІОНТАМИ ЯК ОСНОВА ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ВОДОЙМИ	19
3.1. Біоаккумуляція важких металів рибами в річці Тетерів.....	19
3.2. Біоаккумуляція важких металів рибами в річці Гнилоп'ять.....	23
ВИСНОВКИ	28
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	30

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Основною проблемою сучасного світу є забруднення навколишнього середовища різними поллютантами природного та штучного походження. Цей процес неминучий у наших реаліях, і перед людьми часто стоїть вибір між збереженням природної цілісності або покращенням якості життя. Зараз ми не можемо говорити про вироблену систему збереження балансу між природою та людиною через обмеженість знань та технологій нашого часу. Дедалі більше з'являється місць, які піддаються антропогенному впливу. Такий вплив залишає відбиток у природному циклі і тривалий час може брати участь у кругообігу речовин. Збільшення кількості промислових підприємств, хімічних виробництв, полігонів, і навіть прогресуюча хімізація сільського господарства та інших, призводять до наростання кількості важких металів, які у всі географічні оболонки Землі з допомогою різних відходів. Тому важливою метою сучасної екології є виділення «еталонних» територій, на яких дія забруднювачів залишається мінімальною. Така територія необхідна виділення негативних ефектів від дії токсичних елементів порівняння забруднених районів.

За рейтингом регіонів, Житомирська область характеризується порівняно низьким рівнем викидів, утворенням відходів та незначним скидом стічних вод. Наш інтерес поширюється на виявлення локальних забруднень, які можуть призвести до загального погіршення екологічного стану регіону, а саме забруднення водойм важкими металами.

Інтегральним показником стану водного об'єкта є донні відклади. Вони є депонуючим середовищем, в якому можуть накопичуватися різні поллютанти, на відміну від води, де залпове забруднення дуже швидко сходить нанівець і може бути не зареєстроване в результаті регулярного моніторингу. Проте часто в умовах невисокого вмісту потенційних поллютантів, а також великих за розмірами об'єктів складно виділити незначне забруднення на локальній ділянці без повноцінного картування всіх донних відкладів. Використання даного середовища як об'єкту для моніторингу досить трудомісткий через велику кількість польових та лабораторних робіт. Тому, в рамках

моніторингу, необхідний такий інтегральний метод, який показував би стан всього об'єкта, мінімізувавши кількість проб і лабораторних визначень. Досі оцінка забруднення донних відкладів поліюгантами утруднена, оскільки відсутня нормативна база. Тому висновки про забрудненість здійснюються шляхом виявлення токсичної дії методом біоіндикації. Вміст важких металів у гідробіонтах може бути альтернативним інтегральним показником стану всього водного об'єкта. Ця методика може стати більш ефективною для швидкого виявлення екоотоксикантів на об'єкті в цілому.

Об'єкт дослідження – біоаккумуляція важких металів гідробіонтами.

Предмет дослідження – лящ, плоскирка, окунь, плітка, важкі метали.

Метою дослідження є визначення закономірностей біоаккумуляції та поширення важких металів по трофічних мережах, використання іхтіофауни як об'єкта для оцінки якості водного середовища.

Для досягнення мети були поставлені такі **завдання**:

1. Відбір та підготовка проб.
2. Виявлення важких металів у м'язовій тканині та печінці риб.
3. Аналіз даних. Висновок про характер накопичення важких металів у рибі.
4. Визначення фонових значень важких металів у рибі річок Тетерів та Гнилоп'ять.
5. Визначення можливості використання гідробіонтів для екологічного моніторингу.

Наукова новизна. Вперше проведено комплексне дослідження біоаккумуляції важких металів м'язовими тканинами та печінкою таких риб: лящ, окунь, плоскирка, плітка. Здійснено біотестування проб поверхневих вод за допомогою гідробіонтів.

Вперше досліджено вміст мікроелементів (Pb, Cu, Zn, Ni, Cr) в рибі річок Тетерів та Гнилоп'ять.

Практичне значення роботи. Результати досліджень дають змогу судити про проходження супертоксикантів у тваринні організми для вироблення регіональних нормативів утримання їх у воді та використання отриманих даних в екомоніторингу України.

Структура та обсяг кваліфікаційної роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, практичних рекомендацій, списку використаних джерел. Робота викладена на сторінках, містить таблиці і рисунків. Список літератури становить найменувань.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Спосіб поділу хімічних елементів на важкі метали (ВМ) настільки різноманітний, що ми можемо відмітити велику кількість їх варіацій. Елементи поділяються за атомною масою, щільністю, токсичністю, поширенням в природі, часто металоїди також входять у цю групу. Важкі метали порушують фізичні та хімічні процеси, які відбуваються в тілі живих організмів [6].

У водних системах катіони важких металів представлені у зваженому (здебільшого переноситься саме ця форма), в дрібнодисперсному стані знаходяться в розчинених сполуках. У розчинах ВМ зустрічаються у вигляді вільних іонів або у складі комплексних сполук. В основному важкі метали концентруються в донних відкладах і в гідробіонтах. Важкі метали накопичуються в тканинах і органах гідробіонтів і стають токсичними, коли їх концентрація досягає певних порогових значень, які варіюють в залежності від хімічних властивостей металу, таксономічної належності, стадії життя організму, кормової бази, фізико-хімічних особливостей водойми, тривалості впливу та концентрації ВМ. Стійкість до забруднення залежить від генетичної структури популяції. Популяція має бути генетично різномірною, щоб мати здатність підлаштовуватися до змін умов навколишнього середовища [12, 18, 21].

Географічно обмежені популяції вразливі до інбридингу, демографічної стохастичності та генетичного дрейфу, що призводить до зниження еволюційного потенціалу і збільшення ймовірності вимирання. Донні відклади формують хімічний фон, який є першою ланкою в трофічному ланцюгу. Всі речовини, у тому числі й токсичні, надходять в організм риб переважно з їжею, проте через тонкі стінки зябер так само надходить велика кількість хімічних речовин. Концентрація ВМ може знижуватися з підвищенням трофічного рівня, винятком є ртуть [1-3, 6, 11, 13, 22].

Проте здебільшого спостерігається біомагніфікація, тобто збільшення концентрації важких металів на кожному рівні трофічного ланцюга. Слід зазначити, що риби, які знаходяться на вершині трофічного ланцюга, можуть акумулювати

високотоксичні речовини навіть у слабо забруднених умовах. За іншими джерелами метали в організмі риб розподіляються нерівномірно. Інтенсивність накопичення сполуки залежить від необхідної кількості елементів для нормальної життєдіяльності організму (дихання, виділення та ін.). Інформація про характер накопичення ВМ залишається неоднорідною. Також у різних видів риб з однієї і тієї ж водойми накопичення ВМ може відбуватися неоднаково. Прісноводні молюски беруть участь у трансформації, деструкції органічних речовин і міграції важких металів, через них проходять мікроелементи, які потім відкладаються в донних відкладах. За характером накопичення важкі метали розподіляють на ті, які рівномірно розподіляються і локально концентруються. Накопичення відбувається в багатьох органах і тканинах організмів водної біоти (найчастіше в печінці, нирках, селезінці). Закономірності біоаккумуляції ВМ визначаються фізико-хімічними властивостями водойми та сезонністю. Токсичний вміст ВМ має руйнівну дію на популяцію риб, оскільки впливають на темпи росту, здатність виживання та морфологічні ознаки. Важкі метали негативно впливають на різні метаболічні процеси в рибах, що призводить до затримок розвитку або загибелі найбільш чутливих особин. Важкі метали накопичені в зябрах впливають на процес дихання і осморегуляцію, викликає клітинне ушкодження зябер. Рейтинг комуляції важких металів наступний: >Pb>Cu>Cd>Hg, нікель так само стоїть після заліза за характером накопичення. Цей порядок показує які метали найбільше накопичуються в організмі. Таким чином, концентрації свинцю і цинку можуть бути досить високими в порівнянні з іншими потенційними забруднювачами. Вплив токсичних концентрацій пріоритетних речовин, таких як: кадмій (Ca), нікель (Ni), хром (Cr), свинець (Pb) та їх поширення в організмі риб розглянемо нижче [25].

Кадмій токсичний для всіх форм життя, включаючи мікроорганізми, вищі рослини, тварин та людей. В основному накопичується в печінці, нирках і в зябрах. Наприклад, накопичення кадмію у коропа (*Cyprinus carpio*) відбувається в наступному порядку: нирки>печінка>зябра. Аналогічна картинка простежується і у жабкового кларієвого сома. В інших дослідженнях у коропа (*Cyprinus carpio*) і плітки (*Rutilus*

Rutilus) найбільші концентрації кадмію знаходилися у нирках, потім зябрах, кишечнику та печінці). Відмінність порядку кумуляції ксенобіотика пов'язано з багатьма факторами, і залежить від фізико-географічних особливостей водойми. Незважаючи на те, що дані про органи, що найбільш акумулюють, варіюють, основні органи-мішені для ВМ залишаються однаковими [12, 14, 17, 19].

Невеликі кількості кадмію можуть викликати структурні та функціональні зміни в різних життєво важливих органах, включаючи печінку, нирки, зябра та кишечник. Незважаючи на це мікроелемент може біокумуляватися так само і в гонадах риб, що може призводити до репродуктивних порушень. Токсичні концентрації мікроелементу порушують ферментативні процеси організму, функціональну здатність печінки, яка згодом не справляється з біотрансформацією та знешкодженням речовин. Розвиваються запальні реакції нирок при хронічному впливі утворюються вогнища некрозів, з'являються ознаки імунодефіциту, змінюється ліпідний обмін і окисний гомеостаз, що знижує адаптивний потенціал риб. Окрім того, кадмій погіршує роботу щитовидної залози, будучи ендокринним руйнівником. Антагоністичні відносини кальцію та кадмію призводять до гострої гіпокальціємії, зниження росту, порушення розвитку та поведінки. Кальцій і кадмій, зважаючи на однакові за знаком електричних зарядів і схожість іонних радіусів, здатні зменшувати кожному з них дію. В основному ксенобіотик потрапляє в клітини через кальцієві канали, після чого взаємодіє з ферментами, що викликає пригнічення роботи клітини. Відзначається, що чим вище температури і кислотність води, тим краще відбувається процес накопичення кадмію. Цинк підвищує токсичність кадмію для водних безхребетних. Однак високі концентрації кальцію у воді захищають гідробіонтів від поглинання кадмію. Потрапляючи в організм, кадмій призводить до зміни природного вмісту цинку. Варто відзначити, що чутливість до кадмію у риб неоднакова, найбільш сприйнятливі лососеві. Мідь відіграє важливу роль у метаболічній функції організму та в клітинному диханні; проте вона стає токсичною, якщо риба піддається впливу більш високих концентрацій протягом тривалого періоду. Мідь входить до складу багатьох ферментів, які відповідають за

необхідні процеси для підтримання життєдіяльності, також вона необхідна для функціонування нервової системи та для синтезу гемоглобіну. З точки зору токсичності, як надлишок Cu, так і дефіцит може порушувати метаболічну функцію, створюючи мінеральний дисбаланс в обмінних процесах. Потрапляючи в клітини, мідь приєднується до білків і нуклеїнових кислот, а її надлишок може асимілюватися і накопичуватися в органах організму. Накопичується в різних органах (печінка, нирки, зябра, серце, кишечник), найбільш високі концентрації містяться в печінці риб. Токсичність міді для водних організмів варіюється в залежності від:

- 1) Жорсткості води. Найбільш шкідливий вплив на організми спостерігається у м'якій воді. Вода збагачена Ca і Mg знижують біодоступність міді.
- 2) рН. Мідь токсичніша в кислих умовах середовища.
- 3) Розчинений органічний вуглець. Утворює сполуки, до складу яких входить мідь, тим самим знижує її концентрацію [15, 18, 21].

Надлишок іонів Cu призводить до відкладень різних комплексних сполук у клітинах печінки і це призводить до цирозу. Уповільнює швидкість харчової реакції, також впливає на нюхову систему риб. Деякі солі міді виявляють свою токсичність при низьких концентраціях. Високі концентрації міді призводять до репродуктивних порушень, зниження темпів росту, погіршення нюху, зміни поведінки та здатності орієнтуватися. Також високотоксичний елемент впливає на серцево-судинну та нервову систему риб. Крім цього, вплив Cu впливає на продукування сперматозоїдів та яйцеклітин. Мікроелемент несприятливо впливає на водорості, зоопланктон та мідії, дана особливість може призвести до зниження кормової бази риб [3, 4, 8, 10].

Цинк є другим за поширеністю після заліза, мікроелемент зустрічається майже в кожній клітині, а також у багатьох ферментах, живого організму та бере участь у синтезі нуклеїнових кислот. Цинк є каталізатором ряду металоферментів, а також необхідним елементом для метаболізму. Більш того, важкий метал бере участь у більш складних процесах організму, таких як: імунна система та клітинна сигналізація. Необхідно зазначити, що токсичність цинку залежить від температури водойми. При накопиченні

високої концентрації цинку виникають проблеми з диханням, а в деяких випадках відбувається смерть від гіпоксії. Молодь риб більш схильна до токсичності цинку. Знижується активність ферментів у хижаків, змінюється функція ниркової тканини, порушується репродуктивна здатність. Відомо, що токсичність цинку знижується в жорсткій воді. Наявність даних іонів у воді може впливати на центральну нервову систему [13].

Хром. Залежно від фізико-хімічних характеристик зустрічається в навколишньому середовищі у трьох формах: двовалентний, тривалентний та шестивалентний хром, причому Cr (III) та Cr (VI) є найбільш стійкими. Тривалентний хром відіграє важливу роль у вуглеводному обміні організму. Шестивалентний хром є високотоксичним і класифікується як канцероген I групи, що має мутагенні та тератогенні властивості. Ця форма хрому стала поширеною в ході змін, спричинених антропогенним фактором. Знаходження найбільш отруйної форми хрому у водоймі може виникати внаслідок поганої обробки стічних вод. Як фізико-хімічні властивості води, так і сезонні зміни є основними факторами, що відповідає за характер накопичення хрому. Високі концентрації хрому у риб викликають такі ефекти: гематологічні, гістологічні та морфологічні, інгібування (уповільнення росту), порушення імунної системи. Високі концентрації Cr (VI) знижує гемоглобін, кількість еритроцитів, лімфоцитів та лейкоцитів. Було виявлено анемічний стан риби, викликаний дефіцитом заліза. Токсичні концентрації хрому можуть змінювати структуру клітин кишечника і змінювати швидкість транспортування глюкози. Їхні рухи стають хаотичними, деякі особини можуть перестати житися. Зазначається, що чутливість риб залежить від її виду та інших факторів середовища. Так, прісноводні види менш чутливі до хрому, ніж морські представники іхтіофауни. У риб родини коропових порушувалася осморегуляція під впливом високих концентрацій тривалентного хрому [6, 19, 21].

Нікель. Максимально накопичується у зябрах. Надлишок його викликає отруєння, при цьому зябра покриваються темним слизом. При високій концентрації нікелю риба відчуває стрес і опускається на дно, після чого вмирає. Катіон може викликати

дискоординацію руху. Важкий метал потрапляє у кров через зябра, його токсичні концентрації можуть порушувати нормальний обмін речовин організму та може викликати гістопатологічні зміни в організмі. У мальків коропа під впливом високих концентрацій мікроелементів спостерігалися зміни крові (зниження еритроцитів, лейкоцитів та гемоглобіну) [25].

Свинець. Акумулюється в різних тканинах, найбільший вміст відмічається у м'язах та печінці. Токсичність Pb близька до Zn. Хронічне отруєння призводить до зміни білків мозку. Можливі ракові захворювання нирок, катіон блокує різноманітні біохімічні реакції. Велику чутливість до Pb відчувають бенто- і планктофаги, проте, незважаючи на це, плітка стійка до цього важкого металу. Водні організми біоакумулюють Pb через їжу, хоча існують докази того, що накопичення свинцю в рибі відбувається безпосередньо з води. Гематологічні та неврологічні захворювання є основними токсичними ефектами при хронічному впливі свинцю на рибу. Також було виявлено, що в літній період, коли температура води досягає свого піку, накопичення свинцю та кадмію відбувається інтенсивніше, ніж в інші пори року [16, 20, 21, 22].

Cd, Cu, Pb, Zn, Ni є високотоксичними елементами для водної біоти, особливо прісноводної. За рахунок функціонування компенсаційних механізмів риба може деякий час адаптуватися до зміни концентрацій цих ксенобіотиків. Варто підкреслити, що в м'якій воді навіть низькі концентрації деяких ВМ можуть бути смертельними для чутливих видів риб, при зниженні жорсткості, рН води і підвищенні температури токсичні властивості ВМ посилюються. Розподіл металів залежить не тільки від фізико-хімічних властивостей металів, а й від видової специфіки риб, що слід враховувати при дослідженні об'єкта [24].

Важкі метали також впливають на природні популяції молюсків. Їх вміст знаходиться в такій же залежності від концентрації та часу дії, як і у риб. ВМ, що надходять через воду, накопичуються в різних органах, через їжу – в кишечнику. Кадмій знижує ферментативну активність в тканинах. Іони Cu і Zn знижують здатність

амілолітичних ферментів каталізувати гідроліз крохмалю до декстринів різної маси у самій клітині (у цитозолі) [3-9].

У біоценозах риби займають верхній трофічний рівень, тому підвищений вміст іонів токсичних елементів у гідробіонтах свідчить про функціональні порушення у всіх ланках цієї екосистеми. Відомості про мікроелементний склад органів і тканин можна використовувати для оцінки якості водойми. Тим часом, дослідження тканин і органів, в основному, проводять для оцінки якості риби, як харчового продукту [4, 9, 11, 14, 17].

РОЗДІЛ 2

ПРОГРАМА, МЕТОДИКА ТА УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Програма дослідження

1. Відбір та підготовка проб.
2. Виявлення важких металів у м'язовій тканині та печінці риб.
3. Аналіз даних. Висновок про характер накопичення важких металів у рибі.
4. Визначення фонових значень важких металів у рибі річок Тетерів та Гнилоп'ять.
5. Визначення можливості використання гідробіонтів для екологічного моніторингу.

2.2. Методика дослідження

Для контролю якості середовища природних водойм були обрані поширені види риб, що відносяться до різних рівнів трофічного ланцюга: лящ (*Abramis brama*) - бентофаг, плітка (*Rutilus rutilus*) і плоскирка (*Blicca bjoerkna*) - еврифаги, окунь (*Perca fluviatilis*) – іхтіофаг. Значний ареал поширення, різні типи харчування та виключення видів, що мають охоронний статус - необхідні умови для вибору біоіндикатора. За такого підходу

Кількість відібраних особин одного виду варіювала від 3 до 26. Для аналізу мікроелементного складу риб використовували диференційовані проби: м'язи та печінку. Вся риба була розділена на місці відбору, органи та тканини зберігалися у морозильній камері холодильника. Вся риба була виловлена в теплу пору року (кінець року). [14]

Загальна кількість проб становила 100 особин. Пробопідготовку було проведено способом сухої мінералізації. Маса наважки склала в середньому 10 г. Варто зазначити, що деякі зразки мали масу наважки менше 10 г через втрату матеріалу при пробопідготовці або при обробці риби. Іхтіологічний матеріал зважувався на аналітичних терезах (до другого знаку після коми). Через невеликі розміри дослідженої

риби, печінку кількох особин поміщали в один тигель, тим самим усереднівши результат на етапі пробопідготовки. [14] Валовий вміст важких металів і металоїдів, таких як: Cd, Cu, Pb, Zn, Cr, Ni-визначали за допомогою оптичного емісійного спектрометра ICPE-9000 (виробництво Shimadzu).

Органи та тканини розморожувалися при кімнатній температурі, після чого м'язова тканина відокремлювалася від кісток та луски для подальшого відбору наважки. Перший етап лабораторної роботи включав обвуглювання органічного матеріалу. Для цього до тиглі додавався розчин азотної кислоти (1:1), після чого вміст витримувався 15 хв і обвуглювався на електричній плитці до припинення виділення жовтого диму. Наступний етап мінералізації проводився в муфельній печі, поступово (на +50 °C через кожні 30 хв) підвищуючи температуру до +450 °C. Мінералізація проби проводилася протягом 10-13 годин. Мінералізацію вважають закінченою, якщо зола набуває білого або злегка забарвленого кольору, без обвуглених частинок. Якщо після заданого часу озолена вміст чорного кольору, проба змочувалась мінімальною кількістю розчину азотної кислоти, потім випарювалася насухо на електроплитці зі слабким нагріванням. Після чого тиглі знову поміщалися у муфельну піч. [14]

Зола була переведена в розчин шляхом додавання 2 мл концентрованої азотної кислоти (HNO_3) та доведення до 10 мл дистильованою водою. Зазначимо, що при нагріванні тигля з азотною кислотою перехід проби в розчин здійснювався значно швидше.

Для очищення лабораторного посуду використовувалася суміш концентрованої азотної (HNO_3) та соляної (HCl) кислот у співвідношенні 1:3. Ця суміш, або по-іншому «царська горілка», відома здатністю утворювати комплексні хлоридні сполуки з металами. Необхідно додати, що для посилення ефективності розчинення посуд із сумішшю нагрівався на електричній плитці. Однак у ряді мікроелементів, що вивчаються нами, присутній кислотостійкий метал-хром. Хром не розчиняється у «царській горілці» через здатність пасивації поверхні металу.

У ході усереднення маси печінки на етапі пробопідготовки отримані результати оцінювалися лише з використанням середнього арифметичного значення. Середнє арифметичне застосовується для отримання найбільшої точності у визначенні центральної тенденції. Для об'єктивної оцінки отриманих результатів використовувалися фонові значення донних відкладів.

Окрім цього, для додаткової оцінки якості водоймища, нами були відібрані прісноводні двостулкові молюски (клас *Bivalvia*). Для аналізу використовувалися «ніжка» безхребетних. Схема пробопідготовки описана вище. Однак за цими гідробіонтами результат не був отриманий через труднощі в ході підготовки проб. Так, біле забарвлення золи так і не було отримано при витримуванні зразків протягом 20 годин з додатковим використанням азотної кислоти розчину. Колір золи, під час усіх маніпуляцій, залишався чорний. Це вказує на важкоокислюваність органічної речовини. Методика з пробопідготовки, описана вище, не підходить для розкладання безхребетних. [14]

2.3. Умови проведення дослідження

Загальний рельєф Житомирської області має рівнинний характер, проте по всій площі розвинені глибокі яри та широкі річкові долини. Іноді морена рівнина чергується з озами та камами. Вся територія області, крім північно-західної її частини, має сліди заледеніння, більша частина змінена ерозійною діяльністю. Рельєф півдня має форму водно-льодовикової алювіальної рівнини. Північно-західна частина території області вважається найрізноманітнішою на кшталт рельєфу внаслідок дії неї валдайського льодовика. [7]

Характерна риса місцевості – безліч озер, що можна побачити із назви самої території.

Клімат території – рівномірно континентальний. Середня літня температура - +16...17°C, середня зимова температура від -8°C до -10°C. Однак температура повітря в деякі зими, в результаті приходу арктичних повітряних мас, може опускатися до -30...-

46°C. Влітку ж при вторгненні тропічних повітряних мас біля Житомирської області температура може перевищувати +30°C. Річна амплітуда температур +25...+27° З. Річна кількість опадів становить приблизно 700 мм. Максимум опадів випадає влітку. [6]

РОЗДІЛ 3

БІОАКУМУЛЯЦІЯ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ ДЕЯКИМИ ГІДРОБІОНТАМИ ЯК ОСНОВА ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ВОДОЙМИ

3.1. Біоаккумуляція важких металів рибами в річці Тетерів

На даний момент всі 100 проб повністю пройшли всі етапи пробопідготовки і були проаналізовані на вміст деяких важких металів (Cd, Cu, Pb, Zn, Cr, Ni).

При порівнянні отриманих даних з нормативними значеннями, можна дійти невтішного висновку, що у м'язовій тканині окуня і плітки, а також в печінці трьох представників видів перевищень нормативних показників не зафіксовано (табл. 3.1, 3.2, 3.4). Винятком є цинк (Zn) у м'язовій тканині плоскирки (табл. 3). Таке перевищення може бути пов'язане з високою біофільністю, цинк стоїть у перших рядах у рейтингу кумуляції (Fe>Zn>Pb>Cu>Cd>Hg). Цинк є другим з важких металів за поширеністю в тканинах та органах риб після заліза, мікроелемент зустрічається майже в кожній клітині, а також у багатьох ферментах живого організму та бере участь у синтезі нуклеїнових кислот.

Накопичення біологічно активної речовини в теплий період відбувається інтенсивніше. [18] Варто наголосити, що інформація про характер накопичення важких металів залишається неоднозначною. За одними відомостями, хижі риби накопичують більше цинку та нікелю, за іншими – бентофаги. Такі відмінності можуть бути пов'язані з різними факторами середовища. Тому не існує універсального матеріалу, де можна знайти інформацію про те, які поллютанти накопичуються найбільше і в яких частинах організму. Дані про градацію кумуляції тих чи інших забруднюючих речовин узагальнюються, проте можуть бути винятки, пов'язані зі специфічними факторами водного середовища. Також у різних видів риб з однієї і тієї ж водойми накопичення ВМ може відбуватися неоднаково.

Інші важкі метали не перевищують допустимі рівні. Для нікелю (Ni) і хрому (Cr) у м'язовій тканині риб нормативів немає зовсім, але показники даних металів вкрай низькі. Встановлені рівні нікелю (Ni), цинку (Zn) та міді (Cu) для печінки риб також

відсутні. При порівнянні результатів із фоновими значеннями для озера, простежується аналогічна ситуація. Під час загального огляду результатів ми можемо помітити відмінності між важкими металами в рибі та фоновими значеннями донних опадів. Водні організми поглинають з довкілля доступні хімічні елементи і можуть накопичувати важкі метали, що перевершують їх концентрації в навколишньому середовищі. Вміст мікроелементів у воді залежить від їхньої форми в донних відкладах. [15] Незважаючи на деякі проблеми в очищенні лабораторного посуду від хрому (Cr), ми маємо також низькі значення цього канцерогену.

Таблиця 3.1

Важкі метали в м'язових тканинах окуня (11 особин)

Окунь (м'язова тканина), мг/кг	<i>Cd</i>	<i>Cu</i>	<i>Pb</i>	<i>Zn</i>	<i>Cr</i>	<i>Ni</i>
Мін.-макс.	0,002-0,050	0,2-2,0	0,10-0,43	3,9-59,1	0,03-0,24	0,134-0,791
Середнє значення	0,022	1,1	0,31	35,0	0,14	0,462
Медіана	0,018	1,2	0,32	37,1	0,14	0,497
ДУ ¹	0,2	-	1,0	-	-	-
ДУ ²	0,2	10,0	1,0	40,0	-	-
Фонові значення	<0,4	8,0	34,0	35,0	12,0	8,0

Таблиця 3.2

Важкі метали в м'язових тканинах плітки (11 особин)

Плітка (м'язова тканина), мг/кг	<i>Cd</i>	<i>Cu</i>	<i>Pb</i>	<i>Zn</i>	<i>Cr</i>	<i>Ni</i>
Мін.-макс.	0,001-0,041	0,3-1,9	0,06-0,52	1,3-64,2	0,07-0,25	0,009-0,798
Середнє значення	0,024	1,0	0,30	33,4	0,20	0,479
Медіана	0,025	1,0	0,29	24,7	0,21	0,541
ДУ ¹	0,2	-	1,0	-	-	-
ДУ ²	0,2	10,0	1,0	40,0	-	-
Фонові значення	<0,4	8,0	34,0	35,0	12,0	8,0

Таблиця 3.3

Важкі метали в м'язових тканинах плоскирки (10 особин)

Плоскирка (м'язова тканина), мг/кг	<i>Cd</i>	<i>Cu</i>	<i>Pb</i>	<i>Zn</i>	<i>Cr</i>	<i>Ni</i>
Мін.-макс.	0,006-0,050	0,6-1,9	0,19-0,53	31,8-83,6	0,10-0,38	0,017-0,781
Середнє значення	0,031	1,3	0,37	65,3	0,19	0,485
Медіана	0,035	1,3	0,37	75,0	0,18	0,508
ДУ ¹	0,2	-	1,0	-	-	-
ДУ ²	0,2	10,0	1,0	40,0	-	-
Фонові значення	<0,4	8,0	34,0	35,0	12,0	8,0

Таблиця 3.4

**Середній вміст важких металів у печінці різних видів риб (окунь – 11 особин,
плітка – 11, плоскирка – 10)**

Річка Тетерів						
Печінка, мг/кг	<i>Cd</i>	<i>Cu</i>	<i>Pb</i>	<i>Zn</i>	<i>Cr</i>	<i>Ni</i>
Окунь	0,026	1,4	0,54	58,7	0,19	0,386
Плітка	0,020	1,2	0,57	69,6	0,26	0,034
Плоскирка	0,050	0,8	0,06	34,7	0,10	0,692
ДУ ¹	0,7	-	1,0	-	0,5	-
ДУ ²	0,7	-	1,0	-	0,5	-
Фонові значення	<0,4	8,0	34,0	35,0	12,0	8,0

Сильних відмінностей за характером накопичення важких металів у м'язових тканинах немає (рис. 3.1). Іхтіофаг (окунь) і еврифаги (плітка, плоскирка) мають схожі значення. Відмінність значень вмісту важких металів у плоскирці може бути пов'язано із чутливістю виду до токсичних елементів.

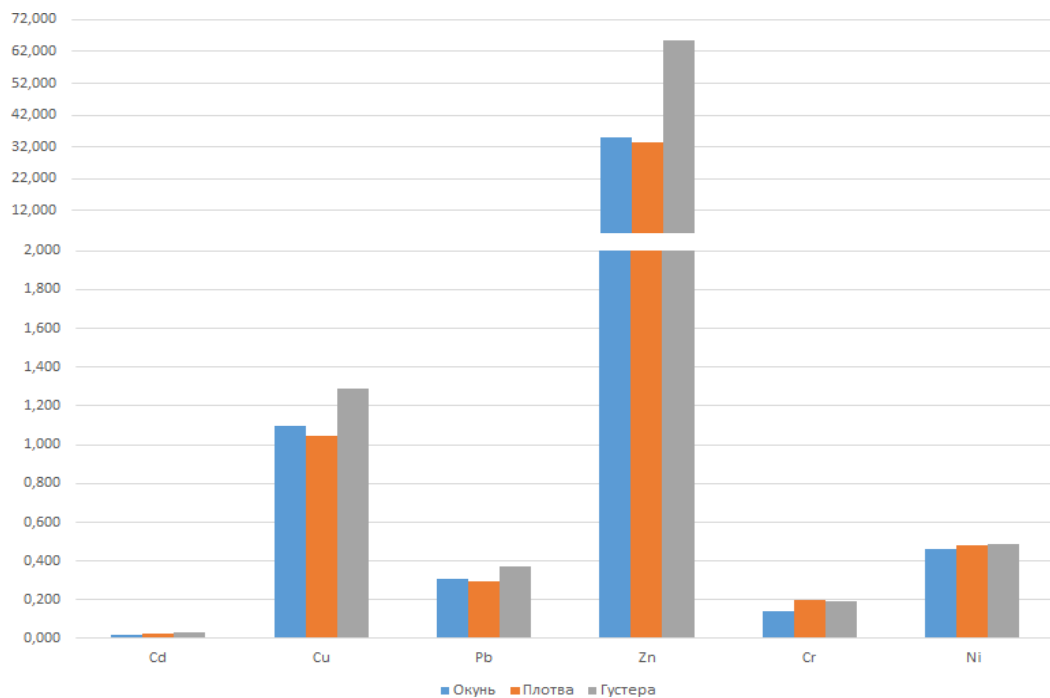


Рис. 3.1. Гістограма розподілу середнього вмісту важких металів у м'язовій тканині риб річки Тетерів (з розривом)

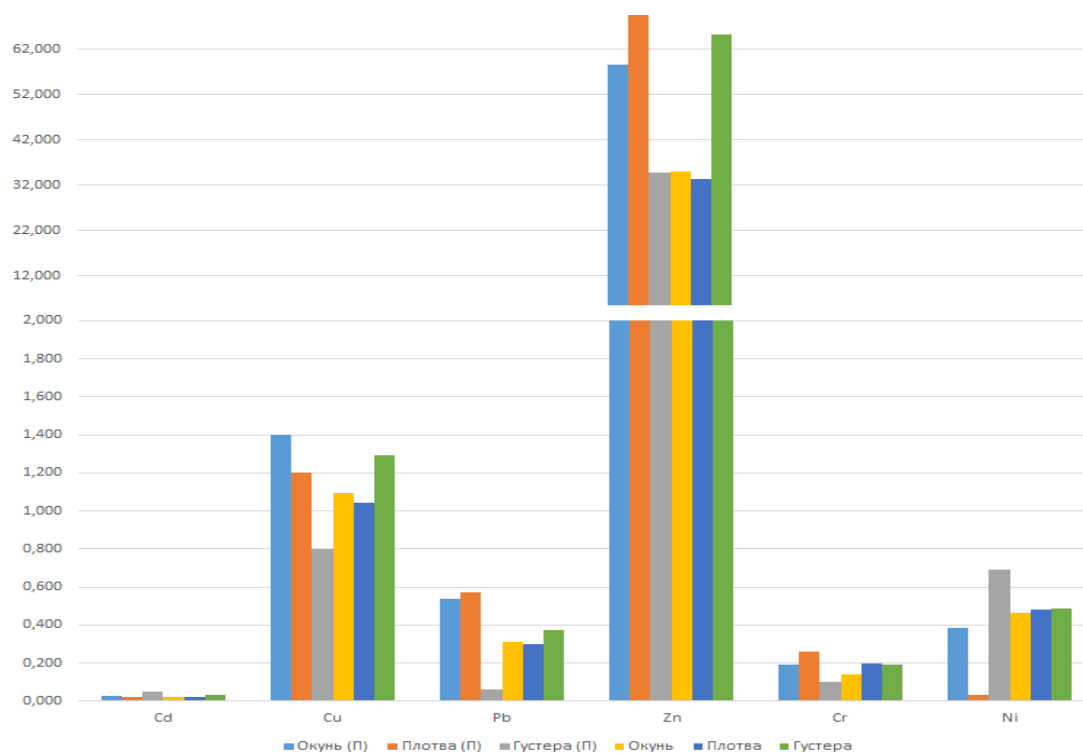


Рис. 3.2. Гістограма розподілу середнього вмісту важких металів у печінці (П) та м'язовій тканині риб річки Тетерів (з розривом)

На рис. 3.2 представлені середні значення важких металів у печінці та м'язовій тканині риб. Отримані значення неоднозначні і простежити чітку градацію розподілу важких металів немає можливості. Проте можна зробити висновок, що характер накопичення важких металів у печінці та м'язовій тканині риб схожий. Найчастіше спостерігається біомагніфікація, тобто. збільшення концентрації важких металів на кожному рівні трофічного ланцюга, проте концентрація важких металів також може знижуватися з підвищенням трофічного рівня. В результаті аналізу отриманих даних, ми можемо зробити рейтинг кумуляції важких металів у рибах річки Тетерів.

Для м'язової тканини:

1. Окунь. Zn>Cu>Ni>Pb>Cr>Cd
2. Плiтка. Zn>Cu>Ni>Pb>Cr>Cd
3. Плоскирка. Zn>Cu>Ni>Pb>Cr>Cd

Для печiнки:

1. Окунь. Zn>Cu>Pb>Ni>Cr>Cd
2. Плiтка. Zn>Cu>Pb>Ni>Cr>Cd
3. Плоскирка. Zn>Cu>Ni>Cr>Pb>Cd

Цей рейтинг вказує на незначні розбіжності у схемі накопичення забруднюючих речовин.

3.2. Біоаккумуляція важких металів рибами в річці Гнилоп'ять

Аналізуючи отримані значення з річки Гнилоп'ять, ми можемо говорити про те, що перевищень за нормативними показниками та фоновими значеннями не спостерігалось (табл. 3.5, 3.6, 3.7). Концентрацію цинку в річці Гнилоп'ять, порівнюючи з фоновими значеннями донних відкладів є в межах норми. З табл. 3.5 і 3.6 видно, що накопичення важких металів у лящі відбувається інтенсивніше. Це може бути пов'язано з тим, що лящ є бентофагом, основне надходження важких металів відбувається через їжу. Наголосимо, що високі концентрації мікроелементів можуть бути пов'язані з необхідністю гідробіонту запасати дефіцитну речовину для нормального функціонування організму. Це пояснення є дійсним, якщо загальний стан гідробіонтів,

функціональна здатність організму та поведінкова особливість знаходиться в межах норми для водного об'єкта. У забрудненій водоймі в риб активізуються енерговитратні процеси детоксикації, таким чином, у інтоксикованих риб менше енергії йде на забезпечення нормального функціонування організму. [20] Інші концентрації активних речовин залишаються доволі низькими. Виходячи з даних, ми можемо зробити висновок, що річка Гнилоп'ять є чистим водним об'єктом.

Таблиця 3.5

Важкі метали в м'язових тканинах ляща (10 особин)

Річка Гнилоп'ять						
Лящ (м'яз. ткан.), мг/кг	<i>Cd</i>	<i>Cu</i>	<i>Pb</i>	<i>Zn</i>	<i>Cr</i>	<i>Ni</i>
Мін.-макс.	0,020-0,056	0,6-1,9	0,17-0,59	12,8-85,3	0,03-0,21	0,121-0,740
Середнє значення	0,033	0,9	0,35	39,9	0,09	0,383
Медіана	0,030	0,8	0,36	36,0	0,08	0,290
ДУ ¹	0,2	-	1,0	-	-	-
ДУ ²	0,2	10,0	1,0	40,0	-	-
Фонові значення	-	29,0	39,0	136,0	-	29,0

Таблиця 3.6

Важкі метали в м'язових тканинах плітки (10 особин)

Річка Гнилоп'ять						
Плітка (м'яз. ткан.), мг/кг	<i>Cd</i>	<i>Cu</i>	<i>Pb</i>	<i>Zn</i>	<i>Cr</i>	<i>Ni</i>
Мін.-макс.	0,016-0,044	0,12-1,00	0,11-0,45	13,2-48,4	0,17-0,18	0,463-0,767
Середнє значення	0,027	0,71	0,33	29,6	0,18	0,582
Медіана	0,021	1,00	0,42	27,1	0,18	0,517
ДУ ¹	0,2	-	1,0	-	-	-
ДУ ²	0,2	10,0	1,0	40,0	-	-
Фонові значення	-	29,0	39,0	136,0	-	29,0

Середній вміст важких металів у печінці ляща (10 особин)

Річка Гнилоп'ять						
Лящ (печінка), мг/кг	<i>Cd</i>	<i>Cu</i>	<i>Pb</i>	<i>Zn</i>	<i>Cr</i>	<i>Ni</i>
Середнє значення	0,050	0,7	0,38	37,7	0,37	0,361
ДУ ¹	0,7	-	1,0	-	0,5	-
ДУ ²	0,7	-	1,0	-	0,5	-
Фонові значення	-	29,0	39,0	136,0	-	29,0

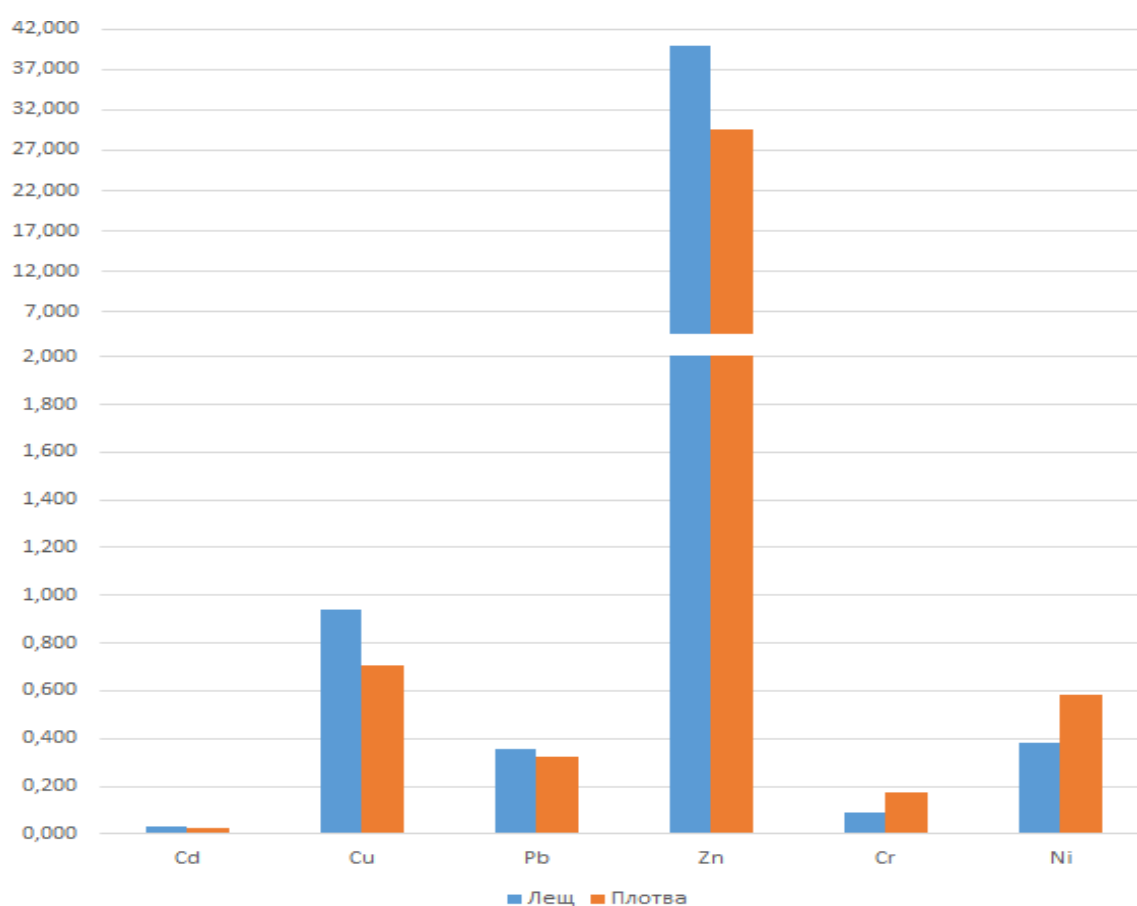


Рис. 3.3. Гістограма розподілу середнього вмісту важких металів у м'язовій тканині риб з річки Гнилоп'ять (з розривом).

На рис. 3.3 тільки для двох компонентів (Cr, Ni) спостерігається накопичувальний ефект у трофічних ланцюгах. Для інших елементів спостерігається зниження концентрації важких металів із підвищенням трофічного рівня. Це вказує на змішаний

шлях надходження металів: біомагніфікацію та біоконцентрування. Низький вміст кадмію, свинцю та міді служить індикатором чистого навколишнього середовища та їжі. Велику чутливість до Pb відчувають бенто- і планктофаги, проте, незважаючи на це, у плітки помічено стійкість до цього елемента. Перелічені елементи міцніше зв'язуються в органічних молекулах риб і гірше виводяться з організму. Рейтинг накопичення важких металів представлений нижче:

Лящ:

1. М'язова тканина. Zn>Cu>Ni>Pb>Cr>Cd
2. Печінка. Zn>Cu>Ni>Pb>Cr>Cd

Плітка:

1. М'язова тканина. Zn>Cu>Ni>Pb>Cr>Cd

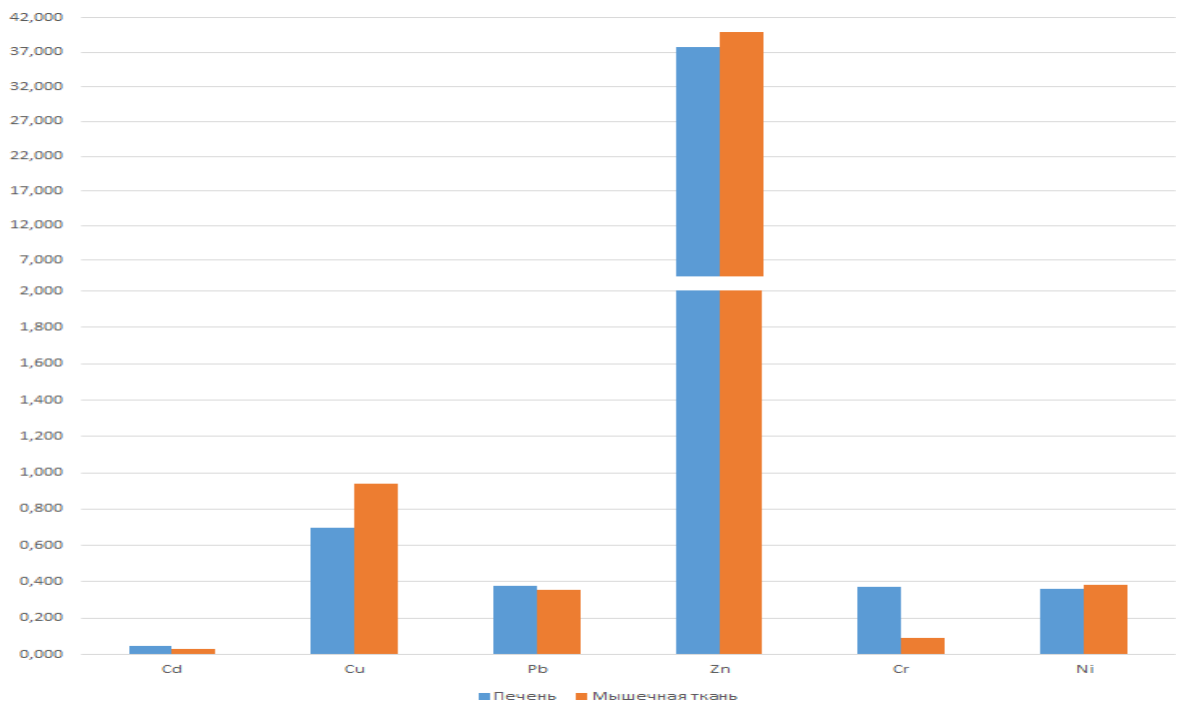


Рис. 3.4. Гістограма розподілу середнього вмісту важких металів у печінці та м'язовій тканині ляща річки Гнилоп'ять (з розривом)

Вивчаючи масив інформації про кумуляцію важких металів у рибі, ми виділили головні «мішені» важких металів – печінку, м'язову тканину, зябра та кишечник. Однак максимальна концентрація важких металів у тих чи інших органах і тканинах залежить

від багатьох факторів водного середовища. У нашому випадку (рис. 3.4), у печінці ляща найбільш кумулюючими є Cd, Pb, Cr; у м'язовій тканині – Cu, Zn, Ni.

Результати по річці Гнилоп'ять є найбільш достовірними через кількість взятих проб (вдвічі більше, ніж в інших). Половину проб було відібрано у літній період, частина – у зимовий. Відомо, що кумуляція активних речовин у холодну пору року відбувається повільніше. Тим самим усереднення майбутніх значень відбувалося вже на етапі відбору проб. Фонові значення донних опадів відсутні.

ВИСНОВКИ

1. Прогресуюче антропогенна навантаження на водні екосистеми призводить до значного погіршення якості навколишнього середовища для гідробіонтів. Така тенденція може сприяти зниженню продуктивності водних екосистем та викликати значні екологічні порушення або навіть катастрофи. Для оцінки екологічної ситуації величезну роль відіграє інформація про вміст металів у іхтіофауні. Риби є не лише зручним об'єктом для дослідження, а й інтегральним показником несприятливих змін середовища. Завдяки цьому, ми можемо встановити ступінь впливу різних токсикантів і дати прогнози для майбутнього досліджуваного водойм.

2. Вивчаючи наукові дослідження з даної теми, ми можемо зробити висновок, що проблема залишається досі актуальною. Науковці наголошують, що використання риб та моллюсків для індикації забруднення вод металами дозволяє дати оцінку екотоксикологічним наслідкам накопичення поллютантів. Також продовжуються роботи з вивчення впливу ВМ на організменному, клітинному та молекулярному рівнях організації життя.

3. Вміст важких металів у рибі річки Тетерів мають низькі показники, що не перевищують гігієнічні нормативні значення. Так, для м'язової тканини риб максимальне значення кадмію (Cd) 0,031 мг/кг, міді (Cu) – 1,3, свинцю (Pb) – 0,37 мг/кг, нікелю (Ni) – 0,485 мг/кг (всі чотири показники належать плоскирці), хрому (Cr) – 0,20 мг/кг (плітка). Найбільші значення в печінці риб такі: Cd – 0,050 мг/кг (плоскирка); Cu – 1,4 мг/кг (окунь); Pb – 0,57 мг/кг (плоскирка); Zn – 69,6 мг/кг (плоскирка); Cr – 0,26 мг/кг (окунь); Ni – 0,692 мг/кг (плоскирка). Винятком є цинк (Zn) (середнє значення 65,3; коли допустимий рівень дорівнює 40,0 мг/кг).

4. Значення вмісту важких металів у рибі річки Гнило п'ять не мають перевищень за нормативними показниками та фоновими значеннями донних відкладів. Дана водойма є чистим об'єктом. У м'язовій тканині ляща середнє значення важких металів у Cd – 0,033 мг/кг; Cu – 0,9 мг/кг; Pb – 0,35 мг/кг; Zn – 39,9 мг/кг; Cr – 0,09 мг/кг; Ni – 0,383 мг/кг.

Середній вміст ВМ у печінці ляща: Cd – 0,050 мг/кг; Cu – 0,7 мг/кг; Pb – 0,38 мг/кг; Zn – 37,7 мг/кг; Cr – 0,37 мг/кг; Ni – 0,361 мг/кг. Важкі метали в м'язовій тканині плітки: Cd – 0,027 мг/кг; Cu – 0,71 мг/кг; Pb – 0,33 мг/кг; Zn – 29,6 мг/кг; Cr – 0,18 мг/кг; Ni - 0,582 мг/кг.

5. Зазначимо, що значення у річках не сильно відрізнялися один від одного. Це вказує на чистоту території, а перевищення значення цинку в м'язовій тканині та печінці у плоскирки з річки Тетерів обґрунтовується використанням водного об'єкту для масового відпочинку людей.

6. Перевищення цинку в плосирці можливі через чутливість гідробіонту до токсичних важких металів. Також високі значення по цинку у плоскирки та інших риб із різних водойм можуть бути пов'язані з їхньою накопичувальною особливістю. Ймовірно, дефіцит даного важкого металу включає в організми механізми, що кумулюють необхідний елемент. Мікроелемент важливий для нормального функціонування організму та зустрічається майже в кожній клітині риби.

7. Низькі вмісту кадмію, свинцю та міді служать індикаторами чистого довкілля та харчового субстрату.

8. Отримані значення в печінці та м'язовій тканині риб вказують на змішаний шлях надходження важких металів у рибу: біомагніфікацію та біоконцентрування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бедункова О.О. Міграція важких металів у водних екосистемах (на прикладі річки Замчисько): дис. ... канд. с.-г. наук: 03.00.16 / Рівне, 2006. 223 с.
2. Голованова И. Л. Влияние тяжелых металлов на физиологобиохимический статус рыб и водных беспозвоночных. *Биология внутренних вод*. 2008. № 1. С. 99—108.
3. Грициняк І. І., Колесник І.І. Розподіл важких металів серед компонентів прісноводних екосистем. *Рибогосподарська наука України*. 2014. № 2. С. 31—45.
4. ДСТУ 2972:2015. Риба та рибні продукти. Правила приймання, методи відбирання проб. [Чинний від 22.06.2015]. Київ, 2015. 24 с.
5. ДСТУ ISO 5667-6-2001. Якість води. Відбір проб. [Чинний від 2002]. Київ, 2002. 14 с. (Національний стандарт України).
6. Екологічна оцінка якості поверхневих вод суші та естуаріїв України: Методика. КНД 211.1.4.010.94. К., 1994. 37 с.
7. Екологічна оцінка якості поверхневих вод суші та естуаріїв України: Методика. КНД 211.1.4.010.94. К., 1994. 37 с.
8. Єсіна Л. М., Горобець Л.М. Аналіз показників безпечності, що встановлені в Україні та країнах ЄС для рибних продуктів. *Основные результаты комплексных исследований в Азово-Черноморском бассейне и Мировом океане*. 2011. № 49. С. 147—157.
9. Курант В. З., Хоменчук В.О., Бияк В.Я. Шляхи проникнення та вміст важких металів в організмі риб (огляд). *Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту*. 2011. № 2 (47). С. 263—269. Серія: "Біологія".
10. Метали у водних екосистемах та їх вплив на гідробіонтів / Г.Л. Антоняк та ін. *Біологія тварин*. 2015. № 2, т. 17. С. 9—24.
11. Міграційні шляхи розповсюдження іонів важких металів в органах і тканинах риб біомеліораторів в умовах малих водосховищ / Ю.В. Пилипенко та ін. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування*. 2007. Вип. 2 (38). С. 313—318.

12. Наказ Міністерства охорони здоров'я України "Державні санітарні норми та правила "Медичні вимоги до якості та безпечності харчових продуктів та продовольчої сировини" № 1140 від 29.12.2012 р. (Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/z0088-13>).

13. Нормативно-правові акти щодо безпечності риби / Н. І. Кос'янчук та ін. Ветеринарна біотехнологія. 2014. № 25. С. 41—43.

14. Риба жива. Загальні технічні умови: ДСТУ 2284:2010 [чинний від 01.01.2012]. К.: Держспоживч стандарт України, 2012. С. 26. (Національний стандарт України).

15. Техногенні радіонукліди у прісноводних екосистемах / М.І. Кузьменко та ін. К.: Наукова думка, 2010. 262 с.

16. Хімічний склад води річок Українського Полісся і екологічна оцінка їх якості / П.С. Лозовіцький, А.П. Лозовіцький. Водне господарство України. 2007. № 5. С. 45—54

17. Особливості білкового складу сироватки крові коропа при дії іонів важких металів / В.З. Курант, Ю.В. Синюк, В.О. Арсан, В.В. Грубінко // Доповіді НАН України. 2002. №11. С.159-163.

18. Коваль В. О. Вплив катіонів важких металів, фенолу і аміаку на активність глюкозо-6-фосфатдегідрогенази в печінці і м'язах коропа в умовах зимівлі / В. О. Коваль, Б. В. Яковенко // Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту ім. Володимира Гнатюка. Серія: Біологія. Спеціальний випуск: Гідроекологія. 2010. №2 (43). С. 256—259.

19. Кондратюк В.А. Комбінована дія натрію і кадмію в умовах гострого санітарно"токсикологічного експерименту / В.А.Кондратюк, О.В. Лотоцька, Н.В. Флекей //Гігієна населених місць. Київ, 2009. Вип. 53. С. 81—85.

20. Клименко М.О., Бєдункова О.О. Міграція важких металів у харчових ланцюгах водних екосистем. // Зб. наук. праць "Вісник національного університету водного господарства та природокористування". Вип. 2(34). Ч. 1. Рівне, 2006. с. 13-20.

21. Нечитайло Л. Я. Вплив кадмієвої інтоксикації на біоелентний склад тканин і органів дослідних тварин / Л. Я. Нечитайло, Н. С. Хопта // Медична і клінічна хімія . 2011. Т. 13. №4. С. 210.

22. Кравців Р. Й. Свинець – небезпечний токсикант глобального значення та його вплив на тварин і людей / Р. Й. Кравців, О. О. Дашковський // Сільський господар. 1999. №5. 6. С. 36 – 37.

23. Янович Н. Є., Янович Д. О. Роль мікроелементів у життєдіяльності ставкових риб // Науковий вісник ЛНУВМ та БТ ім. С. З. Гжицького. 2014. Т.16. № 2 (59). С 345–373.

24. Мельник А. П. Показники гідрохімічного та токсикологічного стану води, донних відкладів та органів і тканин риб Добротвірського водосховища // Рибне господарство. 2004. Вип. 63. С. 155.

25. Врублевська Т., Най А., Бонішко О., Добрянська О. Моніторинг вмісту важких металів у водному басейні Добротвірської теплоелектростанції // Тези доповідей Київської конференції з аналіт. хімії. Сучасні тенденції. 2016. С. 91.