

Ribogospod. nauka Ukr., 2023; 4(66): 49-68  
DOI: <https://doi.org/10.61976/fsu2023.04.049>  
UDC 595.384.16:628.394.1(28)

Received: 05.10.23  
Received in revised form: 16.11.23  
Accepted: 28.11.23

**LEVELS OF ACCUMULATION  
OF HEAVY METALS AND  
ACTIVITY OF RADIONUCLIDES  
IN NARROW-CLAWED CRAYFISH  
(*ASTACUS LEPTODACTYLUS*  
ESCHSCHOLTZ, 1823) OF  
THE KAMIANSKE AND  
ZAPORIZHZHIA (DNIPRO)  
RESERVOIRS**

**P. Korzhenevska**, red09line@gmail.com,  
Oles Honchar Dnipro National University,  
Dnipro

**O. Marenkov**, gidrobions@gmail.com,  
Oles Honchar Dnipro National University,  
Dnipro

**I. Borovyk**, vanbor17@gmail.com, Oles  
Honchar Dnipro National University,  
Dnipro

**V. Sondak**, v.v.sondak@nuwm.edu.ua,  
National University of Water and  
Environmental Engineering, Rivne

**РІВНІ НАКОПИЧЕННЯ  
ВАЖКИХ МЕТАЛІВ ТА  
АКТИВНОСТІ РАДІОНУКЛІДІВ  
У ВУЗЬКОПАЛИХ РІЧКОВИХ  
РАКАХ (*ASTACUS LEPTODA-*  
*STYLUS* ESCHSCHOLTZ, 1823)  
КАМ'ЯНСЬКОГО ТА ЗАПО-  
РІЗЬКОГО (ДНІПРОВСЬКОГО)  
ВОДОСХОВИЩ**

**П. О. Корженевська**, red09line@gmail.com,  
Дніпровський національний універси-  
тет імені Олеся Гончара, м. Дніпро

**О. М. Маренков**, gidrobions@gmail.com,  
Дніпровський національний універси-  
тет імені Олеся Гончара, м. Дніпро

**І. І. Боровик**, vanbor17@gmail.com,  
Дніпровський національний універси-  
тет імені Олеся Гончара, м. Дніпро

**В. В. Сондак**, v.v.sondak@nuwm.edu.  
ua, Національний університет водного  
господарства та природокористування,  
м. Рівне

**Purpose.** To determine the content of heavy metals as well as natural and artificial radionuclides in muscle tissue and carapaces of narrow-clawed crayfish *Astacus leptodactylus* of the Kamianske and Zaporizhzhia (Dnipro) reservoirs.

**Methodology.** The material for the study were narrow-clawed crayfish collected in the spring period (March-April) 2021 in the coastal zone of the Kamianske and Zaporizhzhia (Dnipro) reservoirs. The collection of material was carried out with standard open-type crayfish traps with a mesh size No. 20, manual collection in the littoral zone as well as with the help of special baited traps. Carapaces and muscle tissue of crayfish were used to determine the content of heavy metals and radionuclides. Preparation of samples for measuring the content of heavy metals and radionuclides was carried out by separating crayfish tissues with subsequent homogenization and concentration (drying and incineration) of the collected material. The samples were dried

**Мета.** Визначити вміст важких металів та природних і штучних радіонуклідів у м'язовій тканині та карапаксі річкових раків *Astacus leptodactylus* Кам'янського та Запорізького (Дніпровського) водосховищ.

**Методика.** Матеріалом для досліджень слугували особини річкових раків виду *A. leptodactylus*, зібрані у весняний період (березень–квітень) 2021 р. на ділянках прибережної зони Кам'янського та Запорізького (Дніпровського) водосховищ. Збір матеріалу здійснювали за допомогою стандартних раколовок відкритого типу із сітки № 20 ручним збором у прибережній зоні, а також за допомогою спеціальних пасток із приманками. Для визначення вмісту важких металів та активності радіонуклідів використовували карапакси та м'язову тканину раків. Підготовку проб до вимірювання вмісту важких металів та радіонуклідів проводили шляхом відокремлення тканин раків з наступною гомогенізацією та концентра-



at a temperature of +105°C to a constant weight, and then incinerated at a temperature of +450°C to obtain white ash. The content of radionuclides was determined on a gamma-beta spectrometer SE-BG-01 "AKP". The content of heavy metals was determined on an atomic absorption spectrophotometer C115-M1 with a flame analyzer.

**Findings.** Zn, Fe, and Cu were actively accumulated in the muscle tissue of crayfish of the Kamianske and Zaporizhzhia (Dnipro) reservoirs. This fact is explained by the intensive accumulation of elements in crayfish body that actively occurred in the course of physiological processes. Heavy metals such as Mn, Pb, Co were the most accumulated in crayfish carapace. The minimum content of heavy metals was found for Cd. It was found that Pb, Cu, Zn and Cd contents exceed the MACs in muscles of crayfish of the Zaporizhzhia (Dnipro) reservoir by 8, 6, 6.2 and 1.65 times, respectively. The norms for the content of heavy metals in the muscle tissue of river crayfish have not been established in Ukraine today, however, a comparison of the data we obtained with the norms for live fish shows a significant excess for almost all heavy metals examined. It was found that the level of radionuclide activity of in the muscle tissue of decapods of both investigated reservoirs was due to  $^{40}\text{K}$ , in the carapaces —  $^{226}\text{Ra}$ ;  $^{90}\text{Sr}$  activity was minimal in muscles, and  $^{226}\text{Ra}$  activity in carapaces. Accumulation of studied radionuclides in crayfish did not exceed the MACs for crayfish as a food product.

**Originality.** For the first time, the levels of accumulation of heavy metals and the activity of radionuclides in the muscle tissue and carapace of narrow-clawed crayfish of the Kamianske and Zaporizhzhia (Dnipro) reservoirs were determined. The content of toxic elements that are subject to control in food raw materials and food products according to the MACs in crayfish of the Kamianske and Zaporizhzhia (Dnipro) reservoirs was determined.

**Practical value.** The results of the work can be used during monitoring of the ecotoxicological and radioecological conditions of the aquatic environment. Also, the obtained results can be applied in the study of narrow-clawed crayfish of the Dnieper River basin.

**Keywords:** heavy metals, radionuclides, accumulation coefficient, MAC, crayfish, Zaporizhzhia (Dnipro) Reservoir, Kamianske Reservoir.

цією (висушування та озоління) відібраного матеріалу. Проби висушували при температурі +105°C до постійної маси, а потім спопеляли при температурі +450°C до отримання білої золи. Вміст радіонуклідів визначали на гама-бета спектрометрі «СЕ-БГ-01 «АКП»». Вміст важких металів визначали на атомно-абсорбційному спектрофотометрі «С115-М1» з полум'яним аналізатором.

**Результати.** У м'язовій тканині *A. leptodactylus* Кам'янського та Запорізького (Дніпровського) водосховищ активно накопичувалися Zn, Fe та Cu. Це явище пояснюється інтенсивною акумуляцією в організмах раків елементів, які беруть активну участь у перебігу фізіологічних процесів. У карапаксах раків найбільше акумулювались такі важкі метали як Mn, Pb, Co. Мінімальний вміст серед важких металів був встановлений для Cd. Норми вмісту їх у м'язовій тканині річкових раків на сьогодні в Україні не встановлені, проте порівняння отриманих нами даних з нормами для живої риби показує значне перевищення практично за всіма дослідженими важкими металами. Максимальний рівень активності радіонуклідів у м'язовій тканині декапод обох досліджуваних водойм належить  $^{40}\text{K}$ , у карапаксах —  $^{226}\text{Ra}$ ; мінімальна активність у м'язах  $^{90}\text{Sr}$ , а у карапаксах —  $^{226}\text{Ra}$ . Рівні накопичення досліджуваних радіонуклідів в раках не перевищували ГДК для раків як харчового продукту.

**Наукова новизна.** Вперше установлені рівні накопичення важких металів та активність радіонуклідів у м'язовій тканині та карапаксах річкових раків *Astacus leptodactylus* Кам'янського та Запорізького (Дніпровського) водосховищ. Визначено вміст токсичних елементів, які підлягають контролю в продовольчій сировині і харчових продуктах, згідно з ГДК у раків Кам'янського та Запорізького (Дніпровського) водосховищ.

**Практична значимість.** Результати роботи можуть бути використані під час моніторингу екотоксикологічного та радіоекологічного станів водного середовища. Також отримані результати можуть бути застосовані при дослідженні річкових раків басейну Дніпра.

**Ключові слова:** важкі метали, радіонукліди, коефіцієнт накопичення, ГДК, річковий рак, Запорізьке (Дніпровське) водосховище, Кам'янське водосховище.



## PROBLEM STATEMENT AND ANALYSIS OF LAST ACHIEVEMENTS AND PUBLICATIONS

Currently, crayfish are important invertebrates of Ukrainian freshwater bodies, which have high commercial value. According to the State Agency for the Development of Land Reclamation, Fisheries and Food Programs, the commercial catch of crayfish from the Dnieper reservoirs in 2022 amounted to 3.25 tons.

In addition, crayfish can be used as bioindicators during cadastral assessments of water bodies and when testing the quality of water coming from treatment plants to residential areas [1].

Crayfish, which form commercial populations in small rivers and water bodies unsuitable for fish farming, can prevent the overgrowth of shallow waters, maintain the stability of aquatic ecosystems and restrain oligotrophic-eutrophic succession. According to foreign scientists, the disappearance of crayfish from autochthonous biocenoses indicates serious disturbances in the functioning of aquatic ecosystems, which threatens further degradation of water bodies [2].

According to Ulman E. Zh. [3] scientific works on the study of crayfish on the cascade of Dnieper reservoirs has been carried out at the Ukrainian Scientific and Research Institute of Fisheries until 1987. In 1995, studies on the biology of crayfish began at the Institute of Fisheries of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine. But, despite the conducted studies of narrow-clawed crayfish [4–7], the amount of reference data on the accumulation of pollutants by crayfish is insufficient.

## ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ ТА АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

На сучасному етапі річкові раки є важливими безхребетними прісноводних водойм України, що мають цінне промислове значення. За даними Державного агентства розвитку меліорації, рибного господарства та продовольчих програм, протягом 2022 р. промисловий вилов раків з дніпровських водосховищ становив 3,25 т.

Також річкові раки можуть використовуватися як біоіндикатори при кадастрових оцінках водойм та під час тестування якості вод, що надходять з очисних станцій у житлові пункти [1].

Річкові раки, створюючи промислової популяції в непридатних для рибництва малих річках та водоймах, можуть перешкоджати заростанню мілководь, підтримувати стійкість водних екосистем та стримувати оліготрофно-евтрофну сукцесію. Зникнення річкових раків зі складу автохтонних біоценозів, на думку закордонних науковців, свідчить про серйозні порушення у функціонуванні водних екосистем, що загрожує подальшою деградацією водойм [2].

За даними Ульмана Е. Ж. [3], наукові роботи з вивчення річкових раків на каскаді Дніпровських водосховищ проводили в Українському науково-дослідному інституті рибного господарства до 1987 р. У 1995 р. на базі Інституту рибного господарства Національної академії аграрних наук України розпочались дослідження біології раків. Однак, незважаючи на проведені дослідження річкових раків [4–7], кількість довідкових даних про накопичення ними поллютантів недостатня.



## HIGHLIGHT OF THE EARLIER UNRESOLVED PARTS OF THE GENERAL PROBLEM. AIM OF THE STUDY

In recent decades, the ecosystems of freshwaters of Ukraine have experienced significant anthropogenic pressure with agrarian and industrial disruption of the natural balance. Among the pollutants of priority interest for the biomonitoring system, heavy metals and radionuclides are among the most important. Special interest in them is caused, first of all, by their high ecotoxicity in relation to hydrobionts and humans.

As it is known, the chitinous shell of crustaceans is a biosorbent that limits the entry of heavy metals and radionuclides into the body and increases the toxic resistance of animals [8, 9]. Unlike pollutants of organic origin, most of which are destroyed over time, heavy metals retain their biological activity for a long time. Therefore, the hazard of heavy metals lies not only in their high toxicity, but also in their ability to accumulate in living organisms and migrate through food chains. At the same time, such heavy metals as Fe, Zn, Mn are essential — that is, they are vital in physiological concentrations for regulatory functions in the animal body.

The radioecological situation in the Zaporizhzhia (Dnipro) and Kamyanske reservoirs is determined by periods of global fallout of artificial radioactive substances, which occurred as a result of the accident at the Chernobyl nuclear power plant, as a result of the operation of enterprises of the primary nuclear fuel cycle (Kamyanske City, Zhovti Vody City). Aquatic plants and animals play an important role in the migration of radionuclides in the aquatic environment and are the main link in the food chain through which they can get from the hydrosphere to the human body [10].

Crayfish belong to the group of ben-

## ВИДІЛЕННЯ НЕВИРШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ. МЕТА РОБОТИ

Останніми десятиріччями екосистеми прісноводних водойм України відчувають значний антропогенний тиск з аграрно-промисловим порушенням природної рівноваги. Серед забруднювальних речовин, що являють пріоритетний інтерес для системи біомоніторингу, важкі метали та радіонукліди є одними з найважливіших. Особлива увага до них викликана, насамперед, їхньою високою екотоксичністю стосовно гідробіонтів і людини.

Як відомо, хітиновий покрив ракоподібних є біосорбентом, що обмежує надходження важких металів та радіонуклідів до організму й підвищує токсикорезистентність тварин [8, 9]. На відміну від забруднювальних речовин органічного походження, більша частина яких із часом зазнає деструкції, важкі метали зберігають біологічну активність досить довго. Тому небезпека важких металів полягає не тільки в їхній високій токсичності, але й у здатності акумулюватися в живих організмах і мігрувати харчовими ланцюгами. Водночас, такі важкі метали, як Fe, Zn, Mn, є есенціальними — тобто вони у фізіологічних концентраціях є життєво необхідними для здійснення регуляторних функцій в організмі тварин.

Радіоекологічна ситуація в Запорізькому (Дніпровському) та Кам'янському водосховищах визначається періодами глобальних випадіннь штучних радіоактивних речовин, які виникли внаслідок аварії на ЧАЕС, наслідками роботи підприємств первинного ядерно-паливного циклу (місто Кам'янське, місто Жовті Води). Водяні рослини й тваринні організми відіграють важливу роль у міграції радіонуклідів у водному середовищі і є основною ланкою харчового ланцюга, якою вони можуть потрапити



thic organisms and live in bottom biotopes of water bodies. Therefore, they have the ability to accumulate various pollutants not only from water but also from bottom sediments. In this regard, studies were conducted on the accumulation of heavy metals in the muscle tissue and carapaces of crayfish of the Kamianske and Zaporizhzhia (Dniprovskе) reservoirs.

The purpose of the work was to determine the content of heavy metals as well as natural and artificial radionuclides in the muscle tissue and carapace of narrow-clawed crayfish *Astacus leptodactylus* of the Kamianske and Zaporizhzhia (Dni-pro) reservoirs.

## MATERIALS AND METHODS

The material for the study were narrow-clawed crayfish collected in the spring period (March–April) of 2021 in the littoral zone of the Kamianske (Shulgivka village, 48°42'35"N 34°21'14"E) and Zaporizhzhia (Dni-pro) (Karnaukhivka village, 48°28'39"N 34°45'14"E) reservoir (Fig. 1).

The collection of material was carried out with the help of standard open-type crayfish traps with a mesh size No. 20, manual collection in the littoral zone

із гідросфери до організму людини [10].

Річкові раки належать до групи бентосних організмів і мешкають в придонних біотопах водойм, тому вони мають здатність акумулювати різноманітні політанти не лише з води, а також із донних відкладень. У зв'язку з цим, метою нашої роботи було визначення вмісту важких металів та природних і штучних радіонуклідів у м'язовій тканині та карапаксах річкових раків *Astacus leptodactylus* Кам'янського та Запорізького (Дніпровського) водосховищ.

## МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Матеріалом для досліджень слугували особини річкових раків виду *A. leptodactylus*, зібрані у весняний період (березень–квітень) 2021 р. на ділянках прибережної зони Кам'янського (село Шулгівка, 48°42'35"N 34°21'14"E) і Запорізького (Дніпровського) (село Карнаухівка, 48°28'39"N 34°45'14"E) водосховищ (рис. 1).

Збір матеріалу здійснювали за допомогою стандартних раколовок відкритого типу із сітки № 20, ручним збором у

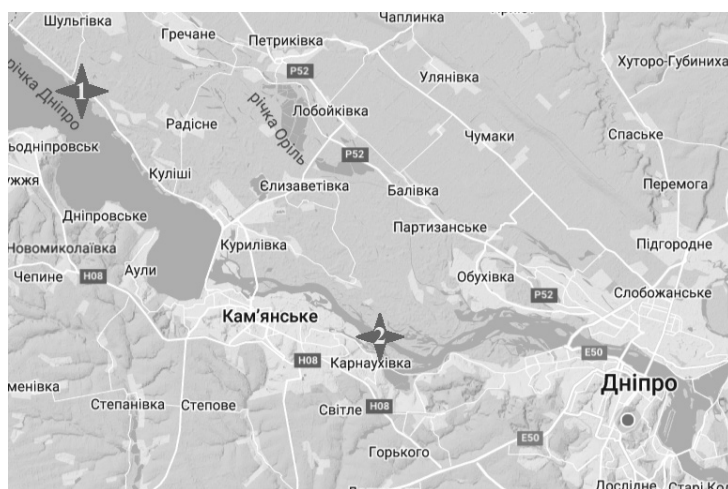


Fig. 1. Sampling stations



as well as with the help of special baited traps. A total of 60 specimens of crayfish from both reservoirs were processed during the study. Carapace and muscle tissue of crayfish were used to determine the content of heavy metals and radionuclides. Preparation of samples for measuring the content of heavy metals and radionuclides activity was carried out by separating crayfish tissues, followed by homogenization and concentration (drying and incineration) of the collected material. The samples were dried at a temperature of +105°C to a constant weight, and then incinerated at a temperature of +450°C until white ash was obtained.

The radionuclide activity was determined on a gamma-beta spectrometer SE-BG-01 "AKP". The content of heavy metals was determined on a C115-M1 atomic absorption spectrophotometer with a flame analyzer.

Statistical processing of data was carried out using Statistica 8.0 (StatSoftInc, USA). All data are presented as the arithmetic mean and standard error of the sample [11].

## STUDY RESULTS AND THEIR DISCUSSION

A comparative analysis of the content of heavy metals in the muscle tissue and carapace of crayfish from the Kamianske and Zaporizhzhia (Dnipro) reservoirs showed some features of their distribution and accumulation in the examined tissues (Fig. 2).

**Iron.** The highest accumulation of Fe was observed in the muscle tissue of crayfish. In crayfish of the Kamianske Reservoir, the content of Fe ions in the muscles exceeded that of the carapace by 85.9 times. A similar pattern was also observed in individuals from the Zaporizhzhia (Dni-

прибережній зоні, а також за допомогою спеціальних пасток із приманками. Загалом під час досліджень оброблено 60 екз. річкових раків з обох водосховищ. Для визначення вмісту важких металів і радіонуклідів використовували карапакс та м'язову тканину раків. Підготовку проб до вимірювання вмісту важких металів та активності радіонуклідів проводили шляхом відокремлення тканин раків з наступною гомогенізацією та концентрацією (висушування та озоління) відібраного матеріалу. Проби висушували при температурі +105°C до постійної маси, а потім спопеляли при температурі +450°C до отримання білої золи.

Активність радіонуклідів визначали на гама-бета спектрометрі «СЕ-БГ-01 «АКП»». Вміст важких металів визначали на атомно-абсорбційному спектрофотометрі «С115-М1» з полум'яним аналізатором.

Статистичну обробку даних проводили за допомогою програмних пакетів для персональних комп'ютерів «Statistica 8.0» («StatSoftInc», США). Усі дані представлені як середнє арифметичне вибірки та стандартна помилка [11].

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Порівняльний аналіз вмісту важких металів в м'язовій тканині та карапаксах *A. leptodactylus* із Кам'янського та Запорізького (Дніпровського) водосховищ виявив деякі особливості їх розподілу та накопичення у досліджених тканинах (рис. 2).

**Залізо.** У найбільшій кількості накопичення Fe відзначалося у м'язовій тканині річкових раків. Вміст іонів Fe у м'язах раків Кам'янського водосховища перевищував значення цього показника у карапаксах в 85,94 рази. Аналогічна картина також відмічалася у особин із



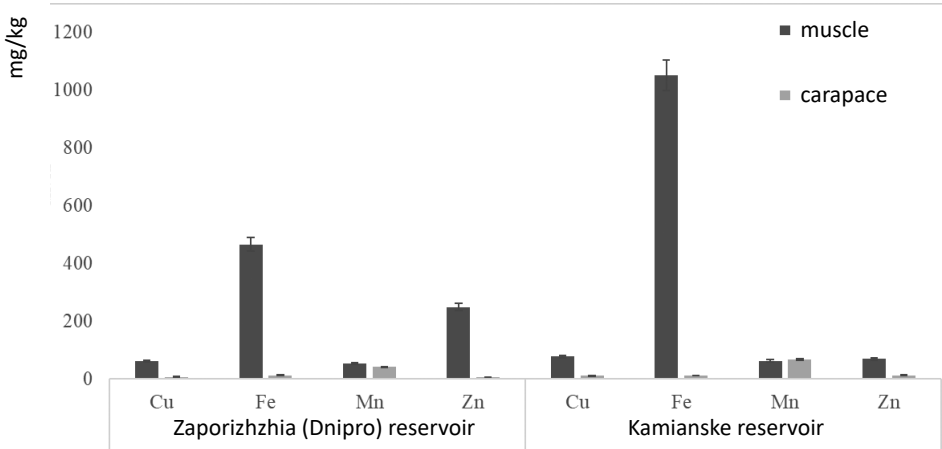


Fig. 2. Levels of heavy metal contents in crayfish of the Kamianske and Zaporizhzhia (Dnipro) reservoirs, mg/kg

pro) reservoir: Fe content was 34.9 times higher in the muscles than in the carapace (Fig. 2).

The Fe content in the muscles of crayfish from the Kamianske Reservoir exceeded that in the muscles of crayfish from the Zaporizhzhia (Dniprovske) Reservoir by 2.3 times. The highest concentration of iron ions was found in the carapaces of crayfish from the Zaporizhzhia (Dnipro) reservoir, which exceeded that observed in individuals from the Kamianske reservoir by 1.1 times.

As it is well known, iron in the body of hydrobionts is part of many enzymes that participate in redox reactions and mainly in the process of respiration. However, an excessive dose of iron can cause toxic effects and suppress the body's antioxidant system [12].

**Zinc.** In the body of hydrobionts, zinc acts as an essential element, therefore its content in the muscles of crayfish from both reservoirs was high and significantly exceeded the content of Zn in the carapace. In particular, this content was 5.2 times higher in crayfish of the Kamianske reservoir, and 33.3 times higher in the Zaporizhzhia (Dnipro) reservoir (Fig. 2). It was noted that Zn in the muscles of crayfish

Запорізького (Дніпровського) водосховища: вміст Fe у м'язах був у 34,86 раза більшим, ніж у карапаксах (рис. 2).

Вміст Fe в м'язах раків Кам'янського водосховища перевищував даний показник у м'язах раків Запорізького (Дніпровського) водосховища в 2,26 раза. Найбільша концентрація іонів заліза виявлена у карапаксах раків Запорізького (Дніпровського) водосховища, перевищуючи цей показник у особин із Кам'янського водосховища в 1,09 раза.

Як відомо, у організмі гідробіонтів залізо входить до складу багатьох ферментів, які беруть участь в окисно-відновних реакціях, та головним чином у процесі дихання. Проте, надлишкова доза заліза може зумовлювати токсичний вплив і пригнічувати антиоксидантну систему організму [12].

**Цинк.** В організмах гідробіонтів цинк є есенціальним елементом, тому його вміст в м'язах раків обох водосховищ був високим і значно перевищував такий у карапаксах, зокрема, у раках Кам'янського водосховища — в 5,21 раза, у Запорізькому (Дніпровському) — в 33,32 раза (рис. 2). Відмічено, що Zn у м'язах раків Запорізького (Дніпровського) водосховища накопичилось в 3,58 раза більше, ніж у відповідних тканинах



of the Zaporizhzhia (Dniprovske) Reservoir accumulated 3.6 times more than in the muscles of crayfish of the Kamianske Reservoir. But in the carapaces of invertebrates from the Kamianske reservoir, the concentration of Zn was 84.6% (1.9 times) higher than in the carapaces of individuals from the Zaporizhzhia (Dnipro) reservoir.

**Manganese.** In crayfish from the Kamianske Reservoir, the manganese content in the carapace was 6.2% higher than in the muscles. Manganese content in samples from the Zaporizhzhia (Dnipro) reservoir showed the opposite situation — the concentration in the muscles was 32.2% higher than in the carapace (Fig. 2).

The highest content of manganese in the muscles of crayfish was observed in individuals from the Kamianske Reservoir. The concentration of manganese in crayfish from the Zaporizhzhia (Dnipro) reservoir was 0.9 times less (13.9%).

The manganese content in the carapaces of crayfish from the Kamianske Reservoir was also 1.6 times higher than that of crayfish from the Zaporizhzhia (Dnipro) Reservoir.

The biological role of manganese in hydrobiont organisms is implemented through enzymes activated by this element and has an effect on phosphorus-calcium exchange [13]. The high content of manganese as well as iron can be explained by the fact that both reservoirs are located in the areas of natural deposits of these ores.

**Cuprum.** The concentration of Cu in the muscles of crayfish of the Kamianske Reservoir was 7.2 times higher than in the carapace (Fig. 2). Similarly, the Cu content in muscles of invertebrates of the Zaporizhzhia (Dnipro) reservoir were 7.8 times higher than in carapaces.

The Cu content in the muscles and carapaces of crayfish from the Kamianske Reservoir exceeded that observed in individuals from the Zaporizhzhia (Dnipro)

раків Кам'янського водосховища. Але у карапаксах безхребетних Кам'янського водосховища концентрація Zn була на 84,56% (1,85 раза) вищою, ніж у карапаксах особин із Запорізького (Дніпровського) водосховища.

**Манган.** У раках Кам'янського водосховища вміст мангану в карапаксах був на 6,24% більшим ніж у м'язах. Показники вмісту мангану у зразках із Запорізького (Дніпровського) водосховища демонстрували протилежну ситуацію — концентрація у м'язах була більшою, ніж у карапаксах, на 32,20% (рис. 2).

Найбільший вміст мангану у м'язах раків спостерігали у особин із Кам'янського водосховища. Концентрація мангану у раків із Запорізького (Дніпровського) водосховища була меншою у 0,86 раза (13,85%).

Рівень вмісту мангану у карапаксах раків із Кам'янського водосховища також був більшим, у порівнянні з раками Запорізького (Дніпровського) водосховища у 1,61 раза.

Біологічна роль мангану в організмах гідробіонтів реалізується через ферменти, що активуються цим елементом, та має вплив на фосфорно-кальцієвий обмін [13]. Високий вміст мангану, як і заліза, можна пояснити тим, що обидва водосховища знаходяться в зонах природних родовищ цих руд.

**Купрум.** Концентрація Cu у м'язах раків Кам'янського водосховища була у 7,16 раза більшою, ніж у карапаксах (рис. 2). Аналогічно, показники вмісту Cu у м'язах безхребетних Запорізького (Дніпровського) водосховища були у 7,77 раза вищими, ніж у карапаксах.

Вміст Cu в м'язах та карапаксах *A. leptodactylus* Кам'янського водосховища перевищував такі ж показники у особин із Запорізького (Дніпровського) водосховища на 24,12 та 34,65% відповідно.





Reservoir by 24.1% and 34.7%, respectively.

The biological role of this element is related to the inclusion of copper in the composition of redox enzymes and a number of copper-containing proteins, in addition, copper is necessary for the synthesis of hemolymph of crayfish. But excessive concentrations of this element in the body can have a negative effect on it [14].

**Cobalt.** In crayfish of the Kamianske Reservoir, the Co content in the carapace and muscles was almost at the same level. But in individuals from the Zaporizhzhia (Dnipro) reservoir, the Co content in the carapace was higher than in the muscles by 3.8% (Fig. 3).

The highest Co content was accumulated in crayfish from the Kamianske Reservoir: the Co concentration in the muscles and carapaces of crayfish from this reservoir was 10.0% and 6.0% higher than that of the Zaporizhzhia (Dnipro) Reservoir, respectively, and did not differ significantly in all studied samples.

**Nickel.** In the aqueous medium, Ni is mainly represented by dissolved ions. The highest accumulation of Ni was recorded in the muscles and carapaces of crayfish from the Zaporizhzhia (Dnipro) reservoir

Біологічна роль цього елемента пов'язана із включенням купруму до складу окиснювально-відновних ферментів та низки купрумвмісних протеїнів; крім того, купрум необхідний для синтезу гемолімфи раків. Але надлишкові концентрації цього елемента в організмі можуть негативно впливати на нього [14].

**Кобальт.** У раках Кам'янського водосховища вміст Co у карапаксах та м'язах був майже на одному рівні, проте в особин із Запорізького (Дніпровського) водосховища вміст його у карапаксах був більшим, ніж у м'язах на 3,82% (рис. 3).

Найбільше накопичувався Co у особинах *A. Leptodactylus* із Кам'янського водосховища: концентрація його у м'язах та карапаксах раків цієї водойми була відповідно на 10,02 та 6,02% вищою, ніж у безхребетних Запорізького (Дніпровського) водосховища, та не відрізнялась суттєвими коливаннями у всіх досліджених зразках.

**Нікель.** У водному середовищі Ni в основному представлений розчиненими іонами. Найбільше накопичення Ni зафіксовано у м'язах та карапаксах раків Запорізького (Дніпровського) водосховища — відповідно на 34,24 і 8,99%

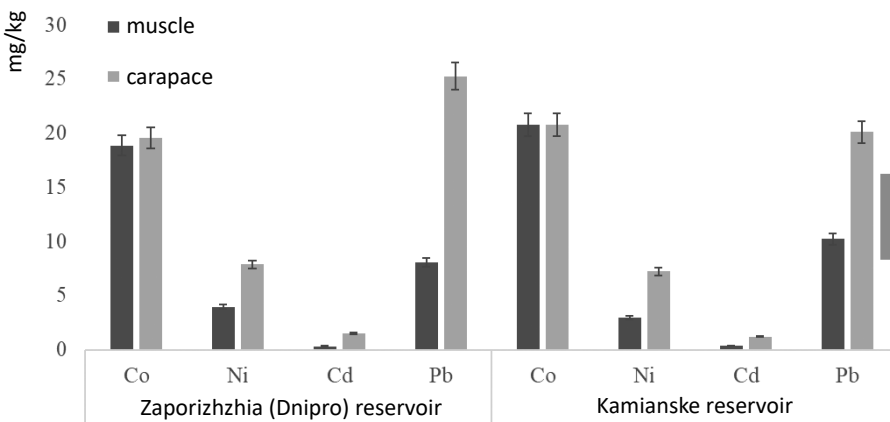


Fig. 3. Levels of heavy metals (Co, Pb, Ni, Cd) in crayfish of the Kamianske and Zaporizhzhia (Dnipro) reservoirs, mg/kg



— by 34.2% and 9.0% more than in individuals from the Kamianske reservoir, respectively.

The Ni content in the carapaces of crayfish of the Kamianske Reservoir was 2.5 times higher than in the muscles. Similarly, in the carapaces of crayfish of the Zaporizhzhia (Dniprovske) reservoir, Ni content was 2.0 times higher than in muscles.

**Lead.** The Pb content in the carapaces of crayfish of the Kamianske Reservoir was 2.0 times higher than in the muscles. Accumulation of Pb in the carapaces of crayfish of the Zaporizhzhia (Dnipro) reservoir also exceeded that in the muscles by 3.1 times.

This element was accumulated in larger quantities in the carapace of specimens from the Zaporizhzhya (Dniprovske) reservoir, it was 25.5% higher than that of crayfish from the Kamianske reservoir.

The highest Pb concentration in the muscles was found in crayfish from the Kamianske Reservoir, it exceeded the Pb content in those from the Zaporizhzhia (Dnipro) reservoir by 27.2%.

**Cadmium.** The concentration of Cd in the carapaces of crayfish of the Kamianske Reservoir was 2.6 times higher than in the muscles. Similarly, the Cd content in the carapace of crayfish of the Zaporizhzhia (Dnipro) Reservoir were 4.7 times higher than in the muscles.

The content of Cd in the muscles of crayfish from the Kamianske Reservoir exceeded that observed in individuals from the Zaporizhzhia (Dnipro) Reservoir by 18.2%. It was noted that the cadmium content in the crayfish carapace was 27.1% higher in samples from the Zaporizhzhia (Dnipro) reservoir than in the crayfish carapace of the Kamianske reservoir.

This element has properties to connect with the cytoplasmic and nuclear material of cells and damage them, change the

більше, ніж у особин із Кам'янського водосховища.

Вміст Ni у карапаксах раків Кам'янського водосховища був у 2,45 раза вищим, ніж у м'язах. Аналогічно, у карапаксах безхребетних Запорізького (Дніпровського) водосховища показники вмісту Ni були у 1,99 раза вищими, ніж у м'язах.

**Плюмбум.** Показник вмісту Pb у карапаксах *A. leptodactylus* Кам'янського водосховища був у 1,96 раза більшим, порівняно з таким у м'язах. Накопичення Pb у карапаксах раків Запорізького (Дніпровського) водосховища також перевищувало цей показник у м'язах у 3,14 раза.

Цей елемент у більшій кількості акумулювався у карапаксах раків із Запорізького (Дніпровського) водосховища, на 25,51% перевищуючи показник у особин Кам'янського водосховища.

Найбільша концентрація Pb у м'язах спостерігалася у раків Кам'янського водосховища, перевищуючи таку особин із Запорізького (Дніпровського) водосховища на 27,20%.

**Кадмій.** Концентрація Cd у карапаксах раків Кам'янського водосховища виявилася у 2,56 раза більшою, ніж у м'язах. Аналогічно, показники вмісту Cd у карапаксах *A. leptodactylus* Запорізького (Дніпровського) водосховища були у 4,70 раза вищими, ніж у м'язах.

Вміст Cd в м'язах раків з Кам'янського водосховища перевищував цей показник у особин Запорізького (Дніпровського) водосховища на 18,18%. Відмічено, що вміст кадмію був на 27,05% вищим у зразках карапаксів із Запорізького (Дніпровського) водосховища, порівняно з карапаксами раків Кам'янського водосховища.

Цей елемент має властивості зв'язуватись із цитоплазматичним і ядерним матеріалом клітин та ушкоджувати їх, змінювати активність багатьох гормонів



activity of many hormones and enzymes. This is explained by the fact that according to some chemical properties, cadmium is an analogue of zinc and therefore is able to replace it in biochemical reactions, for example, act as an inhibitor of enzymes and proteins that contain Zn [15].

It was established that heavy metals in the Kamianske Reservoir accumulated in various types of crayfish tissues as follows:

Muscles: Fe > Cu > Zn > Mn > Co > Pb > Ni > Cd;

Carapaces: Mn > Co > Pb > Zn > Fe > Cu > Ni > Cd.

The gradation of accumulation of heavy metals in the tissues of crayfish of the Zaporizhzhia (Dnipro) Reservoir can be represented as follows:

Muscles: Fe > Zn > Cu > Mn > Co > Pb > Ni > Cd;

Carapaces: Mn > Pb > Co > Fe > Cu > Ni > Zn > Cd.

Elements such as Mn, Pb, Co had the greatest ability to accumulate in the carapaces of the crayfish, while Zn, Fe, and Cu — in the muscle tissue. Cd, in comparison with all other investigated toxicants, was accumulated by animals in the smallest amount.

The norms for the content of heavy metals in the muscle tissue of river crayfish have not been established in Ukraine today, however, a comparison of the data we obtained with the norms for live fish [16] shows a significant excess for almost all heavy metals studied. Taking into account the traditional use of crayfish as a food resource in Ukraine, today there is a need for a more in-depth study of this issue with the establishment of appropriate standards for this group of aquatic biological resources.

**Natural radionuclides.** The study showed that natural radionuclides were most accumulated in the muscle tissue of crayfish in the studied reservoirs.

і ферментів. Це пояснюється тим, що за деякими хімічними властивостями кадмій є аналогом цинку, і тому здатний замінювати його в біохімічних реакціях — наприклад, виявлятися інгібітором ферментів та протеїнів, які містять Zn [15].

Встановлено, що в Кам'янському водосховищі важкі метали у різних типах тканин річкових раків накопичувались наступним чином:

М'язи: Fe > Cu > Zn > Mn > Co > Pb > Ni > Cd;

Карапакси: Mn > Co > Pb > Zn > Fe > Cu > Ni > Cd.

Градацію накопичення важких металів тканинами *A. leptodactylus* Запорізького (Дніпровського) водосховища можна представити в такий спосіб:

М'язи: Fe > Zn > Cu > Mn > Co > Pb > Ni > Cd;

Карапакси: Mn > Pb > Co > Fe > Cu > Ni > Zn > Cd.

Найбільшу здатність до акумуляції у карапаксах досліджених раків мали такі елементи як Mn, Pb, Co, а в м'язовій тканині — Zn, Fe та Cu. Cd, у порівнянні з усіма іншими дослідженими токсикантами, накопичувався тваринами в найменшій кількості.

Норми вмісту важких металів в м'язовій тканині річкових раків на сьогодні в Україні не встановлені, проте порівняння отриманих нами даних з нормами для живої риби [16] показує значне перевищення практично за всіма дослідженими важкими металами. Враховуючи традиційність використання річкових раків як харчового ресурсу в Україні, на сьогодні виникає потреба в більш поглибленому вивченні даного питання із встановленням відповідних нормативів саме для цієї групи водних біоресурсів.

**Природні радіонукліди.** Дослідження виявили, що природні радіонукліди найбільше накопичувались у м'язовій тканині річкових раків досліджених водосховищ.



$^{40}\text{K}$  activity was 455.6 times higher in muscle tissue of crayfish of the Zaporizhzhia (Dnipro) reservoir than in carapaces (Fig. 4). A similar picture was noted in the Kamianske Reservoir: the activity of  $^{40}\text{K}$  in the muscles of crayfish was 444.0 times higher than in the carapace.

The highest activity of  $^{40}\text{K}$  was observed in the muscles of crayfish of Kamianske reservoir.  $^{40}\text{K}$  exceeded this value by 49.9% in crayfish of the Zaporizhzhia (Dnipro) reservoir. Also, the activity of  $^{40}\text{K}$  in the carapaces of crayfish of the Kamianske Reservoir was 53.9% higher than that in the individuals of the Zaporizhzhia (Dnipro) Reservoir.

The highest activity of  $^{232}\text{Th}$  was noted in the muscle tissue of crayfish (Fig. 4). The activity of  $^{232}\text{Th}$  in the muscles of crayfish from the Kamianske Reservoir exceeded that in the carapace by 5.4 times. Similarly, individuals from the Zaporizhzhia (Dnipro) reservoir were noted: the activity of  $^{232}\text{Th}$  in the muscles was 11.9 times higher than in the carapace.

The activity of  $^{232}\text{Th}$  in the carapaces of crayfish from the Kamianske reservoir was 2.1 times higher than in the carapaces

У м'язовій тканині річкових раків Запорізького (Дніпровського) водосховища спостерігали у 455,62 раза більшу активність  $^{40}\text{K}$ , ніж у карапаксах (рис. 4). Аналогічну картину відмітили і в Кам'янському водосховищі: активність  $^{40}\text{K}$  у м'язах безхребетних була у 444,0 рази вищою, ніж у карапаксах.

Найбільшу активність  $^{40}\text{K}$  спостерігали у м'язах раків Кам'янського водосховища.  $^{40}\text{K}$  на 49,92% перевищував цей показник у *Astacus leptodactylus* Запорізького (Дніпровського) водосховища. Також, активність  $^{40}\text{K}$  у карапаксах безхребетних Кам'янського водосховища була на 53,85% більшою, ніж цей показник у особин із Запорізького (Дніпровського) водосховища.

Найбільшу активність  $^{232}\text{Th}$  відзначали у м'язовій тканині річкових раків (рис. 4). У раках Кам'янського водосховища активність  $^{232}\text{Th}$  у м'язах перевищувала такий показник у карапаксах в 5,35 раза. Аналогічну картину відмічали в особин із Запорізького (Дніпровського) водосховища: активність  $^{232}\text{Th}$  у м'язах була вищою, ніж у карапаксах, в 11,91 раза.

Активність  $^{232}\text{Th}$  у карапаксах раків Кам'янського водосховища була у 2,11

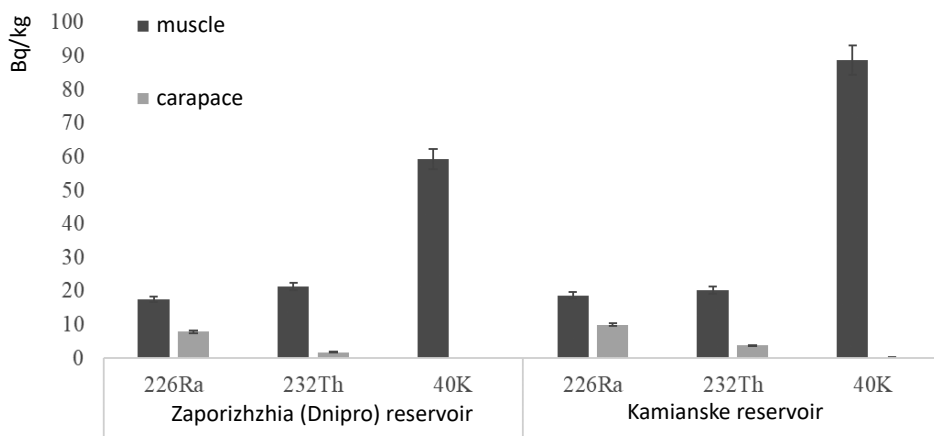


Fig. 4. Activity levels of natural radionuclides in the crayfish of the Kamianske and Zaporizhzhia (Dnipro) reservoirs, Bq/kg



of crayfish from the Zaporizhzhia (Dnipro) reservoir. But  $^{232}\text{Th}$  activity in the muscles of crayfish of the Zaporizhzhia (Dnipro) reservoir were 5.4% higher than that in crayfish of the Kamianske reservoir.

Like other natural radionuclides, the highest accumulation of  $^{226}\text{Ra}$  was observed in the muscle tissue of crayfish of the studied reservoirs (Fig. 4). Thus, the activity of  $^{226}\text{Ra}$  was 1.9 times and 2.3 times higher in the muscles of crayfish of the Kamianske and Zaporizhzhia (Dnipro) reservoirs, respectively, compared to carapaces. The activity of  $^{226}\text{Ra}$  in the muscle tissue of crayfish of the Kamianske Reservoir was 6.4% higher than that in crayfish of the Zaporizhzhia (Dnipro) Reservoir. Accumulation of  $^{226}\text{Ra}$  in the carapace of individuals of the Kamianske Reservoir also exceeded that of crayfish of the Zaporizhzhia (Dnipro) Reservoir by 25.7%.

Radioactive cesium enters to the body of hydrobionts together with contaminated feed and water. Since  $^{137}\text{Cs}$  acts as an analogue of the trace element potassium (K), it accumulates mainly in soft tissues, mainly muscle. The activity levels of  $^{137}\text{Cs}$  in the muscles of crayfish from the Kamianske Reservoir were 24.5% higher compared to  $^{137}\text{Cs}$  in the muscle tissue of those from the Zaporizhzhia (Dnipro) Reservoir (Fig. 5). But the activity of this radionuclide in the carapaces of crayfish of the Zaporizhzhia (Dnipro) reservoir was 24.3% higher than in the carapaces of crayfish of the Kamianske reservoir.

$^{137}\text{Cs}$  activity observed in the muscle tissue of crayfish of the Kamianske Reservoir was 1.9 times higher than in the carapace. A similar situation was noted in the Zaporizhzhia (Dnipro) reservoir: the activity of  $^{137}\text{Cs}$  in the muscles of crayfish was 1.2 times higher than in the carapace.

$^{90}\text{Sr}$  acts in the body as an analogue of

раза більшою, ніж у карапаксах безхребетних Запорізького (Дніпровського) водосховища. Але показники активності  $^{232}\text{Th}$  у м'язах безхребетних Запорізького (Дніпровського) водосховища були на 5,41% вищими, ніж такі у особин із Кам'янського водосховища.

Як і інші природні радіонукліди, найбільше накопичення  $^{226}\text{Ra}$  відмічали у м'язовій тканині *A. leptodactylus* досліджених водойм (рис. 4). Так, у м'язах раків Кам'янського та Запорізького (Дніпровського) водосховища активність  $^{226}\text{Ra}$  виявилася відповідно у 1,86 та 2,26 раза більшою, в порівнянні з карапаксами.

Активність  $^{226}\text{Ra}$  у м'язовій тканині раків Кам'янського водосховища була на 6,43% вищою, ніж цей показник у особин із Запорізького (Дніпровського) водосховища. Накопичення  $^{226}\text{Ra}$  у карапаксах досліджених організмів із Кам'янського водосховища також перевищувала цей показник у річкових раках Запорізького (Дніпровського) водосховища на 25,73%.

До організму гідробіонтів радіоактивний цезій потрапляє разом із забрудненим кормом та водою. Оскільки  $^{137}\text{Cs}$  постає аналогом мікроелемента калію, він накопичується в основному в м'яких тканинах — переважно м'язових. Рівні активності  $^{137}\text{Cs}$  у м'язах раків Кам'янського водосховища були вищими на 24,52%, у порівнянні з такою в м'язовій тканині особин Запорізького (Дніпровського) водосховища (рис. 5). Однак показник активності цього радіонукліда у карапаксах раків Запорізького (Дніпровського) водосховища був вищим на 24,29%, ніж у таких Кам'янського водосховища.

У м'язовій тканині річкових раків Кам'янського водосховища спостерігали більшу у 1,85 раза активність  $^{137}\text{Cs}$ , ніж у карапаксах. Аналогічну ситуацію відмітили й у Запорізькому (Дніпров-



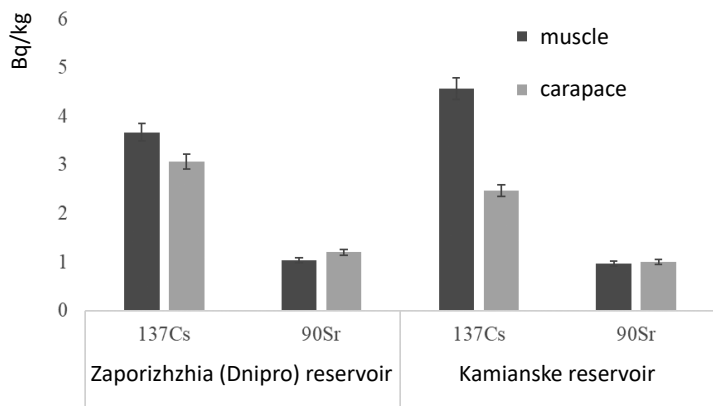


Fig. 5. Activity levels of nature radionuclides in crayfish of the Kamianske and Zaporizhzhia (Dnipro) reservoirs, Bq/kg

the trace element calcium, therefore it accumulates in larger quantities in the carapaces of decapods. Its size, structure and molting stage are of great importance for the existence of radionuclides in different quantities in the carapace [17].

It was noted that strontium accumulated to a greater extent in the carapaces of crayfish. Thus, the accumulation of <sup>90</sup>Sr in the carapaces of crayfish of the Zaporizhzhia (Dnipro) and Kamianske reservoirs compared to those of muscle tissue was higher by 16.5% and 3.1%, respectively (Fig. 5).

The content of <sup>90</sup>Sr in the muscles of crayfish from the Zaporizhzhia (Dnipro) and Kamianske reservoirs was almost at the same level, but that in the carapaces of crayfish from the Zaporizhzhia (Dnipro) reservoir was 20% higher than in the carapaces of those from the Kamianske reservoir.

After analyzing the obtained data, it is possible to build a series of natural and artificial radionuclides in various tissues of crayfish of the Kamianske Reservoir in the order of decreasing activity:

Muscles: <sup>40</sup>K > <sup>232</sup>Th > <sup>226</sup>Ra > <sup>137</sup>Cs > <sup>90</sup>Sr;

Carapaces: <sup>226</sup>Ra > <sup>232</sup>Th > <sup>137</sup>Cs > <sup>90</sup>Sr > <sup>40</sup>K.

The content of natural and artificial ra-

ського) водосховищі: активність <sup>137</sup>Cs у м'язах безхребетних була у 1,20 раза вищою, ніж у карапаксах.

В організмі <sup>90</sup>Sr є аналогом мікроелемента кальцію, тому в більшій кількості накопичується в карапаксах декапод. Велике значення для існування радіонуклідів у тій чи іншій кількості в карапаксах мають розмір останніх, структура та стадія линьки [17].

Відмічено, що стронцій більшою мірою накопичувався в карапаксах раків. Так, накопичення <sup>90</sup>Sr у карапаксах особин із Запорізького (Дніпровського) та Кам'янського водосховищ, в порівнянні з показниками м'язової тканини, було більшим на 16,50 та 3,09% відповідно (рис. 5).

Вміст <sup>90</sup>Sr у м'язах раків Запорізького (Дніпровського) та Кам'янського водосховищ знаходився майже на одному рівні, але такий показник у карапаксах *A. leptodactylus* Запорізького (Дніпровського) водосховища був на 20% більшим, ніж у карапаксах особин Кам'янського водосховища.

Проаналізувавши отримані дані, можна побудувати ряди природних та штучних радіонуклідів у різних тканинах *A. leptodactylus* Кам'янського водосховища за убубанням їх активності:

М'язи: <sup>40</sup>K > <sup>232</sup>Th > <sup>226</sup>Ra > <sup>137</sup>Cs > <sup>90</sup>Sr;



dionuclides in various tissues of crayfish of the Zaporizhzhya (Dnipro) reservoir can be arranged in the following series in order of decreasing activity:

Muscles:  $^{40}\text{K} > ^{232}\text{Th} > ^{226}\text{Ra} > ^{137}\text{Cs} > ^{90}\text{Sr}$ ;

Carapaces:  $^{226}\text{Ra} > ^{137}\text{Cs} > ^{232}\text{Th} > ^{90}\text{Sr} > ^{40}\text{K}$ .

In crayfish of both studied reservoirs, the leading role in terms of activity level in muscle tissue was due to  $^{40}\text{K}$ , in carapace —  $^{226}\text{Ra}$ ; the minimum activity in the muscles is  $^{90}\text{Sr}$ , and in the carapaces —  $^{40}\text{K}$ .

The high activity of  $^{40}\text{K}$  in muscles can be explained by the fact that, firstly, this element is the most widespread natural radionuclide, and it is found in significant quantities in the natural environment and is actively accumulated by hydrobionts. Secondly,  $^{40}\text{K}$  acts as an analogue of ordinary potassium, and is recognized as potassium by the cells of hydrobionts and pumped into the cells with the help of a potassium-sodium pump [18, 19].

The carapace is a structure that protects crustaceans not only from mechanical damage, but also from chemical damage, since it has a low permeability to dissolved ions. That is why the vast majority of radioactive potassium is adsorbed on the surface of the carapace. Because of this, the carapace of crayfish acts as a barrier for the passage of radioactive and toxic substances to the crayfish body. At the same time, the seasonal molting of crayfish contributes to the biological purification of crustaceans from accumulated harmful substances [9].

Assessment of the accumulation of radionuclides by hydrobionts is carried out by accumulation coefficients — the ratio of radionuclide activity in hydrobionts and in water. In water of the Kamianske reservoir, a negligible level of artificial radionuclides was noted:  $^{137}\text{Cs}$  — 0.06 Bq/L and  $^{90}\text{Sr}$  — 0.04 Bq/L; in the water of the

Карапакси:  $^{226}\text{Ra} > ^{232}\text{Th} > ^{137}\text{Cs} > ^{90}\text{Sr} > ^{40}\text{K}$ .

Вміст природних і штучних радіонуклідів у різних тканинах раків Запорізького (Дніпровського) водосховища можна розташувати в наступні ряди у порядку зменшення їх активності:

М'язи:  $^{40}\text{K} > ^{232}\text{Th} > ^{226}\text{Ra} > ^{137}\text{Cs} > ^{90}\text{Sr}$ ;

Карапакси:  $^{226}\text{Ra} > ^{137}\text{Cs} > ^{232}\text{Th} > ^{90}\text{Sr} > ^{40}\text{K}$ .

У *A. leptodactylus* обох досліджуваних водойм провідна роль за рівнем активності у м'язовій тканині належить  $^{40}\text{K}$ , у карапаксах —  $^{226}\text{Ra}$ ; мінімальна активність у м'язах —  $^{90}\text{Sr}$ , а у карапаксах —  $^{40}\text{K}$ .

Високу активність  $^{40}\text{K}$  в м'язах можна пояснити тим, що, по-перше, цей елемент — найбільш розповсюджений природний радіонуклід, і він в значній кількості зустрічається в природному середовищі та активно накопичується гідробіонтами. По-друге,  $^{40}\text{K}$  є аналогом звичайного калію і клітинами гідробіонтів розпізнається як калій, потрапляючи до клітин за допомогою калій-натрієвого насоса [18, 19].

Карапакс являє собою структуру, що захищає ракоподібних не лише від механічних пошкоджень, але й від хімічних уражень, оскільки він має низьку проникність для розчинених іонів. Саме тому переважна кількість радіоактивного калію адсорбується на поверхні карапаксу. Тобто карапакс раків постає бар'єром для проходження радіоактивних та токсичних речовин до організму. При цьому, сезонна линька раків сприяє біологічному очищенню ракоподібних від накопичених шкідливих речовин [9].

Оцінку акумуляції радіонуклідів гідробіонтами проводять за коефіцієнтами накопичення — відношенням активності радіонукліда в гідробіонтах до такого у воді. У воді Кам'янського водосховища відзначався незначний рівень штучних радіонуклідів:  $^{137}\text{Cs}$  — 0,06 Бк/л та



Zaporizhzhia (Dnipro) reservoir, the level of artificial radionuclides was as follows:  $^{137}\text{Cs}$  — 0.05 Bq/L and  $^{90}\text{Sr}$  — 0.04 Bq/L. The results of calculations of the accumulation coefficients of man-made radionuclides in the muscle tissues and carapaces of crayfish of the Kamianske and Zaporizhzhia (Dnipro) reservoirs are shown in Table.

The carapaces of crayfish from both res-

$^{90}\text{Sr}$  — 0,04 Бк/л; у воді Запорізького (Дніпровського) водосховища рівень штучних радіонуклідів був таким:  $^{137}\text{Cs}$  — 0,05 Бк/л та  $^{90}\text{Sr}$  — 0,04 Бк/л. Результати розрахунків коефіцієнтів накопичення техногенних радіонуклідів м'язовими тканинами та карапаксами *A. leptodactylus* Кам'янського та Запорізького (Дніпровського) водосховищ наведені у таблиці.

**Table. Coefficients of accumulation of man-made radionuclides by crayfish of the Kamianske and Zaporizhzhia (Dnipro) reservoirs, n=60**

Element	Kamianske reservoir		Zaporizhzhia (Dnipro) Reservoir	
	Carapace	Muscle tissue	Carapace	Muscle tissue
$^{90}\text{Sr}$	16.67±0.2	16.11±0.1	24.00±1.0	20.67±0.9
$^{137}\text{Cs}$	61.67±1.3	114.17±5.7	76.67±3.5	91.67±4.3

ervoirs were mainly characterized by the highest coefficients of  $^{90}\text{Sr}$  accumulation in the studied crayfish. This is because the carapace is made of calcium compounds, and radioactive strontium is an analogue of calcium. The variation of strontium activity also depends on the physiological state of crayfish and the time of the last molt. In addition, the carapace is the first in the structure of the decapod body that comes into contact with the environment and acts as a barrier to the entry of toxic substances [9, 18]. The vast majority of cesium was accumulated by the muscle tissue of crayfish, therefore the coefficients of cesium accumulation were somewhat higher.

The activity of the studied radionuclides in crayfish did not exceed the MAC for crayfish as a food product [20].

### CONCLUSION AND PERSPECTIVES OF FURTHER DEVELOPMENT

Thus, Zn, Fe, and Cu were actively accumulated in the muscle tissue of crayfish of the Kamianske and Zaporizhzhia (Dnipro) reservoirs. This phenomenon is

Найбільшими коефіцієнтами накопичення  $^{90}\text{Sr}$  у досліджуваних раків переважно характеризувалися карапакси особини з обох водосховищ. Це пояснюється тим, що карапакс побудований зі сполук кальцію, а радіоактивний стронцій є аналогом кальцію. Варіації величини активності стронцію також залежить від фізіологічного стану раків та від часу останньої линьки. До того ж, карапакс є найпершим в будові організму декапод, який контактує з навколишнім середовищем та постає бар'єром для надходження токсичних речовин [9, 18]. Переважна більшість цезію накопичувалася м'язовою тканиною раків, тому і коефіцієнти накопичення його були дещо вищими.

Активність досліджуваних радіонуклідів в раках не перевищувала ГДК для раків як харчового продукту [20].

### ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШОГО РОЗВИТКУ

Таким чином, у м'язовій тканині *A. leptodactylus* Кам'янського та Запорізького (Дніпровського) водосховищ активно накопичувалися Zn, Fe та Cu. Це явище пояснюється інтенсивною акуму-





explained by the intensive accumulation in the crayfish body of elements that take an active part in the course of physiological processes. Heavy metals such as Mn, Pb, Co were the most accumulated in the shells of crayfish. The minimum content of heavy metals was due to Cd.

The norms for the content of heavy metals in the muscle tissue of river crayfish have not been established in Ukraine today, however, a comparison of the data we obtained with the norms for live fish shows a significant excess for almost all heavy metals studied. Taking into account the traditional use of crayfish as a food resource in Ukraine, today there is a need for a more in-depth study of this issue with the establishment of appropriate standards for this group of aquatic biological resources.

It was found that the maximum level of radionuclide activity in the muscle tissue of decapods of both investigated reservoirs was due to  $^{40}\text{K}$ , in the carapaces to —  $^{226}\text{Ra}$ ;  $^{90}\text{Sr}$  activity is minimal in muscles, and —  $^{226}\text{Ra}$  activity in carapaces. Accumulation of studied radionuclides in crayfish did not exceed the MACs for crayfish as a food product.

Prospects for further studies are related to the study of the effect of toxicants of various origins on the cytological parameters of tissues and organs crayfish which determines the feasibility of their continuation using crayfish from different reservoirs of the Dnipropetrovsk region. In addition, the obtained results can contribute to effective scientific support for the development of shellfish farming and aquaculture in the Dnipro region.

## REFERENCES

1. Andrusyshyn, A. V., Zahorui, V. P., & Andrusyshyna, I. M. (2011). Rakopodibni

ляцією в організмах раків елементів, які беруть активну участь у перебігу фізіологічних процесів. У карапаксах раків найбільше акумулювались такі важкі метали як Mn, Pb, Co. Мінімальний вміст серед важких металів був встановлений для Cd.

Норми вмісту важких металів у м'язовій тканині річкових раків на сьогодні в Україні не встановлені, проте порівняння отриманих нами даних з нормами для живої риби показує значне перевищення практично за всіма дослідженими важкими металами. Враховуючи традиційність використання річкових раків як харчового ресурсу в Україні, на сьогодні виникає потреба в більш поглибленому вивченні даного питання із встановленням відповідних нормативів саме для цієї групи водних біоресурсів.

Виявлено, що максимальний рівень активності радіонуклідів у м'язовій тканині декапод обох досліджуваних водойм належить  $^{40}\text{K}$ , у карапаксах —  $^{226}\text{Ra}$ ; мінімальна активність у м'язах  $^{90}\text{Sr}$ , а у карапаксах —  $^{226}\text{Ra}$ . Рівні накопичення досліджуваних радіонуклідів у раках не перевищували ГДК для раків як харчового продукту.

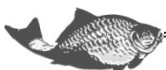
Перспективи подальших досліджень пов'язані з вивченням впливу токсикантів різного походження на цитоморфологічні показники тканин і органів *A. leptodactylus*, що зумовлює доцільність їх продовження з використанням раків з різних водойм Дніпропетровської області. Крім того, отримані результати можуть сприяти ефективному науковому забезпеченню розвитку раківництва та аквакультури Дніпровського регіону.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Андрусишин А. В., Загоруй В. П., Андрусишина І. М. Ракоподібні як біо-



- yak biomarkery zabrudnennia Chornoho moria vazhkymy metalamy. *Voda i vodoochysnitekhnolohii. Naukovo-tekhnichnivisti*, 4(6), 55-61.
2. Holdich, D. M., & Reeve, I. D. (1991). Alien crayfish in British waters. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 1(2), 139-158. <https://doi.org/10.1002/aqc.3270010204>.
  3. Ulman, E. Zh. (2009). Biologichnyi stan populatsii rakiv v Kyivskomu vodoshovyshchi. *Rybohospodarska nauka Ukrainy*, 3, 39-42.
  4. Bezusyi, O. L., & Borbat, M. O. (2008). Do problemy otrymannia posadkovoho materialu richkovy khrakiv. *Rybohospodarska nauka Ukrainy*, 2, 72-74.
  5. Martseniuk, N. O., Pekarskyi, A. V., Martseniuk, V. P., Kostousova, O. I., & Dukhnevych, M. O. (2016). Biologichni osoblyvosti dovhopaloho richkovoho raka richky Sluch Khmelnytskoi oblasti. *Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu*, 5(29), 66-69.
  6. Horchanok, A. V., et al. (2021). Vplyv vodnoho seredovyscha na biologichni osoblyvosti rakopodibnykh. *The I International Science Conference on Multidisciplinary Research*. Berlin, Germany, 150-152.
  7. Krazhan, S. A., Melnyk, A. P., & Bezusyi, O. L. (2010). Nakopychennia vazhkykh metaliv v orhanakh i tkanynakh richkovykh rakiv z riznykh misty yikh meshkannia. *Rybohospodarska nauka Ukrainy*, 1, 61-66.
  8. Cherkashyn, S. A., & Blinova N. K. (2010). Vlyanye tiazhelikh metallov na vizhyvaemost rakoobraznykh. *Hydrobiologicheskyy zhurnal*, 46 (4), 84-96.
  9. Ramos, R. J., Tadokoro, C. E., & de Carvalho Gomes, L. (2021). Efficiency in heavy metal purge in crustaceans during the ecdysis. *Environment, Development and Sustainability*, 23, 14878-14907. <https://doi.org/10.1007/s10668-021->
- маркери забруднення Чорного моря важкими металами // Вода і водоочисні технології. Науково-технічні вісті. 2011. № 4(6). С. 55—61.
2. Holdich D. M., Reeve I. D. Alien crayfish in British waters // *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*. 1991. № 1(2). P. 139—158.
  3. Ульман Е. Ж. Біологічний стан популяції раків в Київському водосховищі // *Рибогосподарська наука України*. 2009. № 3. С. 39—42.
  4. Безусий О. Л., Борбат М. О. До проблеми отримання посадкового матеріалу річкових раків // *Рибогосподарська наука України*. 2008. № 2. С. 72—74.
  5. Біологічні особливості довгопалого річкового рака річки Случ Хмельницької області / Марценюк Н. О. та ін. // *Вісник Сумського національного аграрного університету*. 2016. № 5(29). С. 66—69.
  6. Горчанок А. В., Рожков В. В., Поротікова І. І. Вплив водного середовища на біологічні особливості ракоподібних // *The I International Science Conference on Multidisciplinary Research : proceed*. Berlin, Germany, 2021. P. 150—152.
  7. Кражан С. А., Мельник А. П., Безусий О. Л. Накопичення важких металів в органах і тканинах річкових раків з різних місць їх мешкання // *Рибогосподарська наука України*. 2010. № 1. С. 61—66.
  8. Черкашин С. А., Блинова Н. К. Влияние тяжелых металлов на выживаемость ракообразных // *Гидробиологический журнал*. 2010. Т. 46, № 4. С. 84—96.
  9. Ramos R. J., Tadokoro C. E., de Carvalho Gomes L. Efficiency in heavy metal purge in crustaceans during the ecdysis // *Environment, Development and Sustainability*. 2021. № 23. P. 14878—



- 01277-4.
10. Bezhenar, R. V., & Maderych, V. S. (2015). Míhratsiia radionuklidiv z donnykh vidkladen do ryby cherez donnyi lantsiuzhok zhyvlennia. *Systemy pidtrymky pryiniattia rishen. Teoriia i praktyka*, 53-57.
  11. Horbunov, L. V., & Kleshchev, M. F. (2014). *Biometriia*. Kharkiv: KhPI.
  12. Nakhshyna, E. P. (1985). Tiazheliemetalli v systeme «voda — donnieotlozheniia» vodoemov. *Hydrobiologicheskyy zhurnal*, 21 (2), 80-90.
  13. Shafi, A., Md. Farid U., Md. Sakib H., Jubair A., Md. Nahidul I., & Mizanur R. (2023). Heavy metals contamination in shrimp and crab from south west regions in Bangladesh: Possible health risk assessment. *Toxicology Reports*, 10, 580-588. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2023.05.001>.
  14. Mitra, Abhijit, & Barua, Prabal, & Zaman, Sufia, & Banerjee, Kakoli. (2012). Analysis of Trace Metals in Commercially Important Crustaceans Collected from UNESCO Protected World Heritage Site of Indian Sundarbans. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 12, 49-61.
  15. Mur, Dzh. V., & Ramamurti, S. (1987). *Tiazhelie metalli v pryrodnykh vodakh: Kontrol y otsenka vlyaniia*. Moskva: Mir.
  16. Ryba zhyva. Zahalni tekhnichni vymohyiu. (2012). *DSTU 2284:2010*. Natsionalnyi standart Ukrainy. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy.
  17. Volkova, E. N., Beliaev, V. V., & Zarubyn, O. L. (2005). Dynamyka <sup>137</sup>Cs v hydrobyontakh Dneprovskykh vodokhranylyshch. *Naukovi zapysky Ternopil'skoho natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni Volodymyra Hnatiuka. Serii: Biolohiia*, 3 (26), 66-71.
  18. Lebedeva, H. D. (1968). Vlyianye stabilnoho y radyoaktyvnoho strontsiia na presnovodnie orhanyzmi. *Hydrobiologicheskyy zhurnal*, 4, 3-11.
  14907. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01277-4>.
  10. Беженар Р. В., Мадерич В. С. Міграція радіонуклідів з донних відкладень до риби через донний ланцюжок живлення // Системи підтримки прийняття рішень. Теорія і практика. 2015. С. 53—57.
  11. Горбунов Л. В., Клещев М. Ф. Біометрія. Харків : ХПІ, 2014. 106 с.
  12. Нахшина Е. П. Тяжелые металлы в системе «вода — донные отложения» водоемов // Гидробиологический журнал. 1985. Т. 21, № 2. С. 80—90.
  13. Heavy metals contamination in shrimp and crab from south west regions in Bangladesh: Possible health risk assessment / Shafi Ahmed et al. // Toxicology Reports. 2023. Vol. 10. P. 580—588. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2023.05.001>.
  14. Analysis of Trace Metals in Commercially Important Crustaceans Collected from UNESCO Protected World Heritage Site of Indian Sundarbans / Mitra Abhijit et al. // Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 2012. № 12. P. 49—61.
  15. Мур Дж. В., Рамамурти С. Тяжелые металлы в природных водах: Контроль и оценка влияния. Москва : Мир, 1987. 288 с.
  16. ДСТУ 2284:2010. Риба жива. Загальні технічні вимоги. Київ : Держспоживстандарт України, 2012. 12 с. (Національний стандарт України).
  17. Волкова Е. Н., Беляев В. В., Зарубин О. Л. Динамика <sup>137</sup>Cs в гидробионтах Днепроvских водохранилищ // Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. 2005. № 3 (26). С. 66—71. (Серія : Біологія).
  18. Лебедева Г. Д. Влияние стабильного



19. Neil, F., Lerebours, A., T. Smith, J., & Ford, A. T. (2015). The biological effects of ionising radiation on Crustaceans: A review. *Aquatic Toxicology*, 167, 55-67. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2015.07.013>.
20. *Dopustymi rivni vmistu radionuklidiv <sup>137</sup>Cs ta <sup>90</sup>Sr u produktakh kharchuvannia ta pytnii vodi.* (2006). Derzhavni hiiienichni normatyvy. Kyiv: Ministerstvo okhorony zdorovia Ukrainy.
- и радиоактивного стронция на пресноводные организмы // Гидробиологический журнал. 1968. № 4. С. 3—11.
19. The biological effects of ionising radiation on Crustaceans: A review / Fuller Neil et al. // *Aquatic Toxicology*. 2015. Vol. 167. P. 55—67.
20. Допустимі рівні вмісту радіонуклідів <sup>137</sup>Cs та <sup>90</sup>Sr у продуктах харчування та питній воді. Київ : Міністерство охорони здоров'я України, 2006. 6 с. (Державні гігієнічні нормативи).

