

## THE HYDROECOLOGICAL CHARACTERISTICS OF CURRENT STATE OF THE ZAPORIZHZHIA (DNIPRO) RESERVOIR AND ITS TRIBUTARIES

**N. Yesipova**, yesipova.natalia@gmail.com, Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro

**T. Sharamok**, sharamok@i.ua, Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro

**T. Sklyar**, microviro@ukr.net, Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro

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

**N. Gudym**, nadingud19@ukr.net, Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro

**V. Foroshchuk**, fara012017@gmail.com, Fishing private enterprise «V.V. Foroshchuk», Dnipro

**Purpose:** to determine the hydroecological condition of the different areas of the Zaporizhzhia (Dnipro) reservoir and its tributaries (Samara River, Konoplyanka River), which are under technogenic pressure.

**Methodology:** classical methods of determining hydrochemical indicators (pH, dissolved oxygen, carbon dioxide, permanganate oxidizability, anions and cations of organic and inorganic compounds) and microbiological parameters (total count of microorganisms and count of saprophytes) were used during the study. The content of heavy metals was determined by atomic absorption spectrophotometry.

**Findings:** The study of the current hydroecological state of the Zaporizhzhia (Dnipro) reservoir in the summer period showed that, according to most parameters, the water quality did not exceed the MAC (maximum allowable concentration) for fish farming. The exception was the

## ГІДРОЕКОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА СУЧАСНОГО СТАНУ ЗАПОРІЗЬКОГО (ДНІПРОВСЬКОГО) ВОДОСХОВИЩА ТА ЙОГО ПРИТОК

**Н. Б. Єсіпова**, yesipova.natalia@gmail.com, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, м. Дніпро

**Т. С. Шарамок**, sharamok@i.ua, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, м. Дніпро

**Т. В. Скляр**, microviro@ukr.net, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, м. Дніпро

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

**Н. Г. Гудим**, nadingud19@ukr.net, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, м. Дніпро

**В. В. Форощук**, fara012017@gmail.com, риболовне приватне підприємство «Форощук В.В.», м. Дніпро

**Мета.** Визначити гідроекологічний стан різних ділянок Запорізького (Дніпровського) водосховища та його приток (р. Самари, р. Коноплянки), які несуть техногенне навантаження.

**Методика.** При проведенні досліджень використовувались класичні методи визначення гідрохімічних показників (рН, розчинений у воді кисень, двоокис вуглецю, перманганатна окиснюваність, аніони і катіони органічних та неорганічних сполук), мікробіологічних показників (загальна кількість мікроорганізмів, чисельність сапрофітів) та концентрації важких металів у воді. Вміст розчиненого у воді кисню визначали за методом Вінклера. Якість води оцінювали згідно із загальними вимогами та нормами для водойм рибогосподарського призначення.

**Результати.** Дослідження сучасного гідроекологічного стану Запорізького



reduced oxygen dissolved concentration (by 10–25%) in almost all areas of the reservoir, and the high mineralization of water in the Samara Bay (2 MAC), due to the discharge of highly mineralized waters of the Samara River. In the long-term aspect, there is an increase in the total mineralization of the Samara River (4 MAC, which is under the influence of the discharge mine waters of the coal mining industry of Western Donbas. The analysis of the content of heavy metals in the reservoir indicated an increase in the concentration of copper - from 13 MAC in the Samara Bay to 21 MAC in the lower part of the reservoir. The Samara River was characterized by a high content of cadmium (1.5 MAC), copper (13 MAC), and nickel (2.3 MAC). Indicators of the ecological state of the Konoplyanka River had significant differences in its different areas: in the upper reaches of the river, where the economic and domestic effluents of the city of Kamianske and the tailings storage facilities for radioactive waste are located, water did not meet the MAC for oxygen content, carbon dioxide, nitrites, nitrates, mineral ions ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ), general mineralization and the count of saprophytic microorganisms; at the mouth of the river, exceeding the MAC for nitrate content and saprophytic microflora was recorded.

**Originality:** data on the hydroecological state of the Zaporizhzhia (Dnipro) reservoir and its tributaries in the conditions of the war have been obtained.

**Practical value:** the results of the conducted study can be used to develop a strategic program for the restoration of the ecosystem of the Dnipro reservoirs in the post-war period.

**Key words:** Zaporizhzhia (Dnipro) reservoir, tributaries, hydrochemical parameters, count of microorganisms, heavy metals.

## PROBLEM STATEMENT AND ANALYSIS OF LAST ACHIEVEMENTS AND PUBLICATIONS

Large-scale military operations have been going on the territory of Ukraine

(Дніпровського) водосховища в літній період виявили, що основні показники якості води знаходились у межах нормативних значень для рибогосподарських об'єктів. Виключенням є знижена концентрація розчиненого у воді кисню (на 10–25%), порівняно із значенням галузевого стандарту, майже на всіх ділянках водосховища і висока мінералізація води в Самарській затоці (вище нормованих значень у 2 рази), зумовлена скидом високомінералізованих вод із р. Самара. У багаторічному аспекті спостерігається збільшення загальної мінералізації р. Самари (вище нормованих значень у 4 рази), яка знаходиться під впливом скидних шахтних вод вугледобувної промисловості Західного Донбасу. Аналіз вмісту важких металів у водосховищі свідчив про підвищення концентрації міді (13 ГДК у Самарській затоці і 21 ГДК у нижній частині водосховища). Річка Самара характеризувалась високим вмістом кадмію (1,5 ГДК), міді (13 ГДК) і нікелю (2,3 ГДК). Екологічний стан р. Коноплянки мав суттєві відмінності на різних її ділянках: у верхів'ї річки, куди потрапляють господарсько-побутові стоки м. Кам'янське і де розташовані хвостосховища радіоактивних відходів, якість води не відповідала рибогосподарським ГДК за вмістом розчиненого у воді кисню, двоокису вуглецю, нітритів, нітратів, іонів мінеральних солей ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ), показником загальної мінералізації і чисельністю сапрофітних мікроорганізмів; у гирлі річки було зафіксовано перевищення ГДК за вмістом нітратів і сапрофітної мікрофлори.

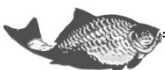
**Наукова новизна.** Отримано дані щодо гідроекологічного стану Запорізького (Дніпровського) водосховища та його приток в умовах воєнного періоду.

**Практична значимість.** Результати проведених досліджень можуть бути використані для розробки стратегічної програми щодо відновлення екосистеми Дніпровських водосховищ у післявоєнний період.

**Ключові слова:** Запорізьке (Дніпровське) водосховище, притоки, гідрохімічні показники, чисельність мікроорганізмів, важкі метали.

## ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ ТА АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

На території України майже два роки тривають масштабні воєнні дії, й це не може не відобразитись на стані назем-



for almost two years, and this cannot but be reflected in the state of terrestrial and aquatic ecosystems. Waging war through the destruction of infrastructure, the destruction of energy and industrial facilities leads to environmental pollution with dangerous compounds that enter water bodies from the atmosphere, with sewage, surface and ground water. As a result of large-scale military operations, many highly toxic substances are concentrated in reservoirs, which do not dissolve and do not decompose for a long period, accumulating in biotic and abiotic components of aquatic ecosystems [1]. It is quite difficult to objectively assess the degree of impact of the war on aquatic biocenoses, since the impact of many pollutants is cumulative and can manifest over a long period of time with an intensifying effect.

Modern wars are believed to have a much greater impact on ecosystems due to the potential of weapons than in the past. Armed conflicts provokes catastrophic consequences — water pollution by chemical, including nuclear substances, etc. [2]. The destruction of water treatment facilities during the Syrian civil war worsened water quality and caused the population to become ill; explosive residues after the war in Sri Lanka caused an increase in the concentration of heavy metals, fluoride and calcium in groundwater [3]. Among the consequences of the war was the flooding of mines with groundwater. As a result, toxic compounds (heavy metals, radionuclides) contained in coal rocks entered the groundwater [1].

A cluster analysis of publications devoted to the impact of military operations on water resources and soils identified the main factor — the pollution by heavy metals.

The authors believe that the migration of heavy metals should be investigated in more detail, since this factor can be decisive in the development of measures for

них і водних екосистем. Ведення війни шляхом знищення інфраструктури, руйнування енергетичних і промислових об'єктів призводить до забруднення навколишнього середовища небезпечними сполуками, які потрапляють у водойми з атмосфери, зі стічними, поверхневими і ґрунтовими водами. Внаслідок масштабних воєнних дій у водоймах концентрується багато високотоксичних речовин, які не розчиняються і не підлягають розпаду довготривалий період, накопичуючись у біотичних та абіотичних компонентах водних екосистем [1]. Об'єктивно оцінити ступінь впливу війни на водні біоценози досить важко, оскільки дія багатьох забруднювачів має кумулятивний характер і може проявитись через довготривалий проміжок часу з посиленням ефектом.

Вважається, що сучасні війни мають значно більший вплив на екосистеми через потенціал зброї, порівняно із минулими. Ведення збройних конфліктів провокує катастрофічні наслідки — забруднення води хімічними, у тому числі ядерними речовинами тощо [2]. Руйнування водоочисних споруд під час сирійської громадянської війни погіршило якість води і викликало захворювання населення; вибухонебезпечні залишки після війни в Шрі-Ланці спричинили збільшення концентрації важких металів, фтору та кальцію в підземних водах [3]. Серед наслідків війни відзначалося підтоплення шахт ґрунтовими водами. Як наслідок, в підземні води потрапляли токсичні сполуки (важкі метали, радіонукліди), що містились у вугільних породах [1].

При проведенні кластерного аналізу публікацій, присвячених впливу військових дій на водні ресурси та ґрунти, був виділений головний чинник — саме забруднення важкими металами.

Автори вважають, що міграція важких металів повинна бути більш деталь-



the improvement of water and land systems [4].

Today, on a global scale, water is becoming one of the key resources for which conflicts arise and will continue to arise, including military ones. In the conditions of modern Ukraine, a strategic task for society is to maintain the quality of water at a satisfactory level, because as a result of the war, it is under constant threat of rapid decline. The latter is caused, first of all, by hostilities, which cause the destruction of infrastructure and the entry of pollutants into hydroecosystems. In turn, the deterioration of their sanitary condition endangers both local communities and the entire country [5–7].

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

The Zaporizhzhia (Dnieper) Reservoir is located in the center of a densely populated industrial region, which causes a powerful man-made and economic and household pressure on its water area, intensified by military actions. The destruction of the Kakhovska HPP and the destruction of the Kakhovka reservoir may have negative consequences for the entire ecosystem of the Dnieper cascade. For the Zaporizhzhia (Dnieper) reservoir, which was the penultimate one in the Dnieper cascade and bordered the Kakhovka reservoir, these changes may be, in general, irreversible. Therefore, a modern comprehensive assessment of the hydro-ecological state of the lower Dnieper basin is of great importance for the development of a strategic program for its restoration in the post-war period.

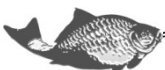
но досліджена, оскільки цей чинник може бути вирішальним при розробці заходів із оздоровлення водних і наземних систем [4].

На сьогодні, у загальносвітовому масштабі, вода стає одним з ключових ресурсів, за який виникають та виникатимуть конфлікти, у тому числі й воєнні. В умовах сучасної України стратегічним завданням для суспільства є підтримання якості води на задовільному рівні, оскільки внаслідок війни він перебуває під постійною загрозою стрімкого зниження. Останнє зумовлено, насамперед, бойовими діями, що спричинюють руйнацію інфраструктури та надходження забруднювальних речовин до гідроєкосистем. У свою чергу, погіршення їх санітарного стану наражає на небезпеку як місцеві громади, так і всю країну [5–7].

### **ВИДІЛЕННЯ НЕВИРШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ. МЕТА РОБОТИ**

Запорізьке (Дніпровське) водосховище знаходиться в центрі густонаселеного індустріального регіону, що зумовлює потужне техногенне і господарсько-побутове навантаження на його акваторію, посилене військовими діями. Руйнування Каховської ГЕС і знищення Каховського водосховища може мати негативні наслідки для всієї екосистеми дніпровського каскаду. Для Запорізького (Дніпровського) водосховища, яке було передостаннім у дніпровському каскаді і межувало з Каховським, ці зміни можуть мати, взагалі, незворотній характер. Тому, проведення сучасної комплексної оцінки гідроєкологічного стану басейну нижнього Дніпра має велике значення для розробки стратегічної програми щодо його відновлення в післявоєнний період.

Мета нашої роботи полягала у до-



The purpose of our work was to study the current hydro-ecological state of the Zaporizhzhia (Dnieper) reservoir and its tributaries, which are subject to technogenic stress. The tasks included the study of hydrochemical and microbiological parameters of water quality in different areas of the reservoir and its two tributaries: the right — the Konoplyanka River and the left — the Samara River. Both tributaries are characterized by a high level of anthropogenic pressure and affect the formation of the hydrochemical regime of the reservoir.

## MATERIALS AND METHODS

The study was conducted in the summer (July–August) of 2023. Water samples were taken at three parts of the Zaporizhzhia (Dnipro) reservoir: the upper part — in the Samara Bay; central — near the Monastyrskyi island (Dnipro city); the lower one — near the Mykilske village. In the tributaries, water was sampled at the following points: in the Konoplyanka River, sampling was carried out near the tailings repository for radioactive waste and in the mouth; in the Samara River — in the mouth near the village of Novoselivka. All water sampling points are presented in the diagram (Fig. 1).

Water sampling was carried out in the morning, in the surface layers, in compliance with generally accepted requirements. Determination of hydrochemical and microbiological parameters of water quality and the content of heavy metals in water was carried out according to classical methods [8]. Among the hydrochemical parameters, pH, dissolved oxygen, carbon dioxide, permanganate oxidizability, anions and cations of organic and inorganic compounds were determined. The development of microflora was assessed by the total count of microorganisms and

слідженні сучасного гідроекологічного стану Запорізького (Дніпровського) водосховища та його приток, які зазнають техногенного навантаження. Завдання містили дослідження гідрохімічних і мікробіологічних показників якості води різних ділянок водосховища та двох його приток: правої — р. Коноплянки — та лівої — р. Самари. Обидві притоки характеризуються високим рівнем антропогенного навантаження і впливають на формування гідрохімічного режиму водосховища.

## МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Дослідження проводили влітку (липень–серпень) 2023 р. Проби води відбирали на трьох ділянках Запорізького (Дніпровського) водосховища: верхній ділянці — в Самарській затоці; центральній — поблизу острова Монастирського (місто Дніпро); нижній — поблизу села Микільське. В притоках воду відбирали у наступних точках: в р. Коноплянка відбір здійснювався поблизу хвостосховища радіоактивних відходів і в гирлі; в р. Самара — в гирлі поблизу села Новоселівка. Всі точки відбору проб води представлені на схемі (рис. 1).

Відбір проб води здійснювався в ранкові часи, у поверхневих шарах, із дотриманням загальноприйнятих вимог. Визначення гідрохімічних, мікробіологічних показників якості води та вмісту важких металів у воді проводилось за класичними методами [8]. Серед гідрохімічних показників визначали рН, концентрацію розчиненого у воді кисню, двоокису вуглецю, перманганатну окиснюваність, аніони і катіони органічних і неорганічних сполук. Розвиток мікрофлори оцінювали за загальною кількістю мікроорганізмів і чисельні-





*Fig. 1. Scheme of the Zaporizhzhia (Dnipro) reservoir with water sampling points*

the count of saprophytes. The content of dissolved oxygen was determined by the Winkler method [9]. The water quality was assessed in accordance with the general requirements and norms for water bodies used for fishery purposes [10, 11].

### STUDY RESULTS AND THEIR DISCUSSION

According to the results of the work, pH values in all experimental areas of Zaporizhzhia (Dnipro) reservoir was within 7.3–8.2. This indicates a neutral and slightly alkaline reaction of water, which is optimal for the flow of redox processes in the reservoir and for the vital activity of most aquatic organisms (Table 1).

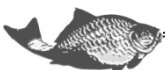
The average values of dissolved oxygen in all areas of the reservoir were lower or at the limit of the allowable values determined for water of water bodies intended for fish farming [10]. A decrease in dissolved oxygen content is regularly observed in the Zaporizhzhia (Dnieper) reservoir in the summer, as this reservoir is

стю сапрофітів. Вміст розчиненого у воді кисню визначали за методом Вінклера [9]. Якість води оцінювали згідно із загальними вимогами та нормами для водойм рибогосподарського призначення [10, 11].

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

За результатами роботи, водневий показник рН на всіх дослідних ділянках Запорізького (Дніпровського) водосховища перебував у межах 7,3–8,2. Це вказує на нейтральну і слаболужну реакцію води, що є оптимальною для протікання окисно-відновних процесів у водоймі та для життєдіяльності більшості гідробіонтів (табл. 1).

Усереднені значення розчиненого у воді кисню на всіх ділянках водосховища були нижчими або на межі допустимих значень, визначених для води рибогосподарських водойм [10]. Зниження вмісту розчиненого у воді кисню в літній період регулярно спостерігається у



**Table 1. Hydrochemical and microbiological parameters of water in various areas and tributaries of the Zaporizhzhia (Dnipro) reservoir (mean values)**

Parameter	Zaporizhzhia (Dnipro) reservoir			Samara River (mouth)	Konoplyanka River		Standard values
	Samara Bay	central part	lower part		tailings storage facility	mouth	
Temperature, °C	24.6	24.8	22.3	23.4	25.2	23.9	not more 28
pH	7.6	7.7	8.2	8.1	7.5	7.3	6.5–8.5
Dissolved oxygen, mg O <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup>	3.8*	4.5*	4.8*	4.4*	3.6*	5.2	≤5.0
Carbon dioxide, mg/dm <sup>3</sup> CO <sub>2</sub>	12.3	15.6	10.4	8.11	25.28*	8.43	≤25.0
Ammonium nitrogen, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , mgN/dm <sup>3</sup>	0.62	0.75	0.82	0.56	1.08	0.54	2.0
Nitrite, NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , mgN/dm <sup>3</sup>	0.014	0.051	0.016	0.02	0.27*	0.011	0.1
Nitrates, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , mgN/dm <sup>3</sup>	0.93	2.1	0.99	0.50	3.13*	2.17*	≤2.0
Permanganate oxidizability, mgO <sub>2</sub> / dm <sup>3</sup>	13.86	12.35	10.84	10.09	6.72	12.52	15.0
Calcium, Ca <sup>2+</sup> , mg- eq./ dm <sup>3</sup>	4.0*	1.0	1.0	7.0*	6.0*	3.0	2.5 – 3.5
Magnesium, Mg <sup>2+</sup> , mg- eq./dm <sup>3</sup>	4.0*	1.0	0.5	6.5*	4.0*	1.0	≤2.5
Hydrocarbons, HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , mg- eq./dm <sup>3</sup>	4.4	2.4	2.4	6.6	5.40	2.80	4.9–6.5
Chlorides, Cl <sup>-</sup> , mg- eq./ dm <sup>3</sup>	10.86*	2.72*	2.72*	21.72*	2.5*	1.25	1.48–1.97
Sulfates, SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , mg- eq./ dm <sup>3</sup>	14.72*	2.39*	1.25	30.39*	5.32*	0.79	1.04 – 1.46
Mineralization, mg/dm <sup>3</sup>	2007.9*	553.7	455.0	3897.5*	1060.0*	472.0	1000
Total count of microorganisms, cells / dm <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>5</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>6</sup>	3x10 <sup>6</sup>	5x10 <sup>6</sup>
Count of saprophytes, cells/dm <sup>3</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>6</sup> *	10 <sup>5</sup> *	5x10 <sup>3</sup>

Note: \* — values deviating from normal values [10].

characterized by a high degree of eutrophication [12]. The oxygen produced in the process of photosynthesis is actively spent on the oxidation of organic matter. In addition, the lack of oxygen can be caused by an increase in the biomass of ichthyofauna in the reservoir due to the lack of full-scale fishery during the war.

The content of mineral forms of nitrogen (ammonium, nitrites and nitrates) did not exceed the norms of the industry

Запорізькому (Дніпровському) водосховищі, оскільки ця водойма характеризується високим ступенем евтрофікації [12]. Кисень, що утворюється в процесі фотосинтезу, активно витрачається на окиснення органіки. Крім того, дефіцит кисню може бути зумовлений збільшенням біомаси іхтіофауни у водоймі внаслідок відсутності повноцінного рибного промислу під час війни.

Вміст мінеральних форм азоту (амо-



standard. However, the multi-year dynamics shows an increase in the concentration of nitrite and nitrate forms in the reservoir. Compared to the data of 2019, the content of nitrites in water increased almost 10 times, nitrates — 2–3 times [13]. An increase in the concentration of nitrites can be caused by enhanced processes of destruction of organic substances in conditions of slowed oxidation of nitrites to nitrates. But an increase in the concentration of nitrates indicates the flow of water self-purification processes.

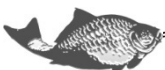
According to the data in the table, it can be seen that water of the Samara River is characterized by excessive mineralization (exceeds the normal values by 4 times) due to high contents of  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  cations and  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  anions. This river is affected by the coal mining industry of Western Donbass. The total volume of wastewater from mining enterprises is almost 1/3 of the annual flow of the Samara River [14], which determines its high mineralization. The Samara Bay of the Zaporizhzhia (Dnieper) Reservoir, which was formed in the estuary of the Samara River, is also characterized by high mineralization exceeding the normal values by 2 times. In the long-term aspect, there is a gradual increase in the total mineralization of water of the Samara River and the Samara Bay. This can be due to both man-made (increase in the volume of mine wastewater or changes in its mineral composition) and natural (intensification of evaporation processes due to changes in climatic conditions) factors.

The results of hydrochemical studies of the Konoplyanka River showed significant differences in the parameters of the water samples taken near the tailings ponds and at the mouth of the river. Near the tailings ponds, there is an excess of MACs for the content of carbon dioxide, nitrites, nitrates,

нійний, нітрити і нітрати) не перевищував нормативів галузевого стандарту. Однак, у багаторічній динаміці простежується зростання концентрації нітритних і нітратних форм у водосховищі. Порівняно із даними 2019 р., вміст нітритів у воді підвищився майже в 10 разів, нітратів — у 2–3 рази [13]. Збільшення концентрації нітритів може бути зумовленим посиленнями процесами деградації органічних речовин в умовах сповільненого окиснення нітритів до нітратів. Але підвищення вмісту нітратів вказує на протікання процесів самоочищення води.

Аналіз наведених у таблиці даних демонструє, що вода річки Самара характеризується надмірною мінералізацією (перевищує нормовані значення у 4 рази) за рахунок високого вмісту катіонів  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  і аніонів  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ . Ця річка зазнає впливу вугледобувної промисловості Західного Донбасу. Загальний об'єм стічних вод гірничодобувних підприємств становить майже 1/3 частини річного стоку р. Самари [14], що й зумовлює її високу мінералізацію. Самарська затока Запорізького (Дніпровського) водосховища, яка утворилась у пригірловій ділянці річки Самари, також має високу мінералізацію, що перевищує нормовані значення у 2 рази. У багаторічному аспекті спостерігається поступове збільшення загальної мінералізації води р. Самара та Самарської затоки. Це може пояснюватися як техногенними (збільшення об'єму стічних шахтних вод або зміна їх мінерального складу), так і природними (посилення процесів випаровування внаслідок зміни кліматичних умов) чинниками.

Результати гідрохімічних досліджень річки Коноплянки виявили суттєві відмінності в показниках проб води, відібраних поблизу хвостосховищ





mineral salts ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) and general mineralization against the background of low oxygen content (Table 1). At the mouth of the river, all parameters, with the exception of a slight excess of nitrate content, were within the normative values. Despite the fact that the annual flow of the Konoplyanka River is only 1.0–1.5% of the total flow of the reservoir, its high level of man-made load poses a potential threat to the ecosystem of this multipurpose reservoir. The presence of tailings in a significant part of the Konoplyanka river basin, which contain about 42 million tons of uranium ore processing waste [15], as well as the discharge of industrial and domestic water from the city of Kamianske, are potential sources of pollution of the water area of this river.

As for microbiological parameters, the total count of microorganisms and the count of saprophytes were 1–2 orders of magnitude lower than MAC in all areas of the Zaporizhzhia (Dnipro) reservoir. An increase in the count of saprophytic bacteria in the central part of the reservoir is explained by the influence of economic and domestic wastewater from the city of Dnipro. Water in this area had the highest concentration of biogenic elements, which, in combination with microbiological parameters, indicates the presence of a constant source of organic pollution. An increase in the count of microorganisms in the lower part of the reservoir may be associated with the processes of phytoplankton dying off. The latter massively develops precisely in the lower part of this reservoir, with slow water exchange.

Long-term dynamics of parameters of the bacterioplankton development in the Zaporizhzhia (Dnipro) reservoir showed periods of maximum and minimum values associated with different degrees of anthropogenic pressure [12]. It is natural to

і в гирлі річки. Поблизу хвостосховищ відмічалось перевищення рибогосподарських ГДК за вмістом двоокису вуглецю, нітритів, нітратів, мінеральних солей ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) і загальної мінералізації на фоні низького вмісту кисню (табл. 1). У гирлі річки всі показники, за виключенням незначного перевищення вмісту нітратів, знаходились у межах нормативних значень. Незважаючи на те, що річний стік р. Коноплянки становить лише 1,0–1,5% загального стоку водосховища, її високий рівень техногенного навантаження несе потенційну загрозу екосистемі цієї водойми комплексного призначення. Наявність на значній частині басейну р. Коноплянки хвостосховищ, які містять близько 42 млн т відходів переробки уранових руд [15], а також скидання промислових та господарсько-побутових вод міста Кам'янське є потенційними джерелами забруднення акваторії цієї річки.

Щодо мікробіологічних показників, то на всіх ділянках Запорізького (Дніпровського) водосховища загальна чисельність мікроорганізмів і чисельність сапрофітів були на 1–2 порядки нижчими, порівняно з рибогосподарськими ГДК. Збільшення чисельності сапрофітних бактерій в центральній частині водосховища пояснюється впливом господарсько-побутових стічних вод м. Дніпра. Саме на цій ділянці вода мала найбільшу концентрацію біогенних елементів, що в комплексі з мікробіологічними показниками свідчить про наявність постійного джерела органічного забруднення. Збільшення чисельності мікроорганізмів на нижній ділянці водосховища може бути пов'язано з процесами відмирання фітопланктону. Останній масово розвивається саме в нижній, зі сповільненим водообміном, частині цієї водойми.

У багаторічній динаміці показників розвитку бактеріопланктону Запо-



increase the total count of microorganisms and saprophytes in autumn, when the mass die-off of aquatic vegetation begins. Conversely, in summer, during the massive development of algaeflora (“blooming” of water), the count of surface bacterioplankton decreases due to the antagonism between saprophytes and blue-green algae.

The largest count of microorganisms was noted in the Konoplyanka River. The number of saprophytic bacteria in the water samples taken near the tailings ponds and in the mouth was 2–3 orders of magnitude higher than the allowable values. This is evidence of intensive organic pollution of the Konoplyanka River and the upper part of the reservoir, into which river water enters.

The results of studies of the content of heavy metals in water of various parts of the Zaporizhzhia (Dnieper) reservoir and the mouth of the Samara River are presented in Table 2.

In the lower part of the reservoir, there was an excess of MAC for the content of copper (21 MAC) and manganese (1.7 MAC); in the Samara Bay — for the content of zinc (1.3 MAC), copper (13 MAC) and nickel (1.2 MAC); in the mouth of the Samara River — for the content of cadmium (1.5 MAC), copper (13.4 MAC) and nickel (2.3 MAC). Compared to our study conducted in 2019 [13], a 2-fold increase in the copper content in water of the lower

різького (Дніпровського) водосховища спостерігаються періоди максимальних і мінімальних значень, пов’язані з різним ступенем антропогенного навантаження [12]. Закономірним є збільшення загальної чисельності мікроорганізмів і сапрофітів восени, коли починається масове відмирання водної рослинності. І навпаки, влітку, під час масового розвитку альгофлори («цвітіння» води), чисельність поверхневого бактеріопланктону зменшується внаслідок антагонізму між сапрофітами та синьо-зеленими водоростями.

Найбільша кількість мікроорганізмів відмічалась в р. Коноплянці. Чисельність сапрофітних бактерій у пробах води, відібраних поблизу хвостосховищ і в гирлі, на 2–3 порядки перевищувала допустимі значення. Це є доказом інтенсивного органічного забруднення р. Коноплянки та верхньої ділянки водосховища, до якої надходить річкова вода.

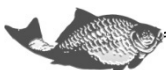
Результати досліджень вмісту важких металів у воді різних ділянок Запорізького (Дніпровського) водосховища і гирла річки Самари представлені в таблиці 2.

На нижній ділянці водосховища спостерігалось перевищення рибогосподарських ГДК за вмістом міді (21 ГДК) і мангану (1,7 ГДК); у Самарській затоці — за вмістом цинку (1,3 ГДК), міді (13 ГДК) і нікелю (1,2 ГДК); в гирлі р. Самара — за вмістом кадмію (1,5 ГДК),

Table 2. The content of heavy metals in water of different parts and tributaries of the Zaporizhzhia (Dnieper) reservoir (mean values)

Parts of the reservoir	Content of heavy metals in water, mg/dm <sup>3</sup>						
	Pb	Cd	Zn	Cu	Mn	Fe	Ni
Lower part	0.014	0.001	0.01	0.021*	0.017*	0.058	0.0071
Samara Bay	0.01	0.0018	0.013*	0.013*	0.006	0.013	0.012*
Samara River (mouth)	0.04	0.0076*	0.009	0.0134*	0.0097	0.152	0.023*
MAC	0.1	0.005	0.01	0.001	0.01	0.3	0.01

Note: \* — the values do not comply with MAC [11].



part of the reservoir was noted.

It is known that the main source of copper entering the natural environment is wastewater from the production of non-ferrous metals, machine-building, metalworking, textile [16], as well as agricultural enterprises, since they widely use a number of fungicides containing copper. An increase in the content of copper in hydroecosystems can be a consequence of military actions. In the Public Report on the results of the State Water Resources Agency of Ukraine in 2022, it is indicated that as a result of military operations, monitoring data recorded an excess of heavy metal concentrations, including copper. However, the content of other heavy metals in the water of the Zaporozhia Reservoir turned out to be lower in all areas, which may be related to their redistribution in the system water–bottom sediments.

### CONCLUSION AND PERSPECTIVES OF FURTHER DEVELOPMENT

Studies of the current hydro-ecological state of the Zaporizhzhia (Dnipro) Reservoir in the summer period showed that the main parameters of water quality were within the normative values for fish farming facilities. The exception is the reduced concentration of dissolved oxygen (by 10–25%) in almost all parts of the reservoir and the high mineralization of water in the Samara Bay (2 times higher than normal values), due to the discharge of highly mineralized waters from the Samara River. In the multi-year aspect, there was an increase in the total mineralization of the Samara River (4 times higher than the normal values), which is under the in-

міді (13,4 ГДК) та нікелю (2,3 ГДК). У порівнянні з нашими дослідженнями, проведеними в 2019 р. [13], відмічається збільшення в 2 рази вмісту міді у воді нижньої ділянки водосховища.

Відомо, що головним джерелом надходження міді в природне середовище є стічні води виробництва кольорових металів, машинобудівних, металообробних, текстильних [16], а також сільськогосподарських підприємств, оскільки вони широко використовують низку фунгіцидів, що містять мідь. Підвищення вмісту міді у гідроекосистемах може бути наслідком воєнних дій. У Публічному звіті про результати діяльності Державного агентства водних ресурсів України в 2022 р. вказано, що внаслідок воєнних дій дані моніторингу фіксують перевищення концентрацій важких металів, в тому числі й міді. Проте, вміст інших важких металів у воді Запорізького водосховища виявився меншим на всіх ділянках, що може бути пов'язано з перерозподілом їх в системі «вода — донні відкладення».

### ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШОГО РОЗВИТКУ

Дослідження сучасного гідроекологічного стану Запорізького (Дніпровського) водосховища в літній період виявили, що *основні показники якості води знаходились в межах нормативних значень для рибогосподарських об'єктів*. Виключенням є знижена концентрація розчиненого у воді кисню (на 10–25%) майже на всіх ділянках водосховища та висока мінералізація води в Самарській затоці (вище нормованих значень у 2 рази), зумовлена скидом високомінералізованих вод із річки Самара. У багаторічному аспекті спостерігається збільшення загальної мінералізації річки Самари (вище нормованих значень у 4 рази), яка знаходиться під



fluence of the discharge mine waters of the coal mining industry of Western Donbass. The analysis of the content of heavy metals in the reservoir indicated an increase in copper concentration (13 MAC in the Samara Bay and 21 MAC in the lower part of the reservoir). The Samara River was characterized by a high content of cadmium (1.5 MAC), copper (13 MAC) and nickel (2.3 MAC). The hydro-ecological condition of the Konoplyanka River had significant differences in its various sections. For example, near its headwaters, where the economic and domestic wastes of the city of Kamianske and radioactive waste tailings are located, the quality of water did not meet the fishery MAC: in terms of the content of oxygen, carbon dioxide, nitrites, nitrates, mineral salts ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ); general mineralization; the count of saprophytic microorganisms. At the same time, at the mouth of this river, an exceedance of the MAC was recorded for the content of nitrates and saprophytic microflora.

Regarding the changes in the hydro-ecological parameters of the Zaporizhzhia (Dnipro) reservoir in recent years, it is possible to note an almost 2-fold increase in the concentration of copper in water. In order to further assess the impact of the war on the reservoir ecosystem, it is necessary to carry out complex studies on the content of heavy metals in all abiotic and biotic structural components of the hydroecosystem, where their accumulation and redistribution are possible.

## REFERENCES

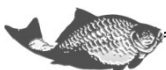
1. Sydoryshyna, Yu. H., & Kalinin, I. V. (2018). Nehatyvnyi vplyv viiskovykh dii na ekolohichni stan nashoi planety. *Ekolohichni naslidky viiskovykh dii. Materialy naukovo-praktychnoi konfer-*

впливом скидних шахтних вод вугледобувної промисловості Західного Донбасу. Аналіз вмісту важких металів у водосховищі свідчив про збільшення концентрації міді (13 ГДК у Самарській затоці і 21 ГДК у нижній частині водосховища). Річка Самара характеризувалась високим вмістом кадмію (1,5 ГДК), міді (13 ГДК) і нікелю (2,3 ГДК). Гідроекологічний стан річки Коноплянки мав суттєві відмінності на різних її ділянках. Так, поблизу її верхів'я, куди потрапляють господарсько-побутові стоки міста Кам'янське та розташовані хвостосховища радіоактивних відходів, якість води не відповідала рибогосподарським ГДК: за вмістом кисню, двоокису вуглецю, нітритів, нітратів, мінеральних солей ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ); показниками загальної мінералізації; чисельності сапрофітних мікроорганізмів. Водночас, у гирлі цієї річки було зафіксовано перевищення ГДК за вмістом нітратів і сапрофітною мікрофлорою.

Щодо змін гідроекологічних показників Запорізького (Дніпровського) водосховища за останні роки, то можна відмітити збільшення майже вдвічі концентрації міді у воді. Для подальшої оцінки впливу наслідків війни на екосистему водосховища необхідне проведення комплексних досліджень щодо вмісту важких металів в усіх абіотичних та біотичних структурних компонентах гідроекосистеми, де можливе їх накопичення і перерозподіл.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Сидоришина Ю. Г., Калінін І. В. Негативний вплив військових дій на екологічний стан нашої планети // Екологічні наслідки військових дій : наук.-практ. конф., 17-18 квіт. 2018



- entsii, 17-18 kvitnia 2018 roku. Kyiv: Natsionalnyi pedahohichnyi universytet imeni M.P. Drahomanova, 7-11.
2. Repez, F., & Atanasiu, M. (2019). The Environment - a "Silent Victim" of Armed Conflicts. *AUDRI*, 12, 2, 123-133.
  3. Schillinger, J., et al. (2020). Water in war: Understanding the impacts of armed conflict on water resources and their management. *WIREs Water*, 7:e1480, 19.
  4. Stadler, T., Temesi, Á., & Lakner, Z. (2022). Soil Chemical Pollution and Military Actions: A Bibliometric Analysis. *Sustainability*, 14, 7138.
  5. Huizinga, R. P., & Enserink, B. (2020). Water in military stabilization operations: comprehensive water intervention framework for conflict management and peacekeeping. *Water Policy*, 22 (1), 85-101.
  6. Pereiraa, P., et al. (2022). Russian-Ukrainian war impacts the total environment. *Science of The Total Environment*, 1, 155865.
  7. Ortiz-Correa, J. S., & Sustainable, A. D. (2022). Civil war's impact on the environment and on access to water and sanitation services: the case of Colombia. *Water Resources Management*, 8, 151.
  8. Romanenko, V. D. (Ed.). (2006). *Metody hidroekologichnykh doslidzhen poverkhnelykh vod*. Kyiv.
  9. Nabyvanets, B. Y., et al. (2007). *Analitychna khimiia poverkhnelykh vod*. Kyiv: Naukova dumka.
  10. Voda rybohospodarskykh pidpriemstv. Zahalni vymohy ta normy (zmina №1, zatverdzhena Minahropolityky Ukrainy 10.06.2013 r.). (2013). *SOU 05.01-37-385:2006*. Kyiv.
  11. *Uzahalnenyi perelik hranychno dopustymykh kontsentratsii (HDK) ta oriientovno bezpechnykh rivniv (OBRV) shkidlyvykh rehovyn dlia vody rybohospodarskykh vodoim*. (1990). Zatv. Nakazom Holovrybvodu 09.08.1990 r. р. : матер. Київ : Національний педагогічний університет імені М.П. Драгоманова, 2018. С. 7—11.
  2. Repez F., Atanasiu M. The Environment - a «Silent Victim» of Armed Conflicts // AUDRI. 2019. Vol. 12, 2. P. 123—133.
  3. Water in war: Understanding the impacts of armed conflict on water resources and their management / Schillinger J. et al. // WIREs Water. 2020. 7:e1480. P. 19
  4. Stadler T., Temesi Á., Lakner Z. Soil Chemical Pollution and Military Actions: A Bibliometric Analysis // Sustainability. 2022. Vol. 14, 7138. 17 p.
  5. Huizinga R. P., Enserink B. Water in military stabilization operations: comprehensive water intervention framework for conflict management and peacekeeping // Water Policy. 2020. Vol. 22 (1) P. 85—101.
  6. Russian-Ukrainian war impacts the total environment / Pereiraa P. et al. // Science of The Total Environment. 2022. Vol. 1. 155865.
  7. Ortiz-Correa J. S., Sustainable A. D. Civil war's impact on the environment and on access to water and sanitation services: the case of Colombia // Water Resources Management. 2022. Vol. 8. P. 151.
  8. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / ред. Романенко В. Д. Київ, 2006. 628 с.
  9. Аналітична хімія поверхневих вод / Набиванець Б. Й. та ін. Київ : Наукова думка, 2007. 456 с.
  10. 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.
  11. Узагальнений перелік гранично допустимих концентрацій (ГДК) та орієнтовно безпечних рівнів (ОБРВ) шкідливих речовин для води рибогосподарських водойм. Затв. Наказом Головрибвуду 09.08.1990 р. 1990. 44 с.
  12. Сучасні проблеми гідробіології: За-



12. Fedonenko, O. V., et al. (2012). *Suchasni problemy hidrobiologii: Zaporizke vodokhovyshche*. Dnipropetrovsk: LIRA.
13. Sharamok, T. S., et al. (2019). Hidroekolohichna otsinka Zaporizkoho vodokhovyshcha. *Pytannia bioindykatsii ta ekolohii*, 24, 2, 147-161.
14. Kharytonov, M. M., & Anisimova, L. B. (2013). Ekolohichna otsinka yakosti poverkhnevyykh vod baseinu richky Dnipro u Dnipropetrovskii oblasti. *Ekolohia i pryrodokorystuvannia*, 17, 75-86.
15. Dvoretzkyi, A. I., et al. (2016). Radioekolohiia vodoim Prydniprovia. *Visnyk ZhNAEU*, 3, 1 (55), 283-290.
16. Hagemeyer, J. (1999). Ecophysiology of plant growth under heavy metal stress. *Heavy metal stress in plant: from molecules to ecosystems*. Berlin Heilaleberg: Springer-Verlag, 157-181.
- порізьке водосховище / Федоненко О. В. та ін. Дніпропетровськ : ЛІРА, 2012. 280 с.
13. Гідроекологічна оцінка Запорізького водосховища / Шарамоk Т. С. та ін. // Питання біоіндикації та екології. 2019. Вип. 24, № 2. С. 147—161.
14. Харитонов М. М., Анісімова Л. Б. Екологічна оцінка якості поверхневих вод басейну річки Дніпро у Дніпропетровській області // Екологія і природокористування. 2013. Вип. 17. С. 75—86.
15. Радіоекологія водойм Придніпров'я / Дворецький А. І. та ін. // Вісник ЖНАЕУ. 2016. Т. 3, № 1 (55). С. 283—290.
16. Hagemeyer J. Ecophysiology of plant growth under heavy metal stress // Heavy metal stress in plant: from molecules to ecosystems. Berlin Heilaleberg : Springer-Verlag, 1999. P. 157—181.

