

Ribogospod. nauka Ukr., 2024; 2(68): 23-39
DOI: <https://doi.org/10.61976/fsu2024.02.023>
UDC [628.394:549.2]:574.64(477.63)

Received: 30.04.24
Received in revised form: 23.05.24
Accepted: 06.06.24

HEAVY METAL CONTENTS IN WATER, BOTTOM SEDIMENTS AND FISH OF WATER BODIES OF DIFFERENT PURPOSES IN DNIPROPETROVSK REGION

V. Sapronova, sapronova.v.o.@dsau.dp.ua,
Dnipro State Agrarian and Economic
University, Dnipro

R. Novitskyi, novitskyi.r.o.@dsau.dp.ua,
Dnipro State Agrarian and Economic
University, Dnipro

O. Kolomiitseva, kolomiitseva.o.m@dsau.dp.ua,
Dnipro State Agrarian and
Economic University, Dnipro

A. Buleyko, alla.a.buleyko@gmail.com,
Dnipro State Agrarian and Economic
University, Dnipro

Purpose. Assessment of the dynamics of heavy metal accumulation in water, bottom sediments, and fish of water bodies of different purposes in Dnipropetrovsk region.

Methodology. The study on heavy metal contents in water, bottom sediments, and hydrobiota (fish) was conducted at various water bodies (Dnipro-Donbas hydraulic canal), fish ponds (ponds of PrJSC "AgroSoyuz", PrJSC "Petrykivsky Rybhosp" and PE «Agrofirma «Nakhodka»), and multipurpose reservoirs (Dnipro reservoir, Sholokhivske reservoir) in Dnipropetrovsk region from 2015 to 2024. The determination of heavy metal concentrations (Pb, Cd, Mn, Cu, Fe, Ni, Zn) was carried out at the laboratory of the Research Center for Biosafety and Environmental Monitoring of Agricultural Resources of Dnipro State Agricultural and Economic University. The metal content was analyzed using atomic absorption spectrophotometry. The heavy metal contents were measured in four fish species (European perch, roach, Prussian carp, common carp). Sampling, data processing, and statistical analysis were conducted according to standard hydrochemical, hydrobiological, and ichthyological methods. The heavy metal contents were determined in fish muscles. Water quality was

ВМІСТ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ВОДІ, ДОННИХ ВІДКЛАДАХ ТА РИБІ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ РІЗНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ДНІПРОПЕТРОВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

В. О. Сапронова, sapronova.v.o.@dsau.dp.ua,
Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро

Р. О. Новіцький, novitskyi.r.o.@dsau.dp.ua,
Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро

О. М. Коломіїцева, kolomiitseva.o.m@dsau.dp.ua,
Дніпровський державний аграрно-економічний університет,
м. Дніпро

А. А. Булейко, alla.a.buleyko@gmail.com,
Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро

Мета. Оцінка показників вмісту важких металів у воді, донних відкладах та м'язах риб водних об'єктів різного призначення Дніпропетровської області.

Методика. Дослідження вмісту важких металів у воді, донних відкладах та гідробіонтів (риби) проводили на водних об'єктах (гідротехнічний канал Дніпро — Донбас), рибогосподарських водоймах (стави ПрАТ «АгроСоюз», ПрАТ «Петриківський рибгосп» та ПП «Агрофірма «Находка»), водосховищах комплексного призначення (Дніпровське водосховище, Шолохівське водосховище) Дніпропетровської області у 2015–2024 рр. Визначення концентрації важких металів (Pb, Cd, Mn, Cu, Fe, Ni, Zn) проводили на базі лабораторії НДЦ біобезпеки і екологічного контролю ресурсів АПК Дніпровського державного аграрно-економічного університету. Концентрацію важких металів досліджували методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. Вміст металів вимірювали в 4 видах риб (окунь річковий *Perca fluviatilis*, плітка звичайна *Rutilus rutilus*, карась сріблястий *Carassius gibelio*, короп звичайний *Cyprinus carpio*). Відбір проб, камеральну обробку матеріалу проводили за стандарт-



assessed according to general requirements and standards for fishery water bodies.

Findings. The heavy metal contents in ecosystems of water bodies of different purposes was determined. In the sediment of ponds of PrJSC "AgroSoyuz" and PrJSC "Petrykivsky Rybhosp", the heavy metal contents were significantly higher than in water or fish body: manganese within 41.24–68.43 mg/kg, cadmium – 0.32 mg/kg, lead 1.50–4.90 mg/kg (for ponds of PrJSC "AgroSoyuz"); manganese – 29.73 mg/kg, cadmium – 0.54 mg/kg, lead 5.72 mg/kg (for recreational pond of PrJSC "Petrykivsky Rybhosp"). For the water of these ponds, which is used for aquaculture, an excess of the content of some heavy metals – Mn, Zn, Cd - was recorded, and for the pond of PrJSC "AgroSoyuz" also Cu. Exceeding the normative heavy metal content for pond water of PE "Agrofirma "Nakhodka" was not noted.

The content of some heavy metals in the water of the upper part of the Dnipro reservoir (Cu, Fe) did not meet the fishery norms.

At the same time, the heavy metal contents in water and fish of these water bodies does not exceed the fishery standards for water used for fishery purposes. The heavy metal contents in the water of the upper part of the Dniprovske Reservoir (except for the Samara Bay) corresponded to fishery standards.

The water in the Dnipro-Donbas hydrotechnical canal was characterized by high levels of heavy metals. Of the 6 investigated heavy metals, the maximum allowable concentrations were not exceeded only for lead (0.40 mg/dm³)

The heavy metal contents in *C. carpio* muscles (juveniles and table fish) in different ponds of PrJSC "Petrykivsky Rybhosp" (nursery and fattening) corresponded to fishery standards during the three years of the study (2011, 2015, 2016).

In the Sholokhivske reservoir, the zinc content in *C. gibelio* muscles was 46.50 mg/kg, slightly exceeding the maximum allowable concentrations. Exceedances of copper and lead content were not noted.

For fish from the Dnipro reservoir, the content of most heavy metals was elevated. In the meat of pelagic roach (*R. rutilus*), only copper content was within the normal limits (1.56 mg/kg), while all other 6 heavy metals exceeded the maximum allowable concentrations. In the meat of benthophagous Prussian carp (*C. gibelio*), elevated levels of accumulation of heavy metals were observed for manganese, iron, lead, and nickel, while zinc, copper, and cadmium content were within the standards. In the meat of European

ними гідрохімічними, гідробіологічними та іхтіологічними методиками. Вміст важких металів визначали у м'язах риб. Якість води оцінювали згідно із загальними вимогами та нормами для водойм рибогосподарського призначення.

Результати. Визначено вміст важких металів в окремих компонентах екосистем водойм різного призначення. У мулі ставів ПрАТ «АгроСоюз» та ПрАТ «Петриківський рибгосп» вміст важких металів був значно вищим, ніж у воді чи організмі риб: мангану — в межах 41,24–68,43 мг/кг, кадмію — 0,32 мг/кг, плюмбуму — 1,50–4,90 мг/кг (для ставу ПрАТ «АгроСоюз»); мангану — 29,73 мг/кг, кадмію — 0,54 мг/кг, плюмбуму — 5,72 мг/кг (для нагульного ставу ПрАТ «Петриківський рибгосп»). Для води цих ставів, яка використовується для рибогосподарських цілей, фіксувалося перевищення вмісту деяких важких металів (ВМ) — перш за все, Mn, Zn, Cd, а для ставу ПрАТ «АгроСоюз» — ще й Cu. Не відзначено перевищення нормативного вмісту ВМ для води ставу ПП «Агрофірма "Находка"».

Вміст деяких важких металів у воді верхньої ділянки Дніпровського водосховища (Cu, Fe) не відповідав рибогосподарським нормативам.

Вода у гідротехнічному каналі Дніпро — Донбас характеризувалася підвищеними показниками концентрації важких металів. Із 6 досліджених ВМ не перевищена ГДК тільки для плюмбуму (0,40 мг/дм³).

Вміст важких металів у м'язах *C. carpio* (молоді коропа і товарної риби) у різних ставах ПрАТ «Петриківський рибгосп» (вищівальному та нагульному) впродовж трьох років досліджень (2011, 2015, 2016 рр.) відповідав рибогосподарським нормативам.

У Шолохівському водосховищі у м'язах карася сріблястого *C. gibelio* вміст цинку становив 46,50 мг/кг, що незначно перевищує ГДК. Перевищення показників концентрації Cu та Pb не відмічено.

Для риб Дніпровського водосховища вміст більшості важких металів був підвищеним. У м'язах пелагічної плітки *R. rutilus* лише концентрація купруму перебувала у межах норми (1,56 мг/кг), всі інші 6 важких металів перевищували нормативи ГДК. У м'язах бентофага карася сріблястого *C. gibelio* підвищені рівні накопичення ВМ відзначалися для Mn, Fe, Pb, Ni, а для Zn, Cu, Cd показники їх вмісту знаходилися у межах нормативу. У м'язах окуня річкового *P. fluviatilis* найбільший



perch (*P. fluviatilis*), the highest content of heavy metals was observed for iron (80.54 mg/kg), with elevated levels observed for manganese, zinc, lead, and nickel.

The obtained results indicate that the hydroecosystem of the Dniprovske reservoir, unlike other water bodies in the region, is significantly polluted with heavy metals. This is adequately reflected in the levels of heavy metal accumulation in the organisms of fish from different ecological groups - pelagic herbivores, benthophagous bottom-feeders, and predators.

Originality. For the first time, the content of heavy metal accumulation in water, bottom sediments, and fish of water bodies of different purposes in Dnipropetrovsk region has been carried out over several years (2015–2024).

Practical Value. The obtained results have theoretical and practical importance for the preparation of scientific-biological justifications for the fishery use of water bodies of various purposes in the region. Continuous monitoring of the heavy metal contents in hydrobionts is necessary to ensure food safety and the quality of raw materials and food fish products.

Keywords: Dnipropetrovsk region, heavy metals, Dnipro Reservoir, Dnipro-Donbas Canal, ponds, Sholokhivske Reservoir, water, sediment, fish, accumulation of pollutants.

PROBLEM STATEMENT AND ANALYSIS OF LAST ACHIEVEMENTS AND PUBLICATIONS

Human activity exerts a great pressure on the current state of the environment. One of the aspects of this activity, as well as its consequences, is pollution of the surrounding environment with various chemical compounds - pesticides, heavy metals, phenols, SPAR, etc. Chemical pollution of the environment leads to changes in the natural chemical properties of water as a result of an increase in the content of harmful substances or impurities of an inorganic (mineral salts, acids, heavy metals, alkalis, etc.) and organic nature (organic solvents, oil and oil products, synthetic surfactants, pesticides, phenols) [1, 2].

Aquatic organisms are an important

вміст ВМ відзначений для Fe (80,54 мг/кг), підвищені показники — для Mn, Zn, Pb, Ni.

Отримані результати свідчать, що гідроекосистема Дніпровського водосховища, на відміну від інших водних об'єктів регіону, є значно забрудненою важкими металами. Це адекватно відобразилося на рівнях накопичення ВМ в організмі риб різних екологічних груп — пелагічних риб, придонних бентофагів та хижаків.

Наукова новизна. Вперше здійснена оцінка вмісту важких металів у воді, донних відкладах та рибі водних об'єктів різного призначення Дніпропетровської області протягом 2015–2024 рр.

Практична значимість. Отримані результати мають теоретичне і практичне значення для підготовки науково-біологічних обґрунтувань рибогосподарського використання водойм різного призначення регіону. Для гарантування продовольчої безпеки і якості сировини та харчової рибної продукції потрібно здійснювати постійний моніторинг вмісту важких металів в гідробіонтах.

Ключові слова: Дніпропетровська область, важкі метали, Дніпровське водосховище, канал Дніпро — Донбас, стави, Шолохівське водосховище, вода, донні відклади, риба, накопичення політантів.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ ТА АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Діяльність людини спричиняє велике навантаження на сучасний стан довкілля. Одним із аспектів цієї діяльності, а також і наслідками її, є забруднення довколишнього середовища різними хімічними сполуками — пестицидами, важкими металами, фенолами, СПАР тощо. Хімічне забруднення довкілля призводить до змін природних хімічних властивостей води в результаті збільшення вмісту шкідливих речовин або домішок неорганічної (мінеральні солі, кислоти, важкі метали, луги тощо) і органічної природи (органічні розчинники, нафта та нафтопродукти, синтетичні поверхнево активні речовини, пестициди, феноли) [1, 2].



link in the continuous cycle of micro- and macroelements - metals in the reservoir, which belong to the group of so-called indispensable for the vital activity of living organisms. These micro- and macroelements (zinc, cobalt, copper, ferrum, magnesium, manganese, chromium, and others) play an important role in physiological and biochemical processes in the bodies of aquatic organisms [3].

Heavy metals (HM) occupy a special place in a number of toxic compounds. The peculiarity of heavy metals is that they do not decompose and do not degrade over time like chemical organic pollutants, but only change their form of existence, undergo redistribution, gradually accumulate in various biotic and abiotic components of the hydroecosystem [4]. However, it should be noted that in trace amounts, the content of HM is a natural and even necessary component of a living cell, with the exception of mercury, lead and cadmium [5].

Aquatic organisms have the ability to concentrate metals in the body, synthesize vital substances in the form of metal- and metallo-organic compounds (enzymes, vitamins, hormones, etc.). Due to their high biological activity, metals can significantly affect the quality of the aquatic environment and biota. This happens due to the violation of the balance of chemical elements in living tissues, which, to a certain extent, acts as one of the factors stimulating or inhibiting the growth and development of aquatic organisms [6, 7].

An increase in HM concentrations in the environment, and, as a result, in the tissues of aquatic animals and plants, can negatively affect the stability of the hydroecosystem. This is explained by the fact that at certain concentrations many trace elements act on the body as toxic substances. It has been proven that with increased concentrations of metals in organs and tissues, the boundary between their "physi-

Гідробіоти є важливою ланкою в неперервному колообігу мікро- та макроелементів — металів водойми, які належать до групи так званих незамінних для життєдіяльності живих організмів. Ці мікро- та макроелементи (цинк, кобальт, купрум, ферум, магній, манган, хром та інші) відіграють важливу роль у фізіологічних та біохімічних процесах у організмах гідробіотів [3].

Важкі метали (ВМ) посідають особливе місце у низці токсичних сполук. Особливістю важких металів є те, що вони не розкладаються і не деградують з часом, як хімічні органічні полутанти, а лише змінюють форму існування, зазнають перерозподілу, поступово акумулюються у різних біотичних та абіотичних компонентах гідроекосистеми [4]. Але необхідно зауважити, що у мікрокількостях вміст ВМ є природною і навіть необхідною складовою частиною живої клітини, за винятком ртуті, плюмбуму та кадмію [5].

Гідробіоти мають здатність концентрування металів в організмі, синтезують життєво необхідні речовини у вигляді метало- та металоїдоорганічних сполук (ферментів, вітамінів, гормонів тощо). Внаслідок великої біологічної активності метали можуть суттєво впливати на якість водного середовища та біоти. Це відбувається завдяки порушенню балансу хімічних елементів у живих тканинах, що певною мірою є одним із стимулювальних чи пригнічувальних рист та розвиток гідробіотів чинників [6, 7].

Зростання концентрації ВМ у доквіллі, і, як наслідок, в тканинах водних тварин і рослин, може негативно впливати на стабільність гідроекосистеми. Це пояснюється тим, що при певних концентраціях багато мікроелементів діють на організм як токсичні речовини. Доведено, що при підвищених концентраціях вмісту металів в органах та



ological” and “non-physiological” action disappears. When metal concentrations increase in the water environment, each element in living organisms begins to act as a toxic substance [8, 9].

The maximum ability to concentrate HM is inherent in suspended substances and bottom sediments of reservoirs, plankton organisms, benthos (molluscs, crustaceans, and others), fish. The accumulation of HM usually increases in the following order: fish - crustaceans - unicellular algae - bacteria. Aquatic organisms convert soluble forms of metals into suspended solids, accumulate them to form soft tissues, use them to build shells and skeletons, and transform them into various organometallic compounds. When aquatic organisms die, part of their tissues decomposes (natural destruction), releasing organic and mineral compounds into the water, including HM [10].

Heavy metals pose a danger as pollutants of fish farms, because even in small concentrations they have a toxic effect on aquatic organisms due to bioaccumulation in their organs and tissues. Along with a direct toxic effect on a living organism, heavy metals cause dangerous biological consequences: metabolic processes are disrupted, the productivity of aquatic organism populations decreases, and various inter-population relationships are disrupted.

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

Within the EU, Water Framework Directive specifies good environmental status for all surface water bodies as mandatory environmental goals to be achieved by 2027 [11]. Biological diversity of aquatic

тканинах зникає межа між їх «фізіологічною» та «нефізіологічною» дією. За зростання у водному середовищі концентрації металів кожен елемент у живих організмах починає діяти як токсична речовина [8, 9].

Максимальна здатність концентрувати ВМ притаманна для завислих речовин та донних відкладів водойм, організмів планктону, бентосу (молюски, ракоподібні та інші), риби. Накопичення ВМ, зазвичай, зростає в такому порядку: риби — ракоподібні — одноклітинні водорості — бактерії. Водні організми переводять розчинні форми металів у завислі, акумулюють їх для формування м'яких тканин, використовують для побудови панцирів та скелетів, перетворюють на різні металоорганічні сполуки. При відмиранні водних організмів частина їх тканин розкладається (природна деструкція), вивільняючи у воду органічні та мінеральні сполуки, в тому числі і ВМ [10].

Важкі метали становлять небезпеку як забрудники рибогосподарських водойм, оскільки навіть у незначних концентраціях токсично впливають на водні організми внаслідок біоаккумуляції в їх органах і тканинах. Разом з прямою токсичною дією на живий організм, важкі метали спричиняють небезпечні біологічні наслідки: порушуються метаболічні процеси, при цьому знижується продуктивність популяцій гідробіонтів, порушуються різноманітні міжпопуляційні взаємини.

ВИДІЛЕННЯ НЕВИРШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ. МЕТА РОБОТИ

У рамках ЄС Водна Рамкова Директива зазначає добрий екологічний стан для всіх поверхневих водних об'єктів як обов'язкову екологічну ціль, що має бути досягнута до 2027 р. [11]. Біологічне різноманіття водних біоресурсів



biological resources (flora, invertebrates, vertebrates) is a mandatory component for assessing the ecological state of freshwater bodies.

Of course, for Ukraine, which is at war with a treacherous occupier, ensuring the fulfillment of all environmental requirements is an extraordinary challenge. However, the implementation of multi-year monitoring studies allows clearly determining the dynamics of changes in the aquatic environment, assessing the degree of degradation of the reservoir or the improvement of water quality, the health of aquatic organisms.

In the Dnipropetrovsk region, there are dozens of water bodies of various purposes, among which the largest (apart from the Dnipro reservoirs) are the Kryvorizhnye reservoirs - Karachunivske, Kresivske, Makortivske, Sholokhivske, Pivdenne and others. Most often, the water masses of these objects are intended for technical and drinking water supply, irrigation, flood protection, fishing purposes, etc. Considering the above, the monitoring of heavy metals as pollutants in such water bodies is of undeniable relevance and urgency.

The purpose of the work is to evaluate the heavy metal contents in water, bottom sediments and fish muscles of water bodies of various purposes in the Dnipropetrovsk region.

MATERIALS AND METHODS

The study of the heavy metal contents in water, bottom sediments and aquatic organisms (fish) was carried out on water bodies (the Dnipro-Donbas hydrotechnical canal), fish ponds (ponds of PrJSC "AgroSoyuz", fattening ponds of PrJSC "Petrykivsky Rybhosp" and PE "Agrofirma "Nakhodka »), multipurpose reservoirs (Dnipro reservoir, Sholokhivske reservoir) of Dnipropetrovsk region in 2015–2023 (Fig. 1).

Determination of the heavy metal (Pb,

флора, безхребетні, хребетні тварини) є обов'язковим компонентом для оцінки екологічного стану прісних водойм.

Звичайно, для України, що воює з віроломним окупантом, забезпечення виконання всіх екологічних вимог є надзвичайним викликом. Але здійснення багаторічних моніторингових досліджень дає змогу чітко визначати динаміку змін у водному середовищі, оцінювати ступінь деградації водойми чи покращення якості води, здоров'я гідробіонтів.

В Дніпропетровській області нараховуються десятки водних об'єктів різного призначення, серед яких найбільшими (крім дніпровських водосховищ) є водосховища Криворіжжя — Карачунівське, Кресівське, Макортівське, Шолохівське, Південне та інші. Найчастіше водні маси цих об'єктів призначаються для технічного та питного водопостачання, зрошення, для захисту від повеней, рибогосподарських цілей тощо. Враховуючи зазначене вище, моніторинг важких металів як забрудників у таких водоймах має беззаперечну актуальність і нагальність.

Метою роботи є оцінка показників вмісту важких металів у воді, донних відкладах та м'язах риб водних об'єктів різного призначення Дніпропетровської області.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Дослідження вмісту важких металів у воді, донних відкладах та гідробіонтах (рибі) проводили на водних об'єктах (гідротехнічний канал Дніпро — Донбас), рибогосподарських водоймах (став ПрАТ «АгроСоюз», нагульні стави ПрАТ «Петриківський рибгосп» та ПП «Агрофірма «Находка»»), водосховищах комплексного призначення (Дніпровське водосховище, Шолохівське водосховище) Дніпропетровської області у 2015–2023 рр. (рис. 1).



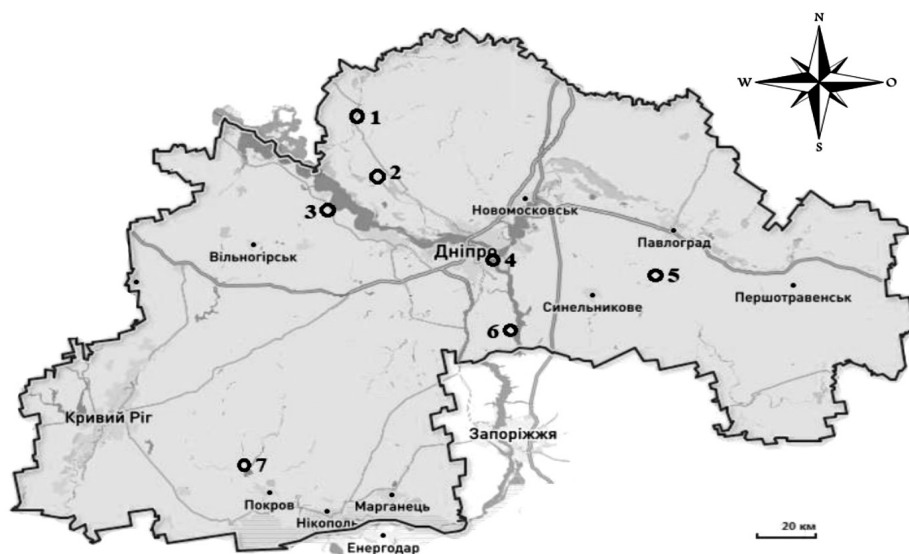


Fig. 1. Sampling locations for water bodies in Dnipropetrovsk region for determination of heavy metal concentrations: 1 – Dnipro-Donbas hydraulic canal; 2 – pond of PrJSC “Petrykivsky Rybhosp”; 3 – pond of PE «Agrofirma «Nahodka»; 4 – upper section of the Dnipro reservoir (area near Monastyrskiy island); 5 – pond of PrJSC “AgroSoyuz”; 6 – middle section of the Dniprovske reservoir (Bashmachka ravine); 7 – Sholokhivske reservoir (mouth of the Bazavluchok river)

Cd, Mn, Cu, Fe, Ni, Zn) contents in water, bottom sediments, and fish muscles was carried out at the laboratory of the Scientific Research Center for Biosafety and Environmental Control of Agricultural Resources of the Dnipro State Agrarian and Economic University.

The heavy metal contents was investigated by atomic absorption spectrophotometry. For this purpose, appropriate sample preparation was carried out: samples of water, bottom sediments and soft tissues (muscles) of fish taken from several parts of the fish were dried to a dry residue at a temperature of $+95\pm 5^{\circ}\text{C}$. After that, dry mineralization of the samples was carried out in a muffle furnace at a temperature of $450 \pm 5^{\circ}\text{C}$ for 10–12 h, followed by dissolution of the ash residue in a nitric acid solution.

Assay of heavy metals was carried out on an atomic absorption spectrophotom-

Визначення концентрації важких металів (Pb, Cd, Mn, Cu, Fe, Ni, Zn) у воді, донних відкладах, м'язах риб проводили на базі лабораторії Науково-дослідного центру біобезпеки і екологічного контролю ресурсів АПК Дніпровського державного аграрно-економічного університету.

Вміст металів досліджували методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. Для цього попередньо проводили відповідну пробопідготовку: зразки води, донних відкладень і м'яких тканин (м'язів) риби, відібраних з декількох її частин, висушували до сухого залишку при температурі $+95\pm 5^{\circ}\text{C}$. Після цього проводили суху мінералізацію наважок у муфельній печі при температурі $450\pm 5^{\circ}\text{C}$ впродовж 10–12 год з подальшим розчиненням зольного залишку в розчині азотної кислоти.



eter S-115 FCM with atomization in the flame of an "acetylene-air" gas mixture. The degree of light absorption was measured with characteristic absorption spectra for each metal: Mn – 279.5 nm; Cu – 324.7 nm; Fe – 248.3 nm; Zn – 213.9 nm; Pb – 283.3 nm; Cd – 228.8 nm. The calculation was carried out according to the calibration schedule built using standard state samples of the solution compositions.

The heavy metal contents were measured in sexually mature individuals (age 3–4+) of 4 fish species (Prussian carp *Carassius gibelio*, common carp *Cyprinus carpio*, perch *Perca fluviatilis*, roach *Rutilus rutilus*).

Adult fish were selected from commercial catches (nets with mesh sizes of 37–92 mm, length of 30 m, height of 2.0–4.0 m), as well as during test and biological catches using small-mesh (fry) seine with a length of 15 m, with a mesh size in the wings of 7 mm, in the cod-end - 3 mm.

The collection of biological material was carried out according to standard methods [12–14], the laboratory processing of the material was carried out in accordance with generally accepted hydrochemical, hydrobiological and ichthyological methods [15, 16]. The heavy metal contents were determined in fish muscles. The preparation of samples for the determination of heavy metals was carried out according to standard methods [17–20]. The quality characteristics of water were evaluated in accordance with the general requirements and norms for water bodies used for fish farming [21, 22].

The obtained own materials were also compared with data available in open periodicals from other researchers of reservoirs of the Dnipropetrovsk region [23–25].

Кількісне визначення важких металів проводили на атомно-абсорбційному спектрофотометрі S-115 FCM з атомізацією в полум'ї газової суміші «ацетилен-повітря». Ступінь поглинання світла — при характерних спектрах поглинання для кожного металу: *Mn* — 279,5 нм; *Cu* — 324,7 нм; *Fe* — 248,3 нм; *Zn* — 213,9 нм; *Pb* — 283,3 нм; *Cd* — 228,8 нм. Розрахунок вели за калібрувальним графіком, побудованим із використанням стандартних державних зразків складу розчинів.

Вміст важких металів вимірювали в статевозрілих особинах (3–4+) 4 видів риб (карась сріблястий *Carassius gibelio*, короп звичайний *Cyprinus carpio*, окунь річковий *Perca fluviatilis*, плітка звичайна *Rutilus rutilus*).

Дорослих риб відбирали із промислових уловів (ставні сітки з розміром вічка 37–92 мм, довжиною 30 м, висотою 2,0–4,0 м), а також під час контрольно-біологічних обловів з використанням дрібновічкової (малькової) волокуші довжиною 15 м, із вічком у крилах 7 мм, в кулі — 3 мм.

Відбір біологічного матеріалу проводили за стандартними методиками [12–14], камеральну обробку матеріалу виконували відповідно до загальноприйнятих гідрохімічних, гідробіологічних та іхтіологічних методик [15, 16]. Вміст важких металів визначали у м'язах риб. Підготовку проб для визначення важких металів проводили за стандартними методиками [17–20]. Оцінювали якісні характеристики води згідно із загальними вимогами та нормами для водойм рибогосподарського призначення [21, 22].

Отримані власні матеріали порівнювали також із доступними у відкритій періодиці даними інших дослідників водойм Дніпропетровської області [23–25].



STUDY RESULTS AND THEIR DISCUSSION

The results of determination of heavy metal contents in water, bottom sediments and fish muscles of water bodies of various purposes in the Dnipropetrovsk region are presented in Table 1.

It should be noted that the heavy metal contents in bottom sediments of ponds was significantly higher than in water or fish bodies: manganese in the range of

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Результати визначення вмісту важких металів у воді, донних відкладах та м'язах риб водних об'єктів різного призначення Дніпропетровської області представлені у таблиці 1.

Слід відзначити, що в донних відкладах ставів вміст важких металів був значно вищим, ніж у воді чи організмі риб: мангану — в межах 41,24–68,43

Table 1. Heavy metal contents in water (mg/dm³), sediment (mg/kg), and body of certain fish species (in muscles), mg/kg of wet weight (at natural moisture content)

	Heavy metals						
	Mn	Zn	Cu	Fe	Cd	Pb	Ni
Fishery standards (maximum allowable concentration) for fish as a food product, mg/kg	2.0	40.0	10.0	30.0	0.2	1.0	0.5
Maximum allowable concentration of heavy metals in water, mg/dm ³	0.01	0.01	0.001	0.1	0.005	0.1	0.01
Pond No. 1 of PrJSC "AgroSoyuz" (spring, winter 2015)							
Sediment, 12.04.2015	41.24	15.61	4.20	4.12	0.32	4.90	–
Sediment, 10.12.2015	68.43	7.42	1.52	6.52	<0.001	1.50	–
Water, 10.12.2015 p., mg/dm ³	0.050	0.035	0.034	0.091	0.005	0.058	–
Pond of PrJSC "Petrykivsky Rybhosp" (summer 2015, 2016)							
Common carp <i>Cyprinus carpio</i> , summer 2015	0.37	3.20	0.260	3.87	0.02	0.70	–
Sediment, summer 2015	29.73	14.40	4.07	1.26	0.54	5.72	–
Water, summer 2016, mg/dm ³	0.055	0.031	0.010	0.096	0.032	<0.0001	–
Pond of PrJSC "Agrofirma «Nahodka»" (spring 2024)							
Water, mg/dm ³	–	0.01	<0.0001	0.04	0.0001	0.0006	–
Dnipro reservoir (summer 2015)							
Roach (<i>Rutilus rutilus</i>), Bashmachka ravine, middle section, August 1, 2015	4.33	54.9	1.56	69.22	0.28	1.94	2.97
Prussian carp (<i>Carassius gibelio</i>), upper section, July 22, 2015	3.93	23.4	3.05	60.25	0.15	1.29	4.23
Perch (<i>Perca fluviatilis</i>), upper section, July 22, 2015	4.93	40.4	3.05	80.54	0.12	1.52	3.62
Water from the upper section, summer 2016, mg/dm ³	<0.01	<0.005	<0.01	0.11	–	–	<0.05
Dnipro-Donbas hydraulic canal, summer 2018							
Water, mg/dm ³	–	0.194	0.107	0.057	0.0012	0.004	–
Sholokhivske reservoir, October 30, 2023							
Prussian carp <i>Carassius gibelio</i>	–	46.5	1.92	–	–	0.027	–

Note. Values exceeding the allowed concentrations are given in bold.



41.24–68.43 mg/kg, cadmium – 0.32 mg/kg, lead 1.50– 4.90 mg/kg (for the pond of PrJSC “AgroSoyuz”). The bottom sediments of the fattening pond of PrJSC “Petrykivsky Rybhosp” were had high levels of HM content: manganese - 29.73 mg/kg, cadmium - 0.54 mg/kg, lead 5.72 mg/kg. For the water of these ponds, which is used for fishing purposes, an excess of the content of some heavy metals was recorded - primarily Mn, Zn, Cd, and also Cu for the pond of PrJSC “AgroSoyuz”. Exceeding the normative content of HM for pond water of PE “Agrofirma “Nakhodka” was not noted.

The accumulation of heavy metals in bottom sediments is usually caused by low solubility in water, the tendency of metals to adsorb on solid phases and enter into complexation reactions. Mud particles of bottom sediments, humic substances, hydroxides of polyvalent metals (such as Mn), due to the presence of surface electric charge, can attract ions and dipole molecules. It has been proven that such reactions primarily depend on the oxidizing potential, pH of the medium, the content of organic substances, and other factors [26, 27]. It is known that the main part of pollutants in ecosystems migrates from water to bottom sediments. Therefore, high levels of pollutants are observed in the soil, while their concentration in water may not be elevated.

Our studies of 2016 showed that the content of some heavy metals (Cu, Fe) in the water of the upper part of the Dnipro Reservoir did not meet the fishery regulations, which is also confirmed by the later works of other researchers of the Dnipro Reservoir in 2019, 2023 [23, 25]. Exceeding the content of HM in water concerned Mn, Zn, Cu and Fe.

In contrast to the Dnipro Reservoir and the ponds of two fish farms in the

мг/кг, кадмію — 0,32 мг/кг, плюмбуму — 1,50–4,90 мг/кг (для ставу ПрАТ «АгроСоюз»). Високими показниками вмісту ВМ відзначені донні відклади нагульного ставу ПрАТ «Петриківський рибгосп»: мангану — 29,73 мг/кг, кадмію — 0,54 мг/кг, плюмбуму — 5,72 мг/кг. Для води цих ставів, яка використовується для рибогосподарських цілей, фіксувалося перевищення вмісту деяких важких металів — перш за все, Mn, Zn, Cd, а для ставу ПрАТ «АгроСоюз» — ще й Cu. Не відзначено перевищення нормативного вмісту ВМ для води ставу ПП «Агрофірма “Находка”».

Акумуляція важких металів у донних відкладах, зазвичай, зумовлена низькою розчинністю у воді, тенденцією металів адсорбуватися на твердих фазах та вступати у реакції комплексоутворення. Мулові частинки донних відкладів, гумінові речовини, гідроксиди полівалентних металів (таких як Mn), внаслідок наявності поверхневого електричного заряду, можуть притягувати іони та дипольні молекули. Доведено, що такі реакції насамперед залежать від окиснювального потенціалу, рН середовища, вмісту органічних речовин та інших чинників [26, 27]. Відомо, що основна частина поллютантів в екосистемах мігрує з води до донних відкладів. Саме тому в ґрунтах спостерігаються високі рівні забруднювальних речовин, в той час, коли їх концентрація у водному середовищі може бути не підвищеною.

Наші дослідження 2016 р. показали, що вміст деяких важких металів (Cu, Fe) у воді верхньої ділянки Дніпровського водосховища не відповідав рибогосподарським нормативам, що також підтверджується більш пізніми роботами інших дослідників Дніпровського водосховища у 2019, 2023 рр. [23, 25]. Перевищення вмісту ВМ у воді стосувалося Mn, Zn, Cu та Fe.

На відміну від Дніпровського водо-



Dnipropetrovsk region, the water in the Dnipro-Donbas hydrotechnical canal was characterized by high levels of heavy metals (see Table 1). It should be noted that the water quality was investigated in the sections of the canal directly adjacent to the Main Water Intake Facility (MWIF). It is through it that the water masses of the Kamianske reservoir enter the canal. Of the 6 investigated heavy metals, the maximum allowable concentration was not exceeded only for lead (0.40 mg/dm^3). The increased content of pollutants in the channel was registered only during a long period of “non-pumping” of water [28]. Improvement of water quality characteristics in the “Dnipro-Donbas” canal and reduction of the HM contents in water occurs after the pumping of water masses along the canal route.

Our studies also considered the accumulation of heavy metals in the muscles of fish in water bodies of various purposes. To compare the obtained results, we used the previous materials of our studies on the content of VM in the muscles of the common carp *C. carpio* from the fattening pond of PrJSC “Petrykivskiy Rybhosp” (2015) and the materials of T. S. Sharamok and O. V. Fedonenko [24], who conducted similar studies in 2011 to determine the HM content in juvenile (young-of-the-year) common carp *C. carpio* and silver carp *Hypophthalmichthys molitrix* grown in polyculture.

It should be noted that the content of heavy metals in the muscles of *C. carpio* (juveniles and table fish) in different ponds of PrJSC “Petrykivskiy Rybhosp” (breeding and feeding) during the three years of the study (2011, 2015, 2016) corresponded to fishery standards.

In the Sholokhivske Reservoir (complex purpose), 6 individuals of age-4+ Prussian carp *C. gibelio* were studied. The

сховища та ставів двох рибгоспів Дніпропетровської області, вода у гідротехнічному каналі Дніпро — Донбас характеризувалася підвищеними показниками концентрації важких металів (див. табл. 1). Необхідно зазначити, що досліджували якість води на ділянках каналу, що безпосередньо межують з Головною водозабірною спорудою (ГВС). Саме через неї до траси каналу потрапляють водні маси Кам'янського водосховища. Із 6 досліджених важких металів не перевищена ГДК лише для плюмбуму ($0,40 \text{ мг/дм}^3$). Підвищений вміст поллютантів в каналі реєструвався тільки під час тривалого періоду «непрокачування» води [28]. Покращення характеристик якості води у каналі Дніпро — Донбас і зменшення вмісту ВМ у воді відбувалося після прокачування водних мас трасою каналу.

У наших дослідженнях також розглядали накопичення важких металів в м'язах риб у водоймах різного призначення. Для порівняння отриманих результатів використали попередні матеріали наших досліджень щодо вмісту ВМ у м'язах коропа *C. carpio* із нагульного ставу ПрАТ «Петриківський рибгосп» (2015 р.) та матеріали Шарамок Т. С. і Федоненко О. В. [24], які у 2011 р. проводили аналогічні дослідження з визначення вмісту ВМ у молоді (цьогорічок) коропа *C. carpio* та білого товстолобика *Hypophthalmichthys molitrix*, вирощених у полікультурі.

Відзначимо, що вміст важких металів у м'язах *C. carpio* (молоді коропа і товарної риби) у різних ставах ПрАТ «Петриківський рибгосп» (вирощувальному та нагульному) впродовж трьох років досліджень (2011, 2015, 2016 рр.) відповідав рибогосподарським нормативам.

У Шолохівському водосховищі (комплексного призначення) досліджено 6 особин карася сріблястого *C.*



zinc content in the muscles of the Prussian carp was 46.50 mg/kg, which slightly exceeds the maximum allowable concentration. No exceeding of Cu and Pb contents were noted.

For fish of the Dnipro reservoir, the content of most heavy metals was elevated. In the muscles of the pelagic species - roach *R. rutilus*, only the content of copper was within the normal range (1.56 mg/kg), all other 6 heavy metals exceeded the maximum allowable HM concentrations. In the muscles of the Prussian carp *C. gibelio*, elevated levels of Mn, Fe, Pb, and Ni accumulation were noted, while for Zn, Cu, and Cd, their content was within the normal range.

In the muscles of the perch *P. fluviatilis* of the Dnipro Reservoir, the highest content of HM was noted for Fe (80.54 mg/kg), increased values for Mn, Zn, Pb, Ni.

The obtained results allow stating that the hydroecosystem of the Dnipro Reservoir at the current stage, unlike other water bodies in the region, is significantly polluted by heavy metals. Usually, the main pollutants of the reservoir ecosystem for many years are enterprises of the metallurgical complex and heavy engineering. In this region there are iron ore deposits, mining and processing plants, the production of which, emissions of wastewater and mine water affect the content of HM in water, bottom sediments and fish. This especially applies to the content of iron ions in the studied objects: a significant amount of Fe in the body of the studied fish species indicates chronic contamination of the Dnipro reservoir with toxic substances of various origins (both organic and inorganic). This was adequately reflected in the levels of HM accumulation in the body of fish of different ecological groups - pelagic fish, benthic fish and predators.

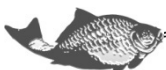
The obtained results indicate significant

gibelio віком 4+ (п'ятилітки). У м'язах карася сріблястого вміст цинку становив 46,50 мг/кг, що незначно перевищує ГДК. Перевищення показників вмісту Cu та Pb не відмічено.

Для риб Дніпровського водосховища концентрація більшості важких металів була підвищеною. У м'язах пелагічного виду — плітки *R. rutilus* — тільки вміст купруму перебував у межах норми (1,56 мг/кг); всі інші 6 важких металів перевищували ГДК щодо вмісту ВМ. У м'язах бентофага — карася сріблястого *C. gibelio* — підвищені рівні накопичення ВМ відзначалися для Mn, Fe, Pb, Ni, а для Zn, Cu, Cd показники їх вмісту знаходилися у межах нормативу.

У м'язах окуня річкового *P. fluviatilis* Дніпровського водосховища найбільша концентрація ВМ відзначена для Fe (80,54 мг/кг), підвищені показники — для Mn, Zn, Pb, Ni.

Отримані результати дають змогу стверджувати, що гідроєкосистема Дніпровського водосховища на сучасному етапі, на відміну від інших водних об'єктів регіону, є значно забрудненою важкими металами. Зазвичай, основними забрудниками екосистеми водосховища протягом багатьох років є підприємства металургійного комплексу та важкого машинобудування. У цьому регіоні знаходяться залізородні родовища, гірничо-видобувні та переробні комбінати, виробництво яких, викиди стічних та шахтних вод впливають на вміст ВМ у воді, донних відкладах та організмі риб. Особливо це стосується вмісту іонів заліза в дослідних об'єктах: значна кількість Fe у організмі досліджених видів риб свідчить про хронічне забруднення Дніпровського водосховища токсичними речовинами різного походження (як органічними, так і неорганічними). Це адекватно відобразилося на рівнях накопичення ВМ в організмі риб різних екологічних груп — пелагічних риб,



heavy metal contamination of silt deposits and water of some fishery reservoirs in the region (ponds of the PrJSC “AgroSoyuz”, PrJSC “Petrykivskiy Rybhosp”). The zinc and copper contents in the water of the Dnipro-Donbas hydrotechnical canal increases significantly if water is not pumped through the canal route for a long time.

Therefore, the heavy metal contents in the body of fish inhabiting water bodies of various purposes and are subject to commercial harvest must be subject to constant monitoring.

CONCLUSIONS AND PROSPECTS FOR FURTHER DEVELOPMENT

The study determined the heavy metal contents in the ecosystems of water bodies of various purposes - fishing ponds (PrJSC “AgroSoyuz”, PrJSC “Petrykivsky Rybhosp”), multi-purpose reservoirs (Dnipro, Sholokhivske), hydrotechnical water bodies (Dnipro-Donbas canal).

The heavy metal contents in bottom sediments of ponds was significantly higher than in water or fish bodies: manganese in the range of 41.24–68.43 mg/kg, cadmium – 0.32 mg/kg, lead 1.50–4.90 mg/kg (for the pond of PrJSC “AgroSoyuz”), as well as manganese - 29.73 mg/kg, cadmium - 0.54 mg/kg, lead 5.72 mg/kg (PrJSC “Petrykivskiy Fish Farm”). For the water of these ponds, which is used for fishing purposes, an excess of the content of some heavy metals was recorded - primarily Mn, Zn, Cd, and also Cu for the pond of PrJSC “AgroSoyuz”. No exceeding the normative content of HM for pond water of PE “Agrofirma “Nakhodka” was noted.

Deterioration of the quality of aquatic environment and a high HM content in water was noted for the Dnipro-Donbas hy-

придонних бентофагів та хижаків.

Отримані результати свідчать про значне забруднення важкими металами мулових відкладень та води деяких рибогосподарських водойм регіону (стави ПрАТ «АгроСоюз», ПрАТ «Петриківський рибгосп»). Значно зростає вміст цинку та купруму у воді гідротехнічного каналу Дніпро — Донбас, якщо тривалий час не здійснюється прокачування води трасою каналу.

Отже, вміст важких металів в організмі риб, які населяють водойми різного призначення і підлягають промислового вилученню, потребує постійного моніторингу.

ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШОГО РОЗВИТКУ

У результаті досліджень визначено вміст важких металів в екосистемах водойм різного призначення — рибогосподарських ставів (ПрАТ «АгроСоюз», ПрАТ «Петриківський рибгосп»), водойм комплексного призначення (Дніпровського, Шолохівського водосховищ), гідротехнічної водойми (канал Дніпро — Донбас).

У донних відкладах ставів вміст важких металів був значно вищим, ніж у воді чи організмі риб: мангану — в межах 41,24–68,43 мг/кг, кадмію — 0,32 мг/кг, свинцю — 1,50–4,90 мг/кг (для ставу ПрАТ «АгроСоюз»), а також мангану — 29,73 мг/кг, кадмію — 0,54 мг/кг, свинцю — 5,72 мг/кг (ПрАТ «Петриківський рибгосп»). Для води цих ставів, яка використовується для рибогосподарських цілей, фіксувалося перевищення вмісту деяких важких металів — перш за все, Mn, Zn, Cd, а для ставу ПрАТ «АгроСоюз» — ще й Cu. Не відзначено перевищення нормативного вмісту ВМ для води ставу ПП «Агрофірма «Находка»».

Погіршення якості водного середовища і високий вміст ВМ у воді відзна-



drotechnical canal (before pumping water along the canal route).

Different heavy metal contents were noted in all the studied fishes (roach *R. rutilus*, Prussian carp *C. gibelio*, perch *P. fluviatilis*, common carp *C. carpio*). The lowest rate of HM accumulation was noted in the muscles of the Prussian carp *C. gibelio* of the Sholokhivske Reservoir. The highest levels of accumulation of heavy metals are characteristic of fish of the Dnipro Reservoir. The content of 6 heavy metals (Mn, Zn, Fe, Pb, Ni, Cd) out of the seven studied was exceeded in roach *R. rutilus*.

The obtained results have theoretical and practical importance for the preparation of scientific and biological justifications for the fishery use of water bodies for various purposes in the region. To guarantee food safety and quality of raw materials and edible fish products, it is necessary to constantly monitor the content of heavy metals in aquatic organisms.

чався для гідротехнічного каналу Дніпро — Донбас (до прокачування води трасою каналу).

У всіх досліджених рибах (плітка *R. rutilus*, карась сріблястий *C. gibelio*, окунь річковий *P. fluviatilis*, короп звичайний *C. carpio*) відзначалися різні показники вмісту важких металів. Найменший показник накопичення ВМ відзначений у м'язах карася сріблястого *C. gibelio* Шолохівського водосховища. Найбільші рівні накопичення важких металів притаманні риbam Дніпровського водосховища. У плітки *R. rutilus* перевищений вміст 6 важких металів (Mn, Zn, Fe, Pb, Ni, Cd) із семи досліджених.

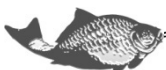
Отримані результати мають теоретичне і практичне значення для підготовки науково-біологічних обґрунтувань рибогосподарського використання водойм різного призначення регіону. Для гарантування продовольчої безпеки і якості сировини та харчової рибної продукції потрібно проводити постійний моніторинг вмісту важких металів в гідробіонтах.

REFERENCES

1. Kolesnyk, N. L. (2012). Vazhki metaly v ekosystemi staviv ta yikh vplyv na ryboproduktyvnist' i kharchovu tsinnist' ryby v umovakh intensyvnoho vyroshchuvannya. *Candidate's thesis*. Kyiv.
2. Kolesnyk, N. L. (2014). Rozpodil vazhkykh metaliv sered komponentiv prysnovodnykh ekosystem (ohlyad). *Rybohospodarska nauka Ukrainy*, 3, 35-54.
3. Hrytsynyak, I. I., & Kolesnyk, N. L. (2014). Biologichne znachennya ta toksychnist' vazhkykh metaliv dlya bioty prysnovodnykh vodoym (ohlyad). *Rybohospodarska nauka Ukrainy*, 2, 31-45.
4. Jijie, R., et al. (2020). Antagonistic effects in zebrafish (*Danio rerio*) behavior and oxidative stress induced by toxic metals and deltamethrin acute exposure. *Science of the Total Environment*, 698.

ЛІТЕРАТУРА

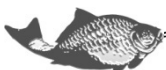
1. Колесник Н. Л. Важкі метали в екосистемі ставів та їх вплив на рибопродуктивність і харчову цінність риби в умовах інтенсивного вирощування: дис... канд. с.-г. наук : 06.02.03. Київ, 2012. 191 с.
2. Колесник Н. Л. Розподіл важких металів серед компонентів прісноводних екосистем (огляд) // Рибогосподарська наука України. 2014. № 3. С. 35—54.
3. Грициняк І. І., Колесник Н. Л. Біологічне значення та токсичність важких металів для біоти прісноводних водойм (огляд) // Рибогосподарська наука України. 2014. № 2. С. 31—45.
4. Antagonistic effects in zebrafish (*Danio rerio*) behavior and oxidative stress induced by toxic metals and deltamethrin



5. *Global mercury assessment* (2002). Issued by UNEP Chemicals. Switzerland: Geneva.
6. Linnik, P. N. (2000). Heavy metals in surface waters of Ukraine: Their content and forms of migration. *Hydrobiological Journal*, 36 (3), 31-54.
7. Sfakianakis, D. G., et al. (2015). Effect of heavy metals on fish larvae deformities: A review. *Environmental Research*, 137, 246-255.
8. Linnik, P. N., & Zhezherya, V. A. (2011). Peculiarities of metals migration in the «bottom sediments – water» system with decreasing pH and increasing the concentration of fulvic acids. *Hydrobiological Journal*, 47(5), 86-101.
9. Hrubinko, V. V. (2017). Adaptivni stratehiyi toksykorezystentnosti do metaliv u hidrobiontiv. *Naukovi zapysky Ternopil's'koho natsional'noho pedahohichnoho universytetu. Seriya Biolohiya*, 69(2), 129-149.
10. Zhezherya, V. A., et al. (2023). Eksperymental'ne modelyuvannya vplyvu temperatury na mihratsiyu khimichnykh rechovyn z donnykh vidkladiv. *Hydrobiological Journal*, 59 (4), 94-111.
11. EU. (2000). Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of October 23, 2000 establishing a framework for community action in the field of water policy. *Official Journal of the European Communities*, 327, 1-73.
12. *Metodyka zboru i obrobky ikhtiolohichnykh i hidrobiolohichnykh materialiv iz metoyu vyznachennya limitiv promyslovoho vyluchennya ryb iz velykykh vodoskhovyshch i lymaniv Ukrayiny* (1998). Kyiv: IRH UAAN.
13. Ryzhuk, S. M., et al. (Eds.). (2003). *Metodyka provedennya vyznachennya vazhkykh metaliv u rybi*. Kyiv.
14. Romanenko, V. D. (Ed.). (2006). *Metody hidroekolohichnykh doslidzhen poverkhnelykh vod*. Kyiv.
15. Bonar, S. A., & Hubert, W. A. (2009). acute exposure / Jijie R. et al. // *Science of The Total Environment*. 2020. Vol. 698. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.134299.
5. *Global mercury assessment* : issued by UNEP Chemicals. Switzerland : Geneva, 2002. 270 p.
6. Linnik P. N. Heavy metals in surface waters of Ukraine : Their content and forms of migration // *Hydrobiological Journal*. 2000. Vol. 36, № 3. P. 31—54.
7. Effect of heavy metals on fish larvae deformities: A review / Sfakianakis D. G. et al. // *Environmental Research*. 2015. Vol. 137. P. 246—255.
8. Linnik P. N., Zhezherya V. A. Peculiarities of metals migration in the «bottom sediments — water» system with decreasing pH and increasing the concentration of fulvic acids // *Hydrobiological Journal*. 2011. Vol. 47 (5). P. 86—101.
9. Грубінко В. В. Адаптивні стратегії токсикорезистентності до металів у гідробіонтів // *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету*. 2017. № 2 (69). С. 129—149. (Серія : Біологія).
10. Експериментальне моделювання впливу температури на міграцію хімічних речовин з донних відкладів / Жежеря В. А. та ін. // *Гідробіологічний журнал*. 2023. Т. 59, № 4. С. 94—111.
11. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of October 23, 2000 establishing a framework for community action in the field of water policy // *Official Journal of the European Communities*. 2000. Vol. 327. P. 1—73.
12. Методика збору і обробки іхтіологічних і гідробіологічних матеріалів із метою визначення лімітів промислового вилучення риб із великих водосховищ і лиманів України. Київ : ІРГ УААН, 1998. 47 с.
13. Методика проведення визначення важких металів у рибі / ред. Рижук



- Standard methods for sampling North American freshwater fishes.* Bethesda, Maryland: American Fisheries Society.
16. Pylypenko, Yu. V., et al. (2017). *Metody ikhtiologichnykh doslidzhen': navchal'nyy posibnyk.* Kherson: Oldi-Plyus.
17. Lomnyts'ka, Ya. F., et al. (2013). *Sklad ta khimichnyy kontrol' ob'yektiv dovkillya: navchal'nyy posibnyk.* L'viv: Novyy Svit-2000.
18. Boholyubov, V. M., et al. (2010). *Monitorynh dovkillya: pidruchnyk.* Vinnytsya: VNTU.
19. Instruktsiya z vidbyrannya, pidhotovky prob vody i gruntu dlya khimichnoho ta hidrobiologichnoho analizu hidrometeorologichnykh stantsiyamy i postamy (2016). *Zatv. Nakazom Derzhavnoyi sluzhby Ukrainy z nadzvychaynykh sytuatsiy Ukrainy 19.01.2016 № 30, zi zminamy, vnesenymy z'hidno z Nakazom DSNS Ukrainy № 126 vid 16.03.2016.* zakononline.com.ua. Retrieved from: https://zakononline.com.ua/documents/show/111800__530523.
20. Yakist vody. Vidbyrannia prob. (2004). Ch. 4. *Nastanovy shchodo vidbyrannia prob iz ozer, shtuchnykh i pryrodnykh vodoim. DSTU ISO 5667-4-2001.* Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy.
21. Ryba zhyva. Zahalni tekhnichni vymohyiu. (2012). *DSTU 2284:2010.* Nationalnyi standart Ukrainy. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy.
22. Voda rybohospodarskykh pidpriemstv (2013). *Zahalni vymohy ta normy (zmina №1, zatverdzhena Minahropolityky Ukrainy 10.06.2013 r.). SOU 05.01-37-385:2006.* Kyiv.
23. Yesipova, N. B., et al. (2023). The hydroecological characteristics of current state of the Zaporizhzhia (Dnipro) reservoir and its tributaries. *Ribogospodarska nauka Ukrainy, 4 (66), 35-48.*
24. Sharamok, T. S., & Fedonenko, O. V. (2012). *Rozpodil vazhkykh metaliv v S. M., Lisoviy M. B., Benцаровський Д. М. Київ, 2003. 64 с.*
14. *Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / ред. Романенко В. Д. Київ, 2006. 628 с.*
15. Bonar S. A., Hubert W. A. *Standard methods for sampling North American freshwater fishes.* Bethesda, Maryland: American Fisheries Society. 2009.
16. *Методи іхтіологічних досліджень: навчальний посібник / Пилипенко Ю. В. та ін. Херсон : Олді-Плюс, 2017. 432 с.*
17. *Склад та хімічний контроль об'єктів довкілля: навчальний посібник / Ломницька Я. Ф. та ін. Львів : Новий Світ-2000, 2013. 589 с.*
18. *Моніторинг довкілля : підручник / Боголюбов В. М. та ін. Вінниця : ВНТУ, 2010. 232 с.*
19. *Інструкція з відбирання, підготовки проб води і ґрунту для хімічного та гідробіологічного аналізу гідрометеорологічними станціями і постами : Затв. Наказом Державної служби України з надзвичайних ситуацій України 19.01.2016 № 30, зі змінами, внесеними згідно з Наказом ДСНС України № 126 від 16.03.2016. URL : https://zakononline.com.ua/documents/show/111800__530523 (дата звернення : 25.05.2024).*
20. *ДСТУ ISO 5667-4-2001. Якість води. Відбирання проб. Ч. 4. Настанови щодо відбирання проб із озер, штучних і природних водойм. Київ : Держспоживстандарт України, 2004. 10 с.*
21. *ДСТУ 2284:2010. Риба жива. Загальні технічні вимоги. Київ : Держспоживстандарт України, 2012. 12 с. (Національний стандарт України).*
22. *СОУ 05.01-37-385:2006. Вода рибогосподарських підприємств. Загальні вимоги та норми (Зміна № 1, затверджена Мінагрополітики України 10.06.2013 р.). Київ, 2013. 21 с.*
23. *Гідроекологічна характеристика су-*



- ekosystemi petrykivs'kykh staviv. *Problemy ekolohiyi ta okhorony pryrody tekhnohennoho rehionu*, 173-178.
25. Sharamok, T. S., et al. (2019). Hidroekolohichna otsinka Zaporizkoho vodoshkovichcha. *Pytannia bioindykatsii ta ekolohii*, 24, 2, 147-161.
 26. Nakhshyna, E. P. (1985). Tiazhelie metalli v systeme «voda – donnie otlozheniya» vodoemov. *Hydrobiologicheskyy zhurnal*, 21 (2), 80-90.
 27. Nakhshyna, E. P. (1983). *Mikroelementy v vodokhranilishchakh Dnepra*. Kyiv: Naukova dumka.
 28. Vasyl'yeva, O. M., et al. (2019). Dynamika yakisnykh pokaznykiv stanu ryby v kanali «Dnipro–Donbas» unaslidok sezonnoho prokachuvannya. *Agrology*, 2 (2), 106-111.
 - часного стану Запорізького (Дніпровського) водосховища та його приток / Єсіпова Н. Б. та ін. // Рибогосподарська наука України. 2023. № 4 (66). С. 35—48.
 24. Шарамок Т. С., Федоненко О. В. Розподіл важких металів в екосистемі петриківських ставів // Проблеми екології та охорони природи техногенного регіону. 2012. № 1 (12). С. 173—178.
 25. Гідроекологічна оцінка Запорізького водосховища / Шарамок Т. С. та ін. // Питання біоіндикації та екології. 2019. Вип. 24, № 2. С. 137—149.
 26. Нахшина Е. П. Тяжелые металлы в системе «вода — донные отложения» водоемов // Гидробиологический журнал. 1985. Т. 21, № 2. С. 80—90.
 27. Нахшина Е. П. Микроэлементы в водохранилищах Днепра. Киев : Наукова думка, 1983. 160 с.
 28. Динаміка якісних показників стану риби в каналі «Дніпро–Донбас» унаслідок сезонного прокачування / Васильєва О. М. та ін. // *Agrology*. 2019. № 2 (2). С. 106—111.

