

# ЕКОЛОГІЯ

УДК 574.632

doi: 10.25128/2078-2357.19.3.7

<sup>1</sup>В. В. ПАВЛОВСЬКИЙ, <sup>2</sup>Х. Д. ГАНЖА, <sup>2</sup>І. І. АБРАМ'ЮК, <sup>2</sup>О. Є. КАГЛЯН,  
<sup>2</sup>Д. І. ГУДКОВ

<sup>1</sup>Київський національний університет імені Тараса Шевченка, ННЦ «Інститут біології та медицини»  
вул. Володимирська, 64/13, Київ, 01601

<sup>2</sup>Інститут гідробіології НАН України  
просп. Героїв Сталінграда, 12, Київ, 04210  
e-mail: vladpavl3@gmail.com

## **АНОМАЛІ СКЕЛЕТА РИБ У ВОДОЙМАХ ІЗ РІЗНИМ РІВНЕМ ЗАБРУДНЕННЯ РАДІОНУКЛІДАМИ**

---

Досліджено особливості розвитку морфологічних аномалій скелета верховки звичайної (*Leucaspilus delineatus* Heckel) у водоймах з фоновими (околиці м. Києва) та високими (Чорнобильська зона відчуження) рівнями радіонуклідного забруднення. Встановлено наявність впливу підвищених хронічних доз іонізуючого випромінювання на прояв морфологічних аномалій скелета риб.

*Ключові слова:* Чорнобильська зона відчуження, радіонуклідне забруднення, водні екосистеми, риби, аномалії скелета.

Рівень радіаційного фону навколишнього природного середовища невинно зростає внаслідок безперервного надходження радіоактивних речовин у водні та наземні екосистеми. Однією з важливих причин погіршення радіоекологічного стану довкілля є нештатні та аварійні ситуації на підприємствах ядерного паливного циклу, пов'язані з рідкими скидами та аерозольними викидами радіонуклідів. Аварія на Чорнобильській атомній електростанції (ЧАЕС) є найбільш масштабною в історії ядерної енергетики як за кількістю радіоактивних речовин, що надійшли у навколишнє середовище, так і за площею забруднених територій [1–3]. Незважаючи на те, що більш ніж за три десятиліття після аварії відбувся розпад частини радіонуклідів, інші тривалоіснуючі біологічно-небезпечні елементи залишаються джерелами додаткового іонізуючого опромінення живих організмів [4]. Це обумовлює необхідність подальшого вивчення та оцінки процесів, які пов'язані з хронічним радіаційним впливом на довкілля.

Одним із важливих завдань радіоекології залишається дослідження особливостей надходження, міграції та накопичення радіоактивних речовин компонентами водних біогеоценозів та їх вплив на біоту [5]. Радіонукліди, що потрапили у водні екосистеми, мігрують і ефективно акумулюються представниками верхніх трофічних рівнів, до яких належать риби, виступаючи важливим об'єктом радіоекологічного моніторингу [6].

Актуальність представленого дослідження полягає у виявленні впливу радіонуклідного забруднення на появу морфологічних аномалій скелета у типового для водойм Чорнобильської зони відчуження (ЧЗВ) виду риб, що є показовим представником прісноводних екосистем, зважаючи на особливості його способу існування [7]. Новизна роботи визначається тим, що для зазначених водойм відповідне дослідження було проведено вперше.

### Матеріал і методи досліджень

У роботі проведено дослідження морфологічних аномалій скелета верховки звичайної (*Leucaspis delineates* Heckel) з озер Глибоке та Азбучин, що знаходяться на території ЧЗВ і зазнали інтенсивного забруднення радіонуклідами впродовж аварії на ЧАЕС (рис. 1). Потужність поглиненої дози іонізуючого опромінення для риб з оз. Глибоке становила 40–120 мкГр/год, для оз. Азбучин – 38–52 мкГр/год.

Також було досліджено морфологічні аномалії скелета верховки з оз. Підбірна (околиці м. Києва), що характеризується фоновими рівнями радіонуклідного забруднення всіх компонентів з потужністю поглиненої дози опромінення для риб близько 0,05–0,07 мкГр/год.

Об'єм вибірок верховки з озер Підбірна та Глибоке, що використовували для дослідження, складав 60 особин (по 30 з кожної водойми), а з оз. Азбучин – 65 особин. Загалом було проаналізовано 125 особин.



Рис. 1. Карта-схема водойм у Чорнобильській зоні відчуження

Препарати риб для дослідження готували за методикою забарвлення кісткових утворень [8], згідно з якою знебарвлення особин пероксидом водню скорочує час, необхідний для обробки матеріалу. Дана методика глибокого забарвлення скелета є більш доступною, порівняно з пропонованими раніше [9].

Дослідження зосереджувались на вивченні аномалії скелета, зокрема викривленні хребта, зрощенні хребців, редукції відростків хребців, їх розгалуженні або появі додаткових, згідно [10]. Крім того, реєстрували аномалії хвостового плавця, щелеп, а також ребер.

Для оцінки аномалій скелета використовували наступні показники: 1) кількість аномалій – сума всіх випадків аномального розвитку скелета у вибірці; 2) частка особин із аномаліями – відсоток аномальних особин у вибірці; 3) загальний спектр аномалій – набір типів аномалій, представлених у всіх особин вибірки; 4) частка окремої аномалії – доля конкретного виду аномалії від суми всіх випадків аномального розвитку.

Статистичну обробку результатів виконували за критерієм хі-квадрат Пірсона з використанням програмного пакету Microsoft Excel 2013.

### Результати досліджень та їх обговорення

У результаті виконаних досліджень було отримано дані щодо наявності певних типів морфологічних аномалій скелета в особин верховки з оз. Підбірна в околицях м. Києва (референтна водойма), озер Глибоке та Азбучин (ЧЗВ). Були виявлені випадки викривлення

хребта, зрощення хребців, редукції відростків хребців, розгалуження відростків або появи додаткових, а також аномалій щелеп і ребер.

У розглянутій вибірці верховки з оз. Підбірна, що використовували в якості референтної водойми, було виявлено як аномальних особин, так і особин із відсутністю будь-яких змін. Для даної вибірки було отримано наступні показники: кількість аномалій – 8, частка особин з аномаліями – 23,3%, загальний спектр аномалій – 3. Частки викривлень хребта та редукції відростків становили по 12,5 %, частка розгалужень/появ додаткових відростків складала 75% від усіх випадків аномалій.

У розглянутій вибірці верховки з оз. Глибоке (ЧЗВ) також було виявлено як аномальних особин (рис. 2), так і особин із відсутністю будь-яких змін. Для даної вибірки було отримано наступні показники: кількість аномалій – 9, частка особин з аномаліями – 30%, загальний спектр аномалій – 2. Частка редукції відростків становила 11,1%, частка розгалужень/появ додаткових відростків складала 88,9% від усіх випадків аномалій.

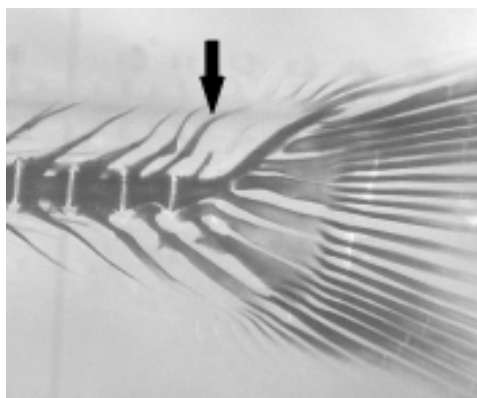


Рис. 2. Аномалія скелета верховки з оз. Глибоке: поява додаткового відростка (забарвлення алізарином S; Об.×4, Ок.×8)

У розглянутій вибірці верховки з оз. Азбучин також було виявлено як аномальних особин, так і особин із відсутністю будь-яких змін. Для даної вибірки було отримано наступні показники: кількість аномалій – 32, частка особин з аномаліями – 47,7%, загальний спектр аномалій – 3. Частка розгалужень або появи додаткових відростків складала 93,8% (рис. 3), частки зрощень хребців (рис. 4) та аномалій щелепи (рис. 5 а) становили по 3,1% від усіх випадків аномалій. Для порівняння наведено зображення особини без виявлених аномалій щелепи (рис. 5 б).

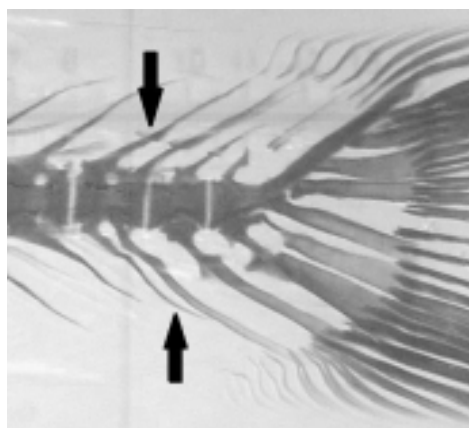


Рис. 3. Аномалії скелета верховки з оз. Азбучин: поява двох додаткових відростків хребця (забарвлення алізарином S; Об.×4, Ок.×8)

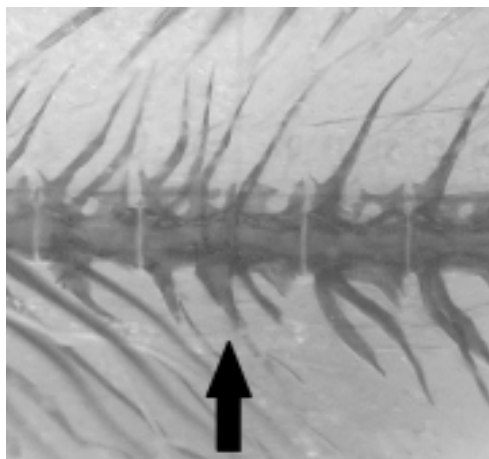


Рис. 4. Аномалії скелета верховки з оз. Азбучин: зрощення хребців та роздвоєння невральних дуг хребців (забарвлення алізарином S; Об.×4, Ок.×8)

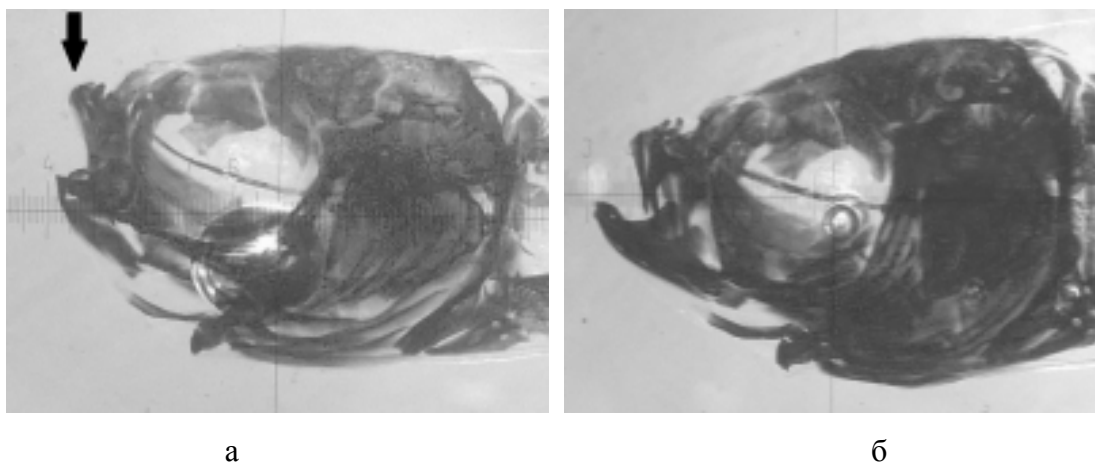


Рис. 5. Аномальна (а) та нормальна (б) щелепи верховки з оз. Азбучин (забарвлення алізарином S; Об.×2, Ок.×8)

Залежність розподілу морфологічних аномалій скелета верховки (у частках окремих типів аномалій від загальної кількості) від рівня радіонуклідного забруднення досліджених водойм представлено на рис. 6.

Окремо слід зазначити, що у всіх трьох вибірках спостерігали високу частотність особин із аномаліями (викривленням) ребер. Для оз. Підбірна частка таких особин становила 84%, для оз. Глибоке – 91%, для оз. Азбучин – 82%. При цьому ступінь аномального викривлення ребер в особин з оз. Підбірна, що характеризується фоновими рівнями радіонуклідного забруднення, був значно нижчим, ніж в особин з озер, що відзначаються високими рівнями забруднення. Це явище потребує додаткових досліджень і може свідчити про зв'язок появи даного типу аномалій з іншими факторами антропогенного навантаження, тому їх наявність не враховували при статистичному аналізі значимості впливу радіонуклідного забруднення водойм ЧЗВ на появу морфологічних аномалій.

Варто врахувати, що отримані значення спектрів аномалій можуть вказувати на дію інших факторів впливу на довкілля, типових для гідроекосистем урбанізованих ділянок, зокрема на особин з оз. Підбірна. Тому контрольна вибірка є відносною.

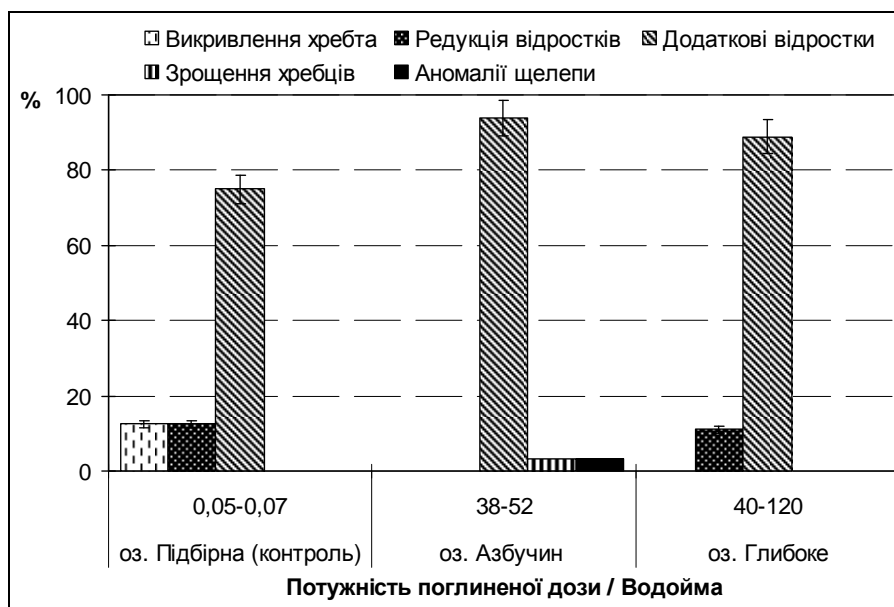


Рис. 6. Кількісні показники різних типів морфологічних аномалій у верховки звичайної в залежності від потужності поглиненої дози (мкГр/год)

При виявленні впливу фактора ризику, а саме рівня радіонуклідного забруднення, на появу морфологічних аномалій скелета риб за критерієм  $\chi^2$ -квдрат Пірсона встановлено статистичну значимість зв'язку між цими показниками при рівні значимості  $p < 0,05$ . У розрахунках використовували поправку Йейтса, зважаючи на окремі значення відповідних величин (від 5 до 9).

Таким чином, встановлено вірогідний вплив високих рівнів радіонуклідного забруднення і, відповідно, потужності поглиненої дози іонізуючого опромінювання для верховки звичайної, що мешкає у досліджуваних водоймах ЧЗВ (озерах Глибоке та Азбучин), на появу морфологічних аномалій осевого скелета.

### Висновки

У результаті дослідження вибірок верховки звичайної з озер Глибоке та Азбучин у ЧЗВ, що відзначаються високими рівнями радіонуклідного забруднення і потужності поглиненої дози, було виявлено наявність особин з морфологічними аномаліями скелета. Серед досліджених випадків аномального розвитку найбільшу частину складала поява додаткових відростків хребців. У дослідженій вибірці верховки з оз. Підбірна (референтна водойма), що характеризується фоновими рівнями радіонуклідного забруднення, було також зафіксовано випадки аномального розвитку.

Шляхом порівняння вибірок із озер Глибоке, Азбучин та референтної водойми встановлена наявність статистично значимого зв'язку між впливом радіонуклідного забруднення та появою морфологічних аномалій скелета у риб в озерах ЧЗВ.

Отримані результати можуть бути використані при проведенні моніторингових іхтіологічних та радіоекологічних досліджень у водоймах, що зазнали тривалого впливу радіонуклідного забруднення.

1. Крупные радиационные аварии: последствия и защитные меры / Р. М. Алексахин и др.; под ред. Л. А. Ильина, В. А. Губанова. М.: ИздАТ, 2001. 752 с.
2. Чернобыльская катастрофа / под ред. В. Г. Барьяхтара. К.: Наук. думка, 1995. 560 с.
3. Крышев И. И. Радиоэкологические последствия Чернобыльской аварии. М.: ИАЭ им. Курчатова, 1991. 103 с.
4. Гродзинський Д. М. Виступ учасника засідання. *Вісник НАН України*. 2011. № 5. С. 12–17.

5. Радіонукліди у водних екосистемах України. Вплив радіонуклідного забруднення на гідробіонти зони відчуження / М. І. Кузьменко та ін. Київ: Чорнобильінтерінформ, 2001. 318 с.
6. Радионуклиды в аборигенных видах рыб Чернобыльской зоны отчуждения / А. Е. Каглян и др. *Ядерная физика та енергетика*. 2012. Т. 13, № 3. С. 306–315.
7. Мовчан Ю. В., Смірнов А. І. Фауна України: в 40 т. Т. 8. Київ: Наукова думка, 1981. 428 с.
8. Якубовски М. Методы выявления и окраски системы каналов боковой линии и костных образований у рыб in toto. *Зоологический журнал*. 1970. Т. XLIX, Вып. 9. С. 1398–1402.
9. Taylor W. An enzyme method of clearing and staining small vertebrates. *Proc. U. S. Nat. Mus.* 1967. Vol. 122, № 3596. P. 1–17.
10. Yablokov N. O. Skeletal Anomalies in Juveniles of Siberian Grayling *Thymallus arcticus* (Pallas, 1776) from the Mana River (Middle Yenisei River System) under Artificial and Natural Reproduction. *J. Sib. Fed. Univ. Biol.* 2017. Vol. 10, № 3. P. 343–357.

## References

1. Krupnye radiacionnye аварии: posledstviya i zashitnye mery / R. M. Aleksahin i dr. Pod red. L. A. Ilina, V. A. Gubanova. M.: IzdAT, 2001. 752 s (in Russian).
2. Chernobylskaya katastrofa / Pod red. V. G. Baryahara. K.: Nauk. dumka, 1995. 560 s (in Russian).
3. Kryshev I. I. Radioekologicheskie posledstviya Chernobylskoj аварии. M.: IAE im. Kurchatova, 1991. 103 s (in Russian).
4. Grodzynskiy D. M. Vistup uchasnika zasidannya. *Visnyk NAN Ukrayiny*. 2011. № 5. S. 12–17 (in Ukrainian).
5. Radionuklidy u vodnyh ekosystemah Ukrayiny. Vplyv radionuklidnogo zabrudnennya na gidrobionty zony vidchuzhennya / M. I. Kuzmenko ta in. Kyiv: Chornobylinterinform, 2001. 318 s (in Ukrainian).
6. Radionuklidy v aborigennyh vidah ryb Chernobylskoj zony otchuzhdeniya / A. E. Kaglyan i dr. *Yaderna fizyka ta energetyka*. 2012. Т. 13, № 3. S. 306–315 (in Russian).
7. Movchan Yu. V., Smirnov A. I. Fauna Ukrayiny: v 40 t. Т. 8. Kyiv: Naukova dumka, 1981. 428 s (in Ukrainian).
8. Yakubovski M. Metody vyyavleniya i okraski sistemy kanalov bokovoj linii i kostnyh obrazovanij u ryb in toto. *Zoologicheskij zhurnal*. 1970. Т. XLIX, vyp. 9. S. 1398–1402 (in Russian).
9. Taylor W. An enzyme method of clearing and staining small vertebrates. *Proc. U. S. Nat. Mus.* 1967. Vol. 122, № 3596. P. 1–17.
10. Yablokov N. O. Skeletal Anomalies in Juveniles of Siberian Grayling *Thymallus arcticus* (Pallas, 1776) from the Mana River (Middle Yenisei River System) under Artificial and Natural Reproduction. *J. Sib. Fed. Univ. Biol.* 2017. Vol. 10, № 3. P. 343–357.

<sup>1</sup>V. V. Pavlovskiy, <sup>2</sup>Ch. D. Ganzha, <sup>2</sup>I. I. Abramiuk, <sup>2</sup>O. Ye. Kahlian, <sup>2</sup>D. I. Gudkov

<sup>1</sup>Taras Shevchenko National University of Kyiv, ESC «Institute of Biology and Medicine», Ukraine

<sup>2</sup>Institute of Hydrobiology, NAS of Ukraine

## SKELETAL ANOMALIES OF FISH IN WATER BODIES WITH DIFFERENT LEVELS OF RADIOACTIVE CONTAMINATION

The development features of morphological anomalies of the sunbleak (*Leucaspius delineates* Heckel) skeleton in water bodies, characterized by background (neighbourhood of Kyiv City) and high (Chernobyl exclusion zone) levels of radionuclide contamination were studied. The impact of radionuclide contamination on the appearance of morphological skeletal anomalies of fish was established. The level of radiation background of the natural environment is constantly increasing due to the continuous flow of radioactive substances into the aquatic and terrestrial ecosystems. The causes of the significant deterioration of the existing state are the emergencies at the nuclear fuel cycle enterprises, related to the radionuclide emissions, among which the Chernobyl NPP accident is the most massive catastrophe in the history of nuclear energy, both in terms of the amount of radioactive substances that have been released into the environment and the area of territories that have been contaminated. Despite the fact that part of the radionuclides has decayed more than three decades after the accident, other long-lived substances remain sources of additional ionizing radiation in the environment. This necessitates the study and evaluation of all processes related to radioactive contamination. One of the important tasks of radioecology is to study the characteristics of the receipt, migration and accumulation of radioactive substances by components of aquatic biogeocenosa and

their impact on the biota. The radionuclides released into aquatic ecosystems migrate and are most effectively accumulated by the upper trophic levels to which the fish belongs, serving as an important object of radioecological monitoring. The relevance of this study is to detect the influence of radionuclide contamination on the appearance of morphological skeletal anomalies in the fish species typical for the reservoirs of the Chernobyl Exclusion Zone, which is a representative exemplar of fresh aquatic ecosystems, taking into account the peculiarities of its way of existence. The novelty of the work is determined by the fact that for the mentioned reservoirs the relevant study was conducted for the first time.

*Key words: Chernobyl exclusion zone, radioactive contamination, aquatic ecosystems, fish, skeletal anomalies.*

Надійшла 15.08.2019.