
ЕКОЛОГІЯ ВОДНИХ РЕСУРСІВ

УДК 504.064

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.5-56.7>

МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ АБОРИГЕННИХ ВИДІВ РИБ ЗАКАРПАТТЯ ЯК ІНДИКАТОРІВ СТАНУ РІЧКОВИХ ЕКОСИСТЕМ

Сухарев С.М., Черевко Х.М.

ДВНЗ «Ужгородський національний університет»

вул. Підгірна, 46, 88000, м. Ужгород

serhii.sukharev@uzhnu.edu.ua, khrystyna.cherevko@uzhnu.edu.ua

У статті розглядаються можливості використання аборигенних видів риб Закарпаття для моніторингу стану річкових екосистем, зокрема для оцінки біоаккумуляції важких металів та радіонуклідів. Прикладом для комплексного аналізу цього питання можуть слугувати річкові системи Закарпатської області, оскільки такі фактори як різні ландшафтні зони, можливість охоплення різних течій річок, а також особливості гідрологічного та морфологічного режиму дають можливість оцінити стан водних екосистем та явище біоаккумуляції в різних умовах.

Автори пропонують комплексний аналіз видів риб, які можуть виступати індикаторами забруднення водою. Оцінка ґрунтується на здатності аборигенних риб накопичувати токсичні речовини на різних трофічних рівнях та в різних середовищах існування, оскільки кожен вид реагує на зміни у водних екосистемах по-різному. Такий підхід дозволить отримати повну інформацію про стан річкових екосистем території.

Було визначено найбільш ефективні види для моніторингу забруднення: Головень європейський (*Squalius cephalus*), Пічкур карпатський (*Gobio carpathicus*) та Минь річковий (*Lota lota*). Оцінювались різні параметри, такі як поширеність, трофічні рівні, чутливість до змін в середовищі існування. Таким чином, Головень європейський (*Squalius cephalus*) був охарактеризований широким поширенням, прямою прив'язкою до території існування виду та високою здатністю до біоаккумуляції токсичних речовин. Пічкур карпатський (*Gobio carpathicus*) може демонструвати високу чутливість до змін у річкових екосистемах, а його спосіб життя і харчування дозволяє оцінити міграцію забруднюючих речовин в системі «донні відклади-іхтіофауна». Минь річковий (*Lota lota*), як хижак, показав здатність до біоаккумуляції радіонуклідів, проте може бути менш ефективним при оцінці накопичення важких металів.

Результати дослідження можуть бути використані для проведення моніторингу річкових екосистем регіону з метою збереження біорізноманіття. Також використання аборигенних видів риб як індикаторів дозволить підвищити ефективність контролю за екологічним станом водних об'єктів. *Ключові слова:* аборигенні види риб, біоаккумуляція, забруднення важкими металами, радіонукліди, річкові екосистеми, індикатори стану екосистем.

Possibilities of using native fish species of Transcarpathia as indicators of the state of river ecosystems. Sukharev S., Cherevko Kh.

The article explores the potential of using native fish species of Transcarpathia to monitor the state of river ecosystems, in particular, to assess the bioaccumulation of heavy metals and radionuclides. An example of a complex study of this issue is the river systems of the Transcarpathia, because different landscape zones, the possibility of covering various river currents, and specific hydrological and morphological features make it possible to assess the state of aquatic ecosystems and the effect of bioaccumulation in different conditions.

The authors propose a comprehensive analysis of fish species as water pollution indicators. The assessment relies on native fish's ability to accumulate toxins across different trophic levels and habitats, as each species reacts differently to changes in aquatic ecosystems. This approach will provide complete information on the state of river ecosystems.

The most effective species for pollution monitoring were identified: European chub (*Squalius cephalus*), Carpathian minnow (*Gobio carpathicus*) and River burbot (*Lota lota*). The assessment was based on different parameters: prevalence, trophic levels, and sensitivity to environmental changes. Therefore, the European chub (*Squalius cephalus*) was characterised by a widespread, direct binding to the territory of the species' habitat and a high capacity for bioaccumulation of toxins. The Carpathian minnow (*Gobio carpathicus*) may demonstrate high sensitivity to changes in river ecosystems, lifestyle makes it useful to assess the migration of toxins in the system "bottom sediment-ichthyofauna". River burbot (*Lota lota*), as a predator, showed the ability to bioaccumulate radionuclides but may be less effective in assessing the accumulation of heavy metals.

The results of the study can be used to monitor river ecosystems in the region to preserve biodiversity. The use of native fish species as indicators will increase the efficiency of monitoring the ecological state of water objects. *Key words:* native fish species, bioaccumulation, heavy metal pollution, radionuclides, river ecosystems, ecosystem health indicators.

Постановка проблеми. Закарпаття, як регіон України, на території якого розташовані транскордонні річки, відоме своїми унікальними екосистемами, тому одним із важливих аспектів дослідження стану навколишнього середовища є вивчення водних екосистем. У цій статті розглядається можливість використання аборигенних видів риб Закарпаття, які можуть служити індикаторами біоаккумуляції забруднювачів у водоймах, особлива увага приділяється вибору ефективних індикаторних видів для оцінки біоаккумуляції важких металів та радіонуклідів у гідроекосистемах.

Як приклад для розгляду цього питання можуть слугувати річкові системи Закарпаття, оскільки гірський характер місцевості, можливість охоплення нижніх, середніх та верхніх течій річок та особливості гідрологічного та морфологічного режиму мають великий вплив на формування видового складу риб [1]. Використання іхтіофауни як індикаторів стану екосистем має ряд переваг, наприклад, великі розміри об'єктів та простоту визначення видової приналежності організмів [1-3].

Закарпатська область має велике значення для вивчення біорізноманіття, зокрема іхтіофауни: водойми відомі своєю унікальністю та високою кількістю аборигенних видів. Вони включають такі гідробіоти, як Окунь звичайний (*Perca fluviatilis*), Карась звичайний (*Carassius carassius*), Підуст звичайний (*Chondrostoma nasus*), Головень європейський (*Squalius cephalus*) та інші [2-5]. На сучасному етапі досліджень аборигенні представники іхтіофауни водних екосистем можуть розглядатися як важливий показник екологічного стану гірських водойм.

Актуальність дослідження. В умовах підвищеного зростання антропогенного навантаження на природні екосистеми, дослідження біоаккумуляції забруднювачів у гідробіотах стає все більш важливим. Оцінка стану водних ресурсів Закарпаття за допомогою іхтіофауни дозволяє не лише виявляти ступінь забруднення, а й формулювати стратегії для подальшого управління водними ресурсами.

Зв'язок авторського доробку з науковими та практичними завданнями. Дослідження пов'язане з важливими екологічними проблемами, такими як забруднення важкими металами та радіонуклідами, які є загрозою для стану екосистем та здоров'я населення. Результати роботи можуть бути використані для розробки програм моніторингу та управління водними ресурсами Закарпаття, а також для вирішення задач збереження біорізноманіття та захисту уразливих видів іхтіофауни.

Виділення невирішених частин загальної проблеми. Незважаючи на значний обсяг досліджень у сфері біоаккумуляції, питання вибору найбільш ефективних видів риб для моніторингу забруднення залишається відкритим. Необхідно визначити, які з аборигенних видів риб Закарпаття найбільш придатні для індикативних досліджень, а також дослі-

дити вплив сезонних та територіальних факторів на накопичення важких металів та радіонуклідів у іхтіофауні.

Новизна дослідження. У дослідженні вперше здійснено комплексний аналіз аборигенних видів риб Закарпаття як індикаторів стану річкових екосистем. Унікальність роботи полягає в оцінці біоаккумуляції важких металів та радіонуклідів у різних видів риб, зокрема тих, що мешкають в гірських та рівнинних частинах річкової системи Закарпаття.

Метод та загальнонаукове значення. Методологія дослідження передбачає використання порівняльного аналізу та статистичних методів для оцінки можливостей біоіндикації забруднення річок за допомогою аборигенних видів іхтіофауни. Наукове значення роботи полягає у визначенні видів, які можуть бути надійними індикаторами стану водних екосистем та допомогти в розробці заходів для покращення стану річкових екосистем. В якості матеріалів для оцінки можливості використання аборигенних видів риб як індикаторів стану річок були використані дані досліджень іхтіофауни Закарпаття [1-3].

Порівняльні характеристики та узагальнення виконувалися із застосуванням стандартних методик статистичного аналізу за допомогою програми Numbers. Рисунки досліджуваних видів риб були створені за допомогою графічного редактора Procreate.

Метою статті є аналіз характерних видів представників іхтіофауни Закарпаття та визначення видів, які найбільш придатні для оцінки стану забруднення річкових екосистем.

Викладення основного матеріалу. За тривалий час досліджень іхтіофауни Закарпатської області накопичений об'ємний фактичний матеріал щодо видової ідентифікації аборигенної іхтіофауни [1]. Узагальнення цих даних дозволяє розглядати матеріал для порівняльного аналізу можливостей різних представників іхтіофауни виступати як індикатори стану водних об'єктів за основними екологічними групами. Враховуючи, що територія області представлена широкою системою водотоків є необхідність розділити види риб за місцем їх проживання, типом харчування та іншими ознаками [4-5].

Всі річки Закарпаття належать до басейну річки Тиса, який повністю розташований в межах області, проте основна частина його стоку формується на території чотирьох держав – Румунії, України, Угорщини, Словаччини. Межі басейну охоплюють територію з складною орографією, морфологією, геологією та тектонікою, так як басейн річки Тиса перерізають три групи хребтів, що впливає на формування різних ландшафтних зон, різну швидкість течії, тощо [6]. Також річки Закарпаття, незалежно від адміністративного поділу, можуть бути умовно поділені на 3 частини: верхню (гірську), середню та нижню течії. Верхня течія бере початок з джерела річки і опускається приблизно до 450-500 м

над рівнем моря. Середня течія розпочинається безпосередньо за верхньою і поширюється до висоти 250 м над рівнем моря, нижче від цієї висоти знаходиться нижня течія (рис. 1) [6]. Для кожної течії можна прив'язати ряд типових представників аборигенної іхтіофауни, які можуть бути використані як модельні організми для оцінки стану водних екосистем (таблиця 1).

Розташування території Закарпатської області визначає найбільш об'ємним саме комплекс кісткових видів, типовими представниками якого є форель, окунь, пічкур, минь та інші [2-5].

На різноманітність аборигенних видів риб Закарпаття також вказує залежність від місця проживання в річках, наприклад, поділ риб на бентосні (такі як минь, пічкур) та пелагічні (форель, головень). Класифікація за типом харчування дозволяє розрізнити риб за їх трофічними рівнями: хижаки (форель, минь) та всеїдні (головень, пічкур) [4]. Таке різноманіття аборигенних представників іхтіофауни робить їх цінними індикаторами стану річок, оскільки кожен вид по-різному реагує на зміни у водних екосистемах, що дозволяє отримати повну картину екологічного стану водойм.

Для вибору потенційних модельних видів можна враховувати наступні критерії:

1. Поширеність: широке поширення дозволяє використовувати модельний організм як індикатора забруднення у різних типах водойм і різних умовах середовища.

2. Стійкість до забруднювачів: здатність видів до накопичення забруднюючих речовин у тканинах без значних порушень фізіологічних функцій.

3. Екологічна значущість: види, що займають різні трофічні рівні та грають важливу роль у харчових ланцюгах.

Розглянемо декілька видів аборигенних представників іхтіофауни з точки зору можливості їх використання як індикаторів стану водних екосистем [4].

Наприклад, окунь звичайний (*Perca fluviatilis*) (рис. 2), один з багатьох аборигенних видів риб у багатьох водоймах Закарпаття, є довгожителами серед риб, що означає, що вони можуть накопичувати токсичні речовини протягом тривалішого часу. Їхні органи, зокрема печінка та нирки, здатні активно акумулювати важкі метали та інші токсичні речовини. Окунь є хижаком, що дає змогу оцінити біоаккумуляцію токсичних речовин через трофічні ланцюги.

Карась звичайний (*Carassius carassius*) (рис. 3) є індикаторним видом у зв'язку з тим, що може існувати в умовах з низьким рівнем кисню та високим вмістом органічних речовин, що робить їх чутливими до змін якості води та забруднення. Цей вид активно взаємодіє з дном водойми, може накопичувати токсичні метали у тканинах та органах.

Підуст звичайний (*Chondrostoma nasus*) (рис. 4) є ендемічним видом для річкових систем Західної Європи. Його природо-захисний статус, як важливого компонента природної біорізноманітності, робить його цінним об'єктом для вивчення стану водойм і впливу забруднення. Це вид, який вимагає високої якості води для збереження популяцій, є чутливим до змін якості води, має специфічний спосіб харчування, що завдяки своїй фільтраційній дії, сприяє активній біоаккумуляції забруднюючих речовин, які присутні у воді і донних відкладах.

Марена звичайна (*Barbus barbus*) (рис. 5) є хижаком і всеїдною рибою, що дозволяє цьому виду накопичувати важкі метали та радіонукліди з різних джерел. Також важливою характеристикою цього виду є його висока здатність до адаптації, що робить

Таблиця 1

Класифікація аборигенних видів риб за їх розповсюдженням у різних частинах річкової системи Закарпаття [4]

Частина річкової мережі Закарпаття	Аборигенні види риб
Верхня течія	<ul style="list-style-type: none"> • Форель (<i>Salmo trutta</i>) • Хариус (<i>Thymallus thymallus</i>) • Ялець звичайний (<i>Leuciscus leuciscus</i>) • Минь річковий (<i>Lota lota</i>) • Лосось дунайський (<i>Hucho hucho</i>)
Середня течія	<ul style="list-style-type: none"> • Головень європейський (<i>Squalius cephalus</i>) • Ялець звичайний (<i>Leuciscus leuciscus</i>) • Минь річковий (<i>Lota lota</i>) • Стерлядь (<i>Acipenser ruthenus</i>) • Підуст звичайний (<i>Chondrostoma nasus</i>) • Марена звичайна (<i>Barbus barbus</i>)
Нижня течія	<ul style="list-style-type: none"> • Щука (<i>Esox lucius</i>) • Головень європейський (<i>Squalius cephalus</i>) • Пічкур карпатський (<i>Gobio carpathicus</i>) • Окунь звичайний (<i>Perca fluviatilis</i>) • Карась звичайний (<i>Carassius carassius</i>)

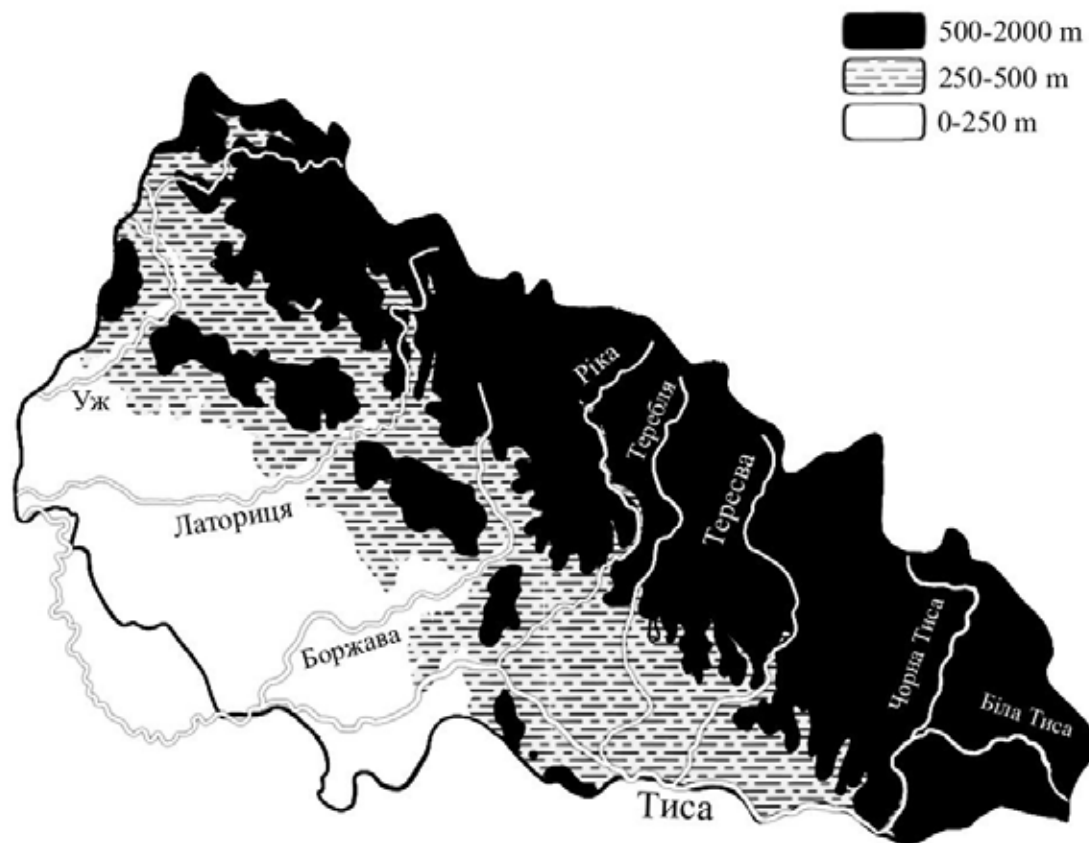


Рис. 1. Гідрологічна мережа Закарпатської області та умовний поділ на верхню, середню та нижню течії

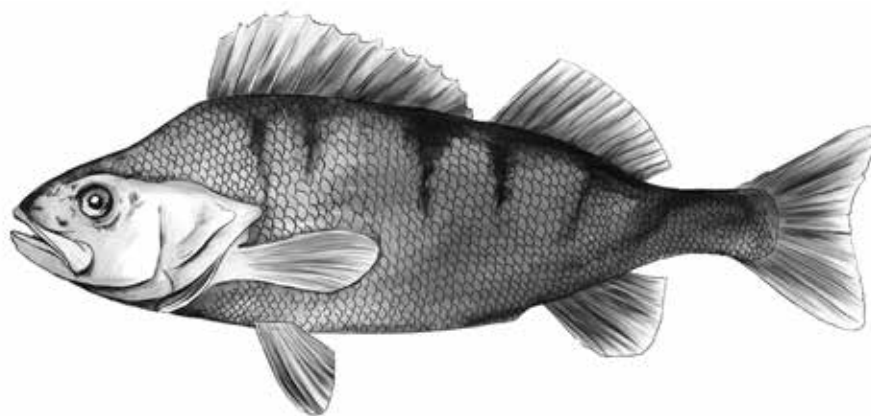


Рис. 2. Окунь звичайний (*Perca fluviatilis*)

її індикатором забруднення в принципово різних типах водойм.

Минь річковий (*Lota lota*) (рис. 6) є унікальним видом риби, що має високу адаптованість до життя у холодних водах і на дні водойм. Він також занесений до Червоної книги України, як вразливий вид. Хижак, полює на рибу та інших організмів, що живуть на дні, що дозволяє ефективно оцінити міграцію забруднюючих речовин в системі «донні відклади-іхтіофауна».

Пічкур карпатський (*Gobio carpathicus*) (рис. 7) є донним видом, живе у водоймах з чистою водою і добре очищеними дном. Він є чутливим до забруднення, живиться водоростями і дрібними бентичними тваринами. Виконує важливу роль у біотичних процесах самоочищення водойм, зокрема як фільтрувальний організм, що сприяє підтримці біорізноманіття та стабільності водних екосистем.

Головень європейський (*Squalius cephalus*) (рис. 8) є всеїдним і мешкає в різних середовищах,

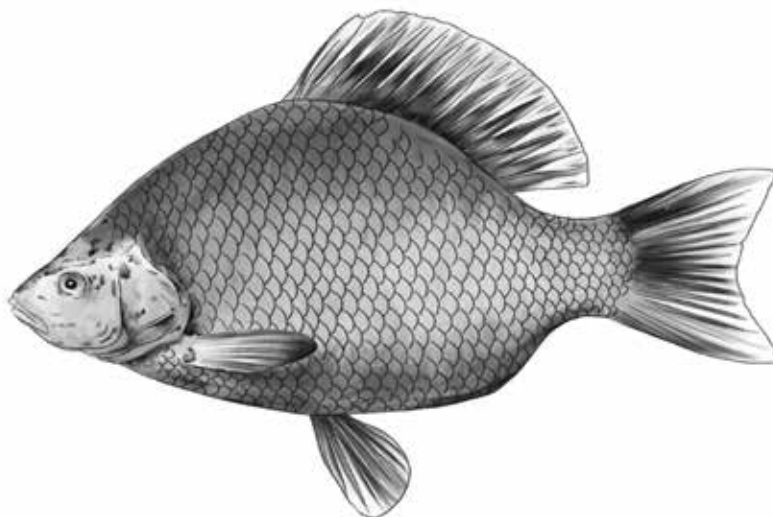


Рис. 3. Карась звичайний (*Carassius carassius*)

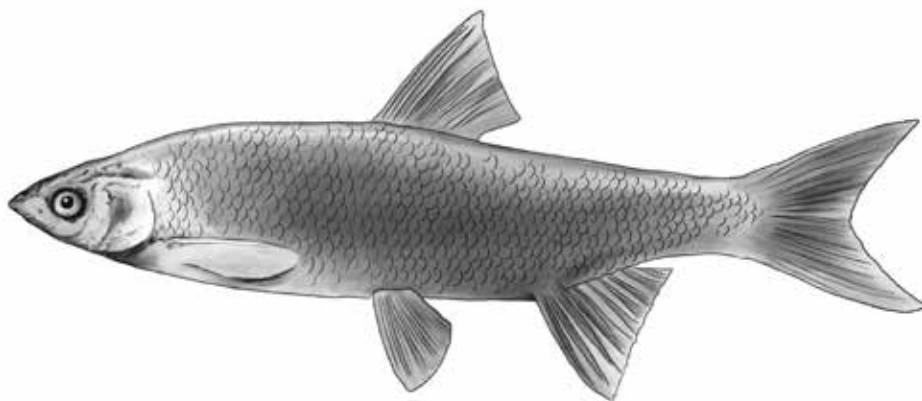


Рис. 4. Підуст звичайний (*Chondrostoma nasus*)

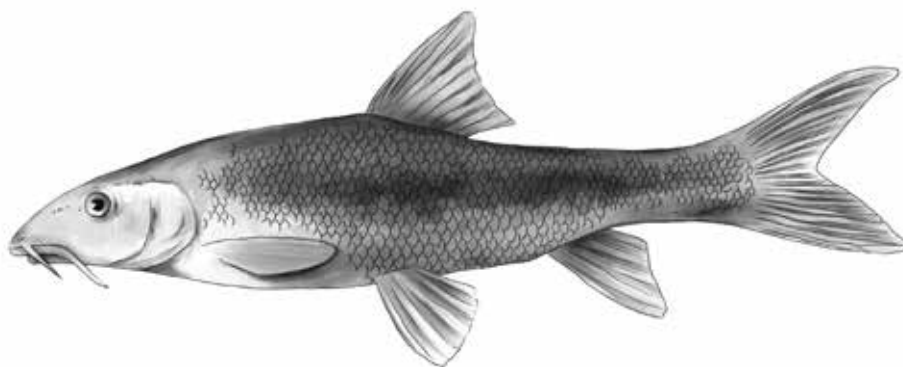


Рис. 5. Марена звичайна (*Barbus barbus*)

має високу здатність до адаптації та схильність накопичувати важкі метали та інші забруднюючі речовини. Окрім того, оцінка концентрації важких металів або інших токсичних речовин у тканинах цього виду може дати важливу інформацію про якість води та ступінь забруднення довкілля з прямою прив'язкою до території.

Біоаккумуляція важких металів та радіонуклідів. Наукові дослідження продемонстрували підвищені концентрації важких металів та радіонуклідів у рибі з транскордонних гідроекосистем, що підкреслює потенційні екологічні ризики та ризики для здоров'я [7-8]. У дослідженні Краймер вивчалася біоаккумуляція урану в транскордонних



Рис. 6. Минь річковий (*Lota lota*)

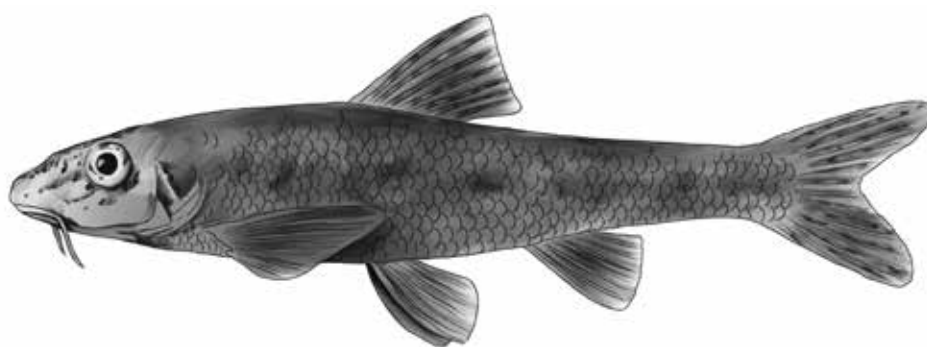


Рис. 7. Пічкур карпатський (*Gobio carpathicus*)



Рис. 8. Головень європейський (*Squalius cephalus*)

річках, які зазнали впливу гірничодобувної діяльності, що підкреслює потенційний вплив на навколишнє середовище [8]. Дослідники, які проводили експеримент в басейні річки Амазонки, виявили високі рівні ртуті в хижих рибах, що вказує на біоаккумуляцію вздовж харчового ланцюга [9].

Було встановлено, що біоаккумуляція багатьох металів у рибах залежить від різних фізіологічних умов. Однак було також продемонстровано, що концентрації деяких металів можуть бути застосовані як надійні індикатори впливу металів навіть в умовах

низького або помірного забруднення води, а також в умовах низького або помірного забруднення риб, що мешкають у водоймах [10].

На основі досліджених даних про середні концентрації важких металів у вищезгаданих видів риб можна зробити наступні висновки щодо їх використання як індикаторних видів у моніторингу біоаккумуляції важких металів:

– У дослідженнях Ванг та ін. у Пічкура (*Gobio huanghensis*) виявлено значні концентрації цинку. Це робить його потенційно корисним для викори-

стання у моніторингу цього металу у водоймах. Концентрації інших металів в тканинах та органах цього виду є дещо нижчими [11].

– Досить високі рівні концентрації міді та свинцю має Марена (*Barbus rajanogum*), а відносно помірні концентрації кадмію та цинку, які були виявлені, можуть свідчити про універсальність цього виду як індикатора [12].

– Підуст звичайний (*Chondrostoma nasus*) виявився одним із найефективніших видів, здатних до накопичення міді та цинку, тому може використовуватися як доволі ефективний індикатор стану річкових екосистем. Також у дослідженнях були виявлені помірні значення концентрації свинцю, що свідчить про чутливість виду до забруднення водойми [13-14].

– Здатністю до накопичення свинцю може характеризуватися Карась звичайний (*Carassius carassius*), проте водночас концентрації міді та цинку є помірними або низькими, що свідчить про резистентність цього виду до забруднення цими металами [15].

– Минь річковий (*Lota lota*) має найнижчу концентрацію всіх представлених металів, тому цей вид може бути найменш придатним для ролі індикатора біоаккумуляції важких металів та стану річкових екосистем, але потенційно може використовуватися для порівняльного аналізу та оцінки стану інших видів [16-17].

– Дослідження, які проводили в басейні річки Чорна Орава та на території південної Балтики виявили, що Окунь звичайний (*Perca fluviatilis*) має помітні рівні концентрації кадмію, проте відносно низьку концентрацію міді і свинцю, тому його використання як індикатора стану річкових екосистем може бути менш ефективним [18-19].

– Високі концентрації цинку та свинцю містить Головень європейський (*Squalius cephalus*), що робить його відмінним універсальним індикатором забруднення річкових екосистем [20-23].

Аналіз даних показав, що мають найвищі концентрації важких металів та радіонуклідів у своїх тканинах наступні види: Марена (*Barbus rajanogum*), завдяки своїй всеїдності, накопичує забруднювачі з різних джерел, тоді як Окунь звичайний (*Perca fluviatilis*), як хижак, біоакмулює забруднювачі через харчовий ланцюг [12; 18-20]. Підуст звичайний (*Chondrostoma nasus*) також може бути ефективним індикатором, особливо якщо розглядати його як модельний вид для оцінки забруднення донних відкладень [11]. Головень європейський (*Squalius cephalus*) виділяється високою здатністю до накопичення важких металів, що дозволяє ефективно використовувати цей вид для моніторингу забруднення річкових екосистем [21-23]. Також важливим є спосіб життя цього виду, який безпосередньо відображає прив'язку до території його проживання. Цей факт робить цей вид надійним індикатором стану річкових екосистем.

На основі досліджень, середні концентрації Цезію-137 у Окунь звичайний (*Perca fluviatilis*) (47 Бк/кг) і Минь річковий (*Lota lota*) (1125 Бк/кг) значно різняться. Зважаючи на це, Окунь звичайний може мати меншу схильність до біоаккумуляції радіонуклідів порівняно з Минем річковим. Є важливими подальші дослідження інших аборигенних видів риб на вміст радіонуклідів, оскільки інформація про них є обмеженою. Минь річковий досліджувався після аварії на ЧАЕС, чим також може бути пояснена активна біоаккумуляція Цезію-137 у тканинах та органах риб [24-25].

Враховуючи вищезазначене та екстраполюючи ці дані по відношенню до території басейну річки Тиса, для ефективного моніторингу біоаккумуляції важких металів на території Закарпатської області рекомендується зосередитися на дослідженні Пічкура карпатського (*Gobio carpathicus*), Марени звичайної (*Barbus barbus*) та Головля європейського (*Squalius cephalus*) як потенційних модельних організмів. Вони демонструють найвищі рівні середніх концентрацій та біоаккумуляції важких металів, що може допомогти в оцінці стану річкових екосистем (Діаграми 1-2) [11-12; 21-23]. Деякі дослідження виявили середні значення концентрацій важких металів у верхніх межах допустимих норм [12], і навіть перевищення їх значень на декілька порядків [12-14; 19; 21; 23].

Також зафіксовано статистично значущі відмінності між концентрацією забруднюючих речовин в тканинах та органах, окрім того і здатність до біоаккумуляції в різні сезони. Наприклад, у внутрішніх органах виявлено вищі концентрації металів, ніж у м'язах [21-22].

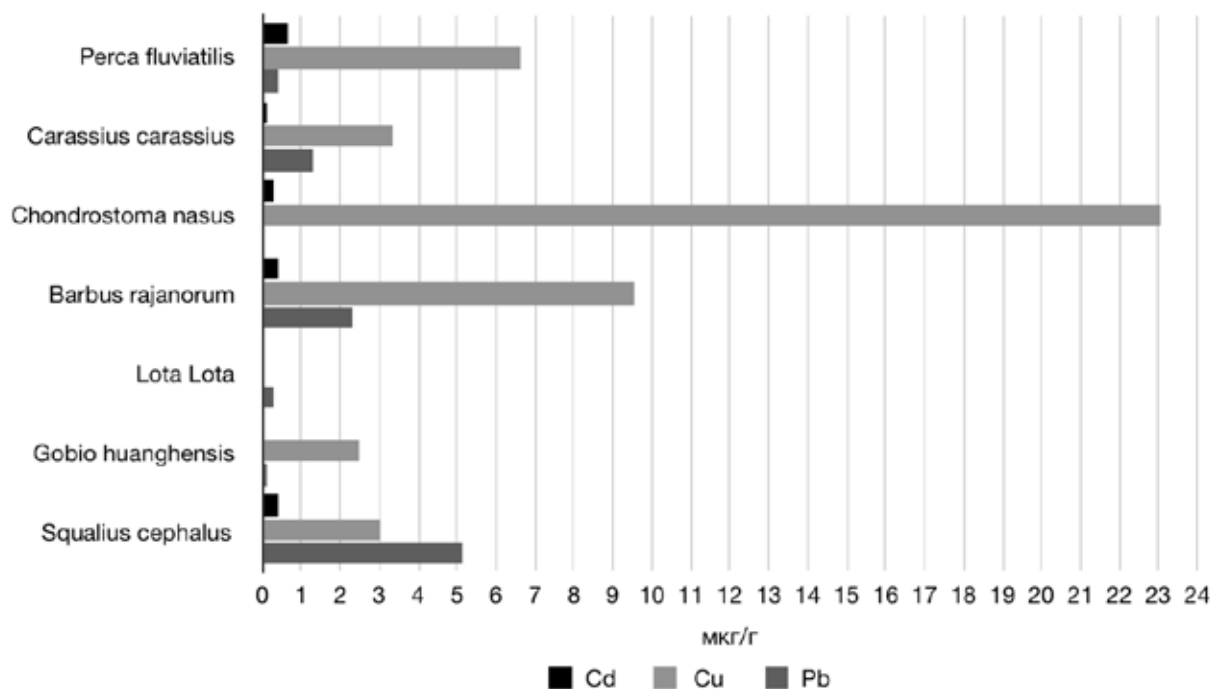
Висновки. При виборі видів, які можуть слугувати як індикатори стану довкілля, також була проведена консультація і врахована авторитетна думка колег з Пряшівського університету в Пряшеві, які займаються дослідженнями, що пов'язані з цією проблематикою.

Отже, для моніторингу забруднення річкових екосистем Закарпаття пропонується використання кількох аборигенних видів риб як біоіндикаторів:

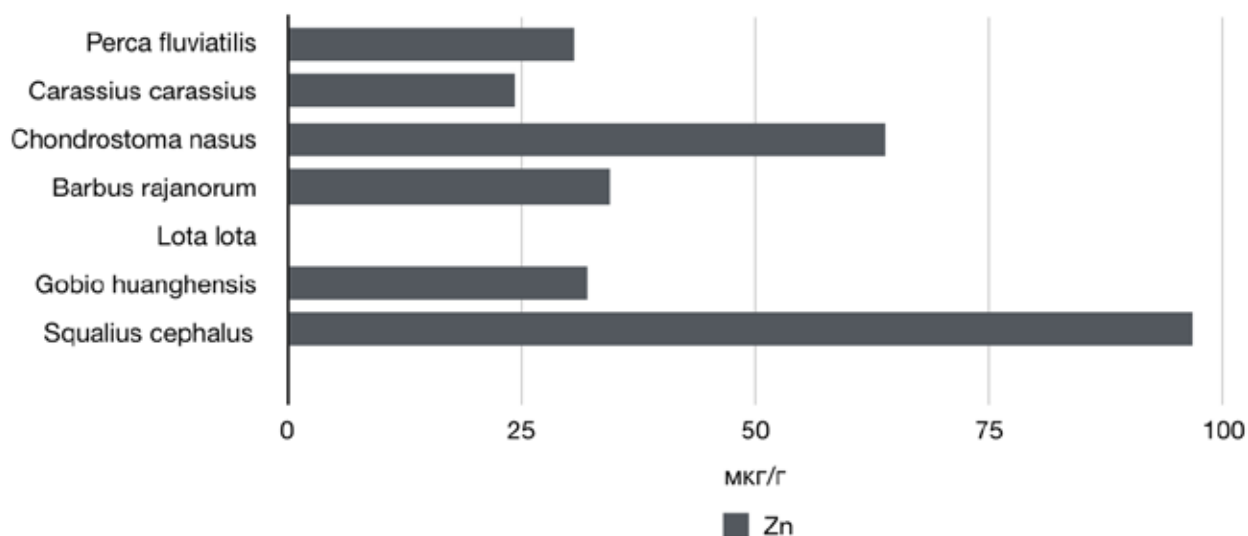
– Головень європейський (*Squalius cephalus*) має високу здатність до адаптації та є всеїдним, що дозволяє йому накопичувати важкі метали через різноманітні харчові ланцюги. Його використання дозволяє отримати точні дані про екологічний стан річкових екосистем, оскільки він веде осілий спосіб життя.

– Пічкур карпатський (*Gobio carpathicus*) – донний вид, чутливий до забруднення та змін у якості води, що робить його ефективним для оцінки стану донних відкладів.

– Минь річковий (*Lota lota*) – хижак, який накопичує забруднювачі (переважно радіонукліди) через харчовий ланцюг, що робить його цінним переважно для дослідження впливу радіоактивних речовин



Діаграма 1. Узагальнена діаграма концентрацій важких металів у тканинах та органах сирої риби, мкг/г [11-23]



Діаграма 2. Узагальнена діаграма концентрацій Zn у тканинах та органах сирої риби, мкг/г [11-23]

у воді, проте малоефективним при оцінці біоаккумуляції важких металів.

Ці види демонструють різні екологічні ролі, трофічні рівні та способи життя, що дозволяє отримати комплексні дані про забруднення річкових екосистем.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати дослідження можуть бути використані для розробки екологічних програм

з моніторингу стану річкових екосистем регіону, що дозволить вчасно виявляти забруднення і запобігати його негативним наслідкам. Використання аборигенних видів риби як індикаторів дозволить підвищити ефективність контролю за екологічним станом водних об'єктів, забезпечуючи більш точні результати при проведенні оцінки біоаккумуляції важких металів та радіонуклідів представниками іхтіофауни.

Література

1. Куртяк Ф.Ф., Бондар П.П. Іхтіофауна Закарпаття: раритетні категорії та принципи охорони. Науковий вісник Ужгородського університету. Сер. Біологія. 2014. Вип. 36. С. 56–58.
2. Біорізноманіття середньої течії р. Уж басейну р. Тиса: сучасний стан та антропогенні впливи / Станкевич-Волосянчук О.І., Куртяк Ф.Ф., Кіш Р.Я., Пляшечник В.І. Ужгород : РІК-У, 2023. 68 с.
3. Куртяк Ф. Ф., Талабішко Є. М., Стегун В. І., Великопольський І. Й. Іхтіофауна басейну річки Латориця в межах України. Вісник Львівського університету. Сер. біологічна. 2009. Вип. 20. С. 85–94
4. Риби Закарпаття. Закарпатський рибоохоронний патруль : веб-сайт. URL: https://zk.darg.gov.ua/_ribi_zakarattja_0_46_menu_0_1.html (дата звернення: 11.11.2024).
5. Променепері риби Actinopterygii. Червона книга України : веб-сайт. URL: https://redbook-ua.org/category/actinopterygii/#google_vignette (дата звернення: 11.11.2024).
6. Національний план управління басейном р. Тиса – Україна. Регіональний інформаційний центр «Карпати» : веб-сайт. URL: <https://carpaty.net/?p=13354> (дата звернення: 19.11.2024).
7. Chen J., Rennie M. D., Sadi B., Zhang W., St-Amant N. A study on the levels of radioactivity in fish samples from the experimental lakes area in Ontario, Canada. Journal of environmental radioactivity. 2016. Vol. 153. P. 222–230.
8. Крамер L. D., Evans D. Uranium bioaccumulation in a freshwater ecosystem: impact of feeding ecology. Aquatic toxicology. 2012. Vol. 124. P. 163–170.
9. Guimarães K. L. A., do Nascimento Andrade S. J., Liscano-Carreño A. A., de Oliveira R. B., Rodrigues L. R. R. Systematic Review and Spatiotemporal Assessment of Mercury Concentration in Fish from the Tapajós River Basin: Implications for Environmental and Human Health. ACS Environmental Au. 2024. URL: <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acsenvironau.4c00053> (Last accessed: 19.11.2024)
10. Dragun Z., Tepić N., Krasnići N., Teskeredžić E. Accumulation of metals relevant for agricultural contamination in gills of European chub (*Squalius cephalus*). Environmental Science and Pollution Research. 2016. Vol. 23, № 16. P. 16802–16815.
11. Wang Y., Chen P., Cui R., Si W., Zhang Y., Ji W. Heavy metal concentrations in water, sediment, and tissues of two fish species (*Triplophysa pappenheimi*, *Gobio hwanghensis*) from the Lanzhou section of the Yellow River, China. Environmental Monitoring and Assessment. 2010. Vol. 165. P. 97–102.
12. Alhas E., Oymak S.A., Karadede Akin H. Heavy metal concentrations in two barb, *Barbus xanthopterus* and *Barbus rajanorum* mystaceus from Atatürk Dam Lake, Turkey. Environmental Monitoring and Assessment. 2009. Vol. 148. P. 11–18.
13. Zaharieva P., Kirin D. Content of copper, cadmium and arsenic in *Chondrostoma nasus* (Linnaeus, 1758) from the Danube River. Scientific Papers. Series D. Animal Science. 2020. Vol. 63, № 1. P. 481–488.
14. Koca S., Koca Y.B., Yıldız Ş., Gürcü B. Genotoxic and Histopathological Effects of Water Pollution on Two Fish Species, *Barbus capito pectoralis* and *Chondrostoma nasus* in the Büyük Menderes River, Turkey. Biological Trace Element Research. 2008. Vol. 122. P. 276–291.
15. Fidan A.F., Çiğerci İ. H., Konuk M., Küçükkurt İ., Aslan R., Dündar Y. Determination of some heavy metal levels and oxidative status in *Carassius carassius* L., 1758 from Eber Lake. Environmental Monitoring and Assessment. 2008. Vol. 147. P. 35–41.
16. Wong A. Heavy metals in burbot (*Lota lota* L.) caught in lakes of Northeastern Saskatchewan, Canada. Journal of Applied Ichthyology. 2011. Vol. 27. P. 65–68.
17. Subotić S., Spasić S., Višnjić-Ječić Ž., Hegediš A., Krpo-Četković J., Mićković B., Lenhardt M. Heavy metal and trace element bioaccumulation in target tissues of four edible fish species from the Danube River (Serbia). Ecotoxicology and Environmental Safety. 2013. Vol. 98. P. 196–202.
18. Szefer P., Domagała-Wieloszewska M., Warzocha J., Garbacik-Wesołowska A., Ciesielski T. Distribution and relationships of mercury, lead, cadmium, copper and zinc in perch (*Perca fluviatilis*) from the Pomeranian Bay and Szczecin Lagoon, southern Baltic. Food Chemistry. 2003. Vol. 81, № 1. P. 73–83.
19. Popek W., Klęczar K., Nowak M., Epler P. Heavy metals concentration in the tissues of perch (*Perca fluviatilis*) and bleak (*Alburnus alburnus*) from Czarna Orawa River, Poland. Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation. 2009. Vol. 2, № 2. P. 205–208.
20. Duman F., Kar M. Temporal variation of metals in water, sediment and tissues of the European chub (*Squalius cephalus*). Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. 2012. Vol. 89. P. 428–433.
21. Öğlü B., Yorulmaz B., Genc T.O., Yılmaz F. The assessment of heavy metal content by using bioaccumulation indices in European chub, *Squalius cephalus* (Linnaeus, 1758). Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences. 2015. Vol. 10, № 2. P. 85–94.
22. Şaşı H., Yozukmaz A., Yabanlı M. Heavy metal contamination in the muscle of Aegean chub (*Squalius fellowesii*) and potential risk assessment. Environmental Science and Pollution Research. 2017. Vol. 25. P. 6928–6936.
23. Andreji J., Dvořák P., Fik M. Distribution of heavy metals (Ni, Co, Pb, Cd, Hg) in tissues of European chub (*Squalius cephalus* L.) from the middle course of the Nitra River, Slovakia. Advanced Research in Life Sciences. 2018. Vol. 2, № 1. P. 16–21.
24. Saxén R., Koskelainen U. Distribution of ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr in various tissues and organs of freshwater fish in Finnish lakes. Boreal Environment Research. 2002. Vol. 7. P. 105–112.
25. Rask M., Saxén R., Ruuhijärvi J., Arvola L., Järvinen M., Koskelainen U., Outola I., Vuorinen P. J. Short- and long-term patterns of ¹³⁷Cs in fish and other aquatic organisms of small forest lakes in southern Finland since the Chernobyl accident. Journal of Environmental Radioactivity. 2012. Vol. 103, № 1. P. 41–47.