# BIORESOURCES AND ECOLOGY OF WATER BODIES / БІОРЕСУРСИ ТА ЕКОЛОГІЯ ВОДОЙМ

Ribogospod. nauka Ukr., 2025; 1(71): 26-48
DOI: https://doi.org/10.61976/fsu2025.01.026
UDC 597:[556.5:621.039](477.43)

Received: 25.01.2025
Received in revised form: 27.02.2025
Accepted: 12.03.2025

## ICHTHYOLOGICAL ASPECTS OF IMPLEMENTING BIOLOGICAL AMELIORATION OF THE COOLING POND OF THE KHMELNYTSKYI NPP

**I. Buzevych**, busevitch@ukr.net,
ORCID ID 0000-0001-7526-9774, Institute of Fisheries of the NAAS, Kyiv
**O. Buzevych**, busevitch@ukr.net,
ORCID ID 0000-0003-0971-9890, Institute of Fisheries of the NAAS, Kyiv
**I. Burjak**, iburak@ukr.net,
ORCID ID 0000-0002-6059-167X, Institute of Fisheries of the NAAS, Kyiv
**G. Drogan**, drogan15@i.ua,
ORCID ID 0000-0002-4723-3325, Institute of Fisheries of the NAAS, Kyiv

***Purpose.*** *The purpose of the work is to determine and analyze the main parameters, which characterize the impact of fisheries activities on the conditions for biological amelioration of the cooling pond of the Khmelnytskyi NPP.*

***Methodology.*** *Ichthyological material was selected from commercial catches of gillnets with a mesh size of 36-120 mm in the summer-autumn period of 2021 and the autumn period of 2024. A total of 244 net-days were analyzed, of which 2268 individuals of different species were collected for mass measurements, and 434 individuals for full biological analysis. The collection and analysis of materials were carried out according to generally accepted methods. To assess the theoretical survival of silver and bighead carps, the annual natural mortality rate was used, which was determined based on the natural mortality rate calculated using the parameters of the Bertalanffy equation. The abundance of silver and bighead carp generations for a given year was determined based on the volume of stocking, average natural mortality rates, and commercial catch parameters. The volume of stocking and catch was taken from official reporting data.*

## ІХТІОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЗДІЙСНЕННЯ БІОЛОГІЧНОЇ МЕЛІОРАЦІЇ ВОДОЙМИ-ОХОЛОДЖУВАЧА ХМЕЛЬНИЦЬКОЇ АЕС

**І. Ю. Бузевич,** busevitch@ukr.net,
ORCID ID 0000-0001-7526-9774, Інститут рибного господарства НААН, м. Київ
**О. А. Бузевич,** kievskoe23@ukr.net,
ORCID ID 0000-0003-0971-9890, Інститут рибного господарства НААН, м. Київ
**І. В. Буряк,** iburak@ukr.net,
ORCID ID 0000-0002-6059-167X, Інститут рибного господарства НААН, м. Київ
**Г. М. Дроган,** drogan15@i.ua,
ORCID ID 0000-0002-4723-3325, Інститут рибного господарства НААН, м. Київ

***Мета.*** *Визначення та аналіз основних показників, які характеризують вплив рибогосподарської діяльності на умови здійснення біологічної меліорації водойми-охолоджувача (ВО) Хмельницької АЕС.*

***Методика.*** *Іхтіологічний матеріал відбирався з промислових уловів ставних сіток з кроком вічка 36–120 мм в літньо-осінній період 2021 та осінній період 2024 рр. Загалом було проаналізовано 244 сіткодоби промислових сіток, з яких на масові проміри відібрано 2268 екз. різних видів, на повний біологічний аналіз — 434 екз. Збір та аналіз матеріалів проводились за загальноприйнятими методиками. Для оцінки теоретичного виживання товстолобиків використано річний коефіцієнт природної смертності, який визначався на підставі показника природної смертності, розрахованого за параметрами рівняння Берталанфі. Чисельність генерацій товстолобиків на певний рік визначали на підставі обсягів зариблення, середніх коефіцієнтів природної смертності та показників промислового вилову. Обсяги зариблення та вилову приймались у відповід-*

*Calculations were performed in MS Excel 2016.*

***Findings**. The majority of the commercial stock of the ichthyofauna of the studied pond in recent years were silver and bighead carps (on average 32.7%), Prussian carp (18.7%), roach (15.1%) and common carp (10.8%), the composition of dominant species was characterized by stability, with the exception of an increase in the share of Prussian carp. The actual stocking rates of the pond generally corresponded to the planned ones, however, the commercial catches amounted to only 12% of the planned ones.*

*The average total mortality for middle age groups, according to the analysis of the catch curve, was $\varphi_Z$=0.42, which allows assessing their estimated annual catch at the level of $\varphi_F$=0.03…0.07. In contrast, for older age groups, the total annual mortality rate was $\varphi_Z$=0.47, while the average estimated annual fishing mortality was $\varphi_F$=0.26…0.27. Meanwhile, calculations of annual natural mortality for older age groups based on the analysis of the catch structure and catch statistics data gave the value $\varphi_F$=0.01…0.05.*

*To localize the negative impact of secondary (due to increased natural mortality) pollution of the pond at an acceptable level, it is necessary to introduce moderate harvest of ichthyomas of middle age groups of biological control agents with an annual fishing mortality coefficient at the level of $\varphi_F$ =0.05-0.10, and increased catch of age groups from age-7 and older with $\varphi_F$=0.30…0.40. To ensure maximum effect of biological control, the optimal gears for catching silver and bighead carps are gill nets with a mesh size of a=90-100 mm.*

***Originality.** General trends in the dynamics of integral characteristics of the commercial stock of silver and bighead carps were determined in the context of the scientific fundamentals of managing the biomass of biological control agents. The knowledge on the methodological principles of ensuring the effectiveness of biological amelioration of technical water bodies has been deepened.*

***Practical Value.** The results obtained were used to adjust the procedure for fishery exploitation of the Khmelnitsky NPP pond in order to implement biological amelioration through the directed development of ichthyofauna.*

***Keywords:** cooling pond, ichthyofauna, biological amelioration, Chinese carps.*

*ності до офіційних звітних даних. Обчислення проводили на комп'ютері в електронних таблицях «MS Excel 2016».*

***Результати**. Основу промислового запасу іхтіофауни дослідженої водойми останніми роками складали товстолобики (в середньому 32,7%), карась сріблястий (18,7%), плітка (15,1%) та короп (10,8%); склад видів-домінантів характеризувався стабільністю, за виключенням зростання частки сріблястого карася. Фактичні показники зариблення водойми в цілому відповідали плановим, проте промислові улови склали лише 12% від планових.*

*Середня загальна смертність для середніх вікових груп, за даними аналізу кривої улову, становила $\varphi_Z$=0,42, що дозволяє оцінити розрахункове їх річне вилучення на рівні $\varphi_F$=0,03…0,07. Натомість, для старших вікових груп показник загальної річної смертності перебував на рівні $\varphi_Z$=0,47, середня розрахункова річна промислова смертність при цьому складала $\varphi_F$=0,26…0,27. Між тим, розрахунки річної природної смертності для старших вікових груп на підставі аналізу структури уловів і даних промислової статистики дають величину $\varphi_F$=0,01…0,05.*

*Для локалізації негативного впливу процесів вторинного (за рахунок підвищеної природної смертності) забруднення водойми на прийнятному рівні, слід запровадити помірне вилучення іхтіомаси середніх вікових груп меліораторів з коефіцієнтом річної промислової смертності на рівні $\varphi_F$=0,05–0,10, та посилений облов вікових груп від семирічок і старше з $\varphi_F$=0,30…0,40. Для забезпечення максимального меліоративного ефекту оптимальними знаряддями лову товстолобиків є ставні сітки з кроком вічка a=90–100 мм.*

***Наукова новизна.** Визначено загальні тенденції динаміки інтегральних характеристик промислового стада товстолобиків в контексті наукових основ управління показниками біомаси риб-меліораторів. Розширено уявлення щодо методичних засад забезпечення ефективності біологічної меліорації технічних водойм.*

***Практична значимість.** Отримані результати використані при коригуванні порядку рибогосподарського використання ВО ХмАЕС з метою здійснення біологічної меліорації за рахунок спрямованого формування іхтіофауни.*

***Ключові слова:** водойма-охолоджувач, іхтіофауна, біологічна меліорація, рослиноїдні риби.*

## PROBLEM STATEMENT AND ANALYSIS OF LAST ACHIEVEMENTS AND PUBLICATIONS

Biological obstacles associated with the water supply of power plants can be traced in several aspects. First of all, this is a change in the operational characteristics of the cooling pond (reduction in the active heat exchange area due to overgrowth of the cooling pond with the highest aquatic vegetation; reduction in heat transfer to the atmosphere due to water "blooms"; reduction in the useful volume of the pond due to an increase in the thickness of bottom sediments. In addition, bioobstacles can occur directly in the heat exchange equipment (due to the development of biofilms on the condenser tubes and other heat exchangers) and in the technical and circulating water supply system (ingress of a large amount of biological material into the water supply system) [1-7].

Today, there are several methods for removing excess organic matter from water bodies - mechanical (mowing of macrophytes, cleaning the bed from mollusks and bottom sediments), chemical (application of phytocides), however the most optimal in terms of combining efficiency, cost and impact on the environment can be considered a biological method, in particular through the directed development of ichthyofauna. However, in most cases, such measures are carried out in water bodies with a developed self-reproducing ichthyofauna complex, which is an important element in maintaining the stability of the aquatic ecosystem and, accordingly, requires a separate assessment of the consequences of the introduction of biological control agents [8-10]. This problem is especially acute in the context of the general deterioration of the structural and functional parameters of the ichthyofauna of water bodies of various types, which has been observed in the last 20 years [11-14]. In

## ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ ТА АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

Біологічні перешкоди, пов'язані з водопостачанням електростанцій, можуть простежуватися у кількох аспектах. Насамперед, це зміна експлуатаційних характеристик водойми-охолоджувача (зменшення активної площі теплообміну за рахунок заростання водойми-охолоджувача вищою водяною рослинністю; зменшення тепловіддачі в атмосферу за рахунок «цвітіння» води; зменшення корисного об'єму водойми за рахунок збільшення потужності донних відкладень. Крім того, біоперешкоди можуть виникати безпосередньо в теплообмінному устаткуванні (за рахунок утворення біоплівок на трубках конденсаторів та інших теплообмінниках) та в системі технічного та циркуляційного водопостачання (потрапляння в систему водоводів великої кількості біологічного матеріалу) [1–7].

На сьогодні існує кілька способів вилучення надлишкової органічної речовини з водойм: механічний (викошування макрофітів, очищення ложа від молюсків та донних відкладень), хімічний (застосування фітоцидів), проте найоптимальнішим з точки зору поєднання ефективності, вартості та впливу на навколишнє середовище, можна вважати біологічний метод, зокрема за допомогою спрямованого формування іхтіофауни. Проте у більшості випадків такі заходи проводяться у водоймах зі сформованим самовідтворювальним іхтіокомплексом, який є важливим елементом підтримання стабільності водної екосистеми і, відповідно, потребує окремої оцінки наслідків інтродукції видів-меліораторів [8–10]. Особливо гостро ця про-

addition, cooling ponds are fishery water bodies with the possibility of organizing the harvest of aquatic bioresources, that is, they should (at least at the regional level) become part of the food security complex of the state [15-17].

That is, biological amelioration should include a set of measures developed within the framework of an integrated approach, taking into account ecological and fisheries, technical and organizational factors.

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

Studies of the state of the ichthyofauna of the Khmelnytskyi NPP cooling pond (KhmNPP CP), which were conducted in previous years, were aimed both at determining the structural parameters of the ichthyofauna in conditions of elevated water temperature [18], and at certain aspects of biological amelioration using the directed development of the ichthyofauna [6, 8, 19]. However, during the 15-year period of operation of the KhmNPP cooling pond in the regime of special commercial fish farm, there was a need to assess the current state of the ichthyofauna complex of this water body, in particular from the point of view of the effectiveness of measures for the artificial reproduction of biological control agents.

The aim of the work was to determine and analyze the main parameters that characterize the impact of fisheries activities on the conditions for biological amelioration of the cooling pond of the Khmelnytskyi NPP.

блема постає в контексті загального погіршення структурно-функціональних показників іхтіофауни водних об'єктів різного типу, яке спостерігається впродовж останніх 20 років [11–14]. Крім того, водойми-охолоджувачі відносяться до рибогосподарських водних об'єктів з можливістю організації промислу водних біоресурсів, тобто вони повинні (принаймні на регіональному рівні) стати частиною комплексу забезпечення продовольчої безпеки держави [15–17].

Тобто, біологічна меліорація повинна включати комплекс заходів, які розроблені в рамках інтегрованого підходу з урахуванням еколого-рибогосподарських, технічних та організаційних чинників.

## ВИДІЛЕННЯ НЕВИРІШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ. МЕТА РОБОТИ

Дослідження стану іхтіофауни водойми-охолоджувача Хмельницької АЕС (ВО ХмАЕС), які проводились у попередні роки, були зосереджені як на визначенні структурних показників іхтіофауни в умовах підвищеної температури води [18], так і окремих аспектах біологічної меліорації за допомогою спрямованого формування іхтіофауни [6, 8, 19]. Проте за 15-річний період експлуатації ВО ХмАЕС в режимі спеціального товарного рибного господарства виникла необхідність в оцінці сучасного стану іхтіокомплексу даної водойми, зокрема з точки зору ефективності заходів зі штучного відтворення біомеліораторів.

Метою роботи є визначення та аналіз основних показників, які характеризують вплив рибогосподарської діяльності на умови здійснення біологічної меліорації водойми-охолоджувача Хмельницької АЕС.

## MATERIALS AND METHODS

The assessment of the state of the ichthyofauna of the KhmNPP CP was carried out based on the results of the analysis of structural and quantitative parameters of commercial catches (catch per effort, size composition, individual size-weight and age characteristics) during the summer-autumn period of 2021 and the autumn period of 2024. Ichthyological material was collected from catches of gill nets with a mesh size of 36-120 mm, a total of 244 nets of commercial nets were analyzed, of which 2268 individuals of different species were collected for mass measurements, and 434 individuals for individual biological analysis. The collection and analysis of materials were carried out according to generally accepted methods [20, 21].

To assess the theoretical survival of silver and bighead carps, the annual natural mortality rate was used, which was determined based on the natural mortality rate calculated using the parameters of the Bertalanffy equation [22]. The abundance of silver and bighead carps generations for a given year was determined based on the volume of stocking, average natural mortality rates, and commercial catch rates.

The volumes of stocking and catches were from the official reporting data of the central executive body implementing state policy in the field of fisheries.

The calculations were performed in MS Excel 2016.

## МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Оцінка стану іхтіофауни ВО ХмАЕС здійснювалась на підставі результатів аналізу структурних та кількісних показників промислових уловів (вилов на зусилля, розмірний склад, індивідуальні розмірно-вагові та вікові характеристики) у літньо-осінній період 2021 та осінній період 2024 рр. Іхтіологічний матеріал відбирали з уловів ставних сіток із кроком вічка 36–120 мм. Загалом було проаналізовано 244 сіткодоби промислових сіток, з яких на масові проміри відібрано 2268 екз. різних видів, на індивідуальний біологічний аналіз — 434 екз. Збір та аналіз матеріалів проводили за загальноприйнятими методиками [20, 21].

Для оцінки теоретичного виживання товстолобиків використано річний коефіцієнт природної смертності, який визначався на підставі показника природної смертності, розрахованого за параметрами рівняння Берталанфі [22]. Чисельність генерацій товстолобиків на певний рік визначали, базуючись на обсягах зариблення, середніх коефіцієнтах природної смертності та показниках промислового вилову.

Обсяги зариблення та вилову приймались у відповідності до офіційних звітних даних центрального органу виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері рибного господарства.

Обчислення проводили на комп'ютері в електронних таблицях «MS Excel 2016».

## STUDY RESULTS AND THEIR DISCUSSION

Structural and functional parameters of the ichthyofauna of the KhmNPP cooling pond were formed under the influence of a number of factors, the main of which was the inflow of heated NPP waters and the creation of zones with different ecologi-

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Структурно-функціональні показники іхтіофауни водойми-охолоджувача ХАЕС формувались під впливом дії низки чинників, головним з яких було надходження підігрітих вод АЕС та створення зон з різними екологічними

cal conditions. A certain role was played by fisheries activities, which were carried out in two main directions - stocking with biological control agents and commercial harvest of aquatic bioresources. The latter measure, due to the priority of biological amelioration, was carried out on a limited scale. At the same time, at the first stage of regulated fisheries exploitation of this water body, the biological amelioration was implemented, which ensured the accumulation of organic substances and biogenic elements at neutral levels for water use (groups of organisms) without changing the general trophic status of the water body, however, in the future, the organization of the harvest (with an average level of intensity) of excess ichthyomas of biological control agents was envisaged. In addition, the practice of fishery use of the KhmNPP cooling pond showed a significant role of the impact of other factors, primarily human impact, which was manifested in changes in hydrochemical, temperature and hydrological regimes [8]. The combined negative effect of these factors can lead to a significant deterioration in the conditions of existence of ichthyofauna and, in some cases, to its mass death. The purpose of the cooling pond is participation in the technological cycle of the NPP – also acts as a significant limiting factor, which imposes significant restrictions on the technical and geometric intensity of fishing, and, accordingly, on the potential fish productivity.

The fishery exploitation regime for 2020-2024 provided for the annual stocking of the pond with age-0+ or 1+ Chinese carps in the amount of 93-102 thousand individuals of silver and bighead carps and 20-22 thousand individuals of grass carp according to the planned fish productivity in 2023-24 at the level of 25.7 kg/ha. In addition, it was planned to introduce 71-78 thousand individuals of common carp and black carp as consumers of mollusks.

умовами. Певну роль відігравала рибогосподарська діяльність, яка здійснювалась за двома основними напрямками — зариблення видами-меліораторами та промисловий вилов водних біоресурсів. Останній захід, внаслідок пріоритетності біологічної меліорації, здійснювався в обмежених масштабах. При цьому на першому етапі регульованої рибогосподарської експлуатації даної водойми відбувалася реалізація напрямку здійснення біологічної меліорації, який забезпечує акумуляцію органічних речовин та біогенних елементів на нейтральних для водокористування рівнях (групах організмів) без зміни загального трофічного статусу водойми, проте у подальшому було передбачено організацію вилучення (з середнім рівнем інтенсивності) надлишкової іхтіомаси риб-меліораторів. Крім того, практика рибогосподарського використання ВО ХмАЕС показала суттєву роль впливу інших чинників, насамперед антропогенного, який виявлявся в зміні гідрохімічного, температурного та гідрологічного режимів [8]. Сукупна негативна дія цих чинників може призводити до значного погіршення умов існування іхтіофауни та, в окремих випадках, до масової загибелі риб. Значним обмежувальним чинником є і цільове призначення водойми — участь у технологічному циклі АЕС, що накладає значні обмеження в частині технічної та геометричної інтенсивності промислу, а, відповідно, і показників потенційної рибопродуктивності.

Режимом рибогосподарської експлуатації протягом 2020–2024 рр. було передбачене щорічне зариблення водойми цьоголітками або дволітками рослиноїдних риб (РЇР) на рівні 93–102 тис. екз. товстолобиків та 20–22 тис. екз. білого амура за плановим показником рибопродуктивності у 2023–24 рр. на рівні 25,7 кг/га. Крім того, було передбачено

The actual stocking volumes corresponded to the planned ones and even exceeded them, but the actual catch was significantly lower than provided for by the regime. In the last 5 years, the majority of catches (50...55%) were introduced species (silver, bighead carps and their hybrid), the dominant object of catch among native species was roach. In recent years, there has been an increase in catches of Prussian carp (Table 1).

In the interannual aspect, the dynamics of commercial catches is characterized by a generally positive trend, however, the total fish productivity by catch in 2021-24 amounted to an average of 6.7 kg/ha (in 2017-18 - 2.1 kg/ha, in 2019-20 - 3.2 kg/ha), which is low for water bodies of this type. However, taking into account the status of the water body as a cooler of heat exchange waters of the NPP, the main direction of fishery activities is the creation of an adequate biomass of biological control agents, which for this water body is implemented by regular stocking with a low level of fishery exploitation. It should be noted that over the past 10 years, the planned catch rates on this water body have not been consistently met, both for introduced species and for most native species (the exceptions are Prussian carp and roach, catches of which in the past 3 years have been approaching the planned ones).

вселення 71–78 тис. екз. коропа та чорного амура як споживачів молюсків. Фактичні обсяги зариблення відповідали плановим та навіть перевищували їх, проте фактичний вилов був значно нижчим, ніж передбачений режимом. В останні 5 років основу уловів (50…55%) складають інтродуценти (білий, строкатий товстолобики та їх гібрид), домінувальним об'єктом вилову серед аборигенних видів є плітка; останніми роками спостерігається зростання уловів сріблястого карася (табл. 1).

У міжрічному аспекті динаміка промислових уловів характеризується в цілому позитивною тенденцією, проте загальна рибопродуктивність за виловом 2021–24 рр. склала в середньому 6,7 кг/га (у 2017–18 рр. — 2,1 кг/га, у 2019–20 рр. — 3,2 кг/га), що для водойм такого типу є низьким показником. Разом з тим, враховуючи статус водойми як охолоджувача теплообмінних вод АЕС, основним напрямком рибогосподарської діяльності є створення належної біомаси видів-меліораторів, яке для даної водойми вирішується шляхом регулярних зариблень із низьким рівнем рибопромислової експлуатації. Слід відзначити, що за останні 10 років планові показники вилову на даній водоймі стабільно не виконувались, причому як для вселенців, так і для більшості аборигенних ви-

*Table 1.* **Commercial catch of fish in the KhmNPP CP, tons**

| Species | Years | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 |
| Common carp | 0.3281 | 0.417 | 1.8955 | 1.253 | 2.487 |
| Silver and bighead carps | 2.9715 | 2.2986 | 4.384 | 3.6699 | 6.067 |
| Grass carp | 0.201 | 0.2925 | 0.604 | 1.1803 | 1.054 |
| Bream | 0.678 | 0.8623 | 0.9188 | 0.9463 | 0.7067 |
| Prussian carp | 0.482 | 0.3817 | 3.178 | 2.8098 | 4.2527 |
| Roach | 1.281 | 1.979 | 1.822 | 1.9328 | 1.9232 |
| Pikeperch | 0.098 | 0.010 | 0.1215 | 0.136 | 0.076 |
| Silver bream | 0.0794 | 0.755 | 0.631 | 0.7573 | 0.6693 |
| Other species | 0.7062 | 0.1872 | 0.688 | 0.605 | 0.5602 |
| Total | 6.8252 | 7.1833 | 14.2428 | 13.2904 | 17.7961 |

According to research data for 2021-2024, the ichthyofauna of the Khmelnytskyi NPP included 14 fish species belonging to the "commercial" category.

Ten species were recorded in the summer catches of 2021; the composition of the dominant ichthyological complex of the cooling pond during 2015-2021 remained practically unchanged: the most abundant in catches among native species were roach, bream and silver bream. However, unlike previous years, there was a sharp (almost threefold) increase in the share of perch in the summer of 2021, while the share of Prussian carp in nets with a mesh size of a=50 mm decreased noticeably; in the autumn period, the share of perch again decreased to average multi-year values (Table 2).

In the autumn period of 2021, the structure of catches of small-mesh nets changed somewhat - roach became the main species (mainly due to nets with a mesh size of a=36 mm, which accounted for 66.7% of the total catch of this species (by abundance). The specific catch of perch in the autumn period decreased noticeably, mainly due to nets with a mesh size of a=40 mm, which accounted for 45.8% of the total catch of this species in the summer period. A similar picture was observed for nets with a mesh size of a=50 mm - the absolute amounts of perch catches in the autumn period decreased by 6.1 times. In addition, unlike the summer period, no bream was recorded in catches of large-sized nets, while the absolute catches of common carp increased by 2.3 times.

Catches of small-mesh nets in the autumn period of 2024 were dominated by roach, the share of perch continued to decrease, however, this species was represented quite widely in nets with a=50 mm. It is also worth noting a sharp increase in the specific abundance of bream in nets

дів (виключення складають сріблястий карась та плітка, улови яких в останні 3 роки наближаються до планових).

За даними досліджень 2021–2024 рр., до складу іхтіофауни ВО ХмАЕС входить 14 видів риб, які відносяться до категорії «промислові».

У літніх уловах 2021 р. було зафіксовано 10 видів; склад домінантного іхтіокомплексу водойми протягом 2015–2021 рр. залишався практично незмінним: найвищі кількісні показники уловів серед аборигенних видів були відмічені для плітки, ляща та плоскирки. Проте, на відміну від минулих років, у літній період 2021 р. спостерігалось різке (майже трикратне) збільшення частки окуня, тоді як така сріблястого карася в сітках із кроком вічка а=50 мм помітно зменшилась; в осінній період частка окуня знову знизилася до середньобагаторічних значень (табл. 2).

В осінній період 2021 р. структура уловів дрібновічкових сіток дещо змінилась: основним видом стала плітка (в основному за рахунок сіток із кроком вічка а=36 мм, на частку яких припало 66,7% загального улову цього виду (за чисельністю). Питомий вилов окуня в осінній період помітно знизився, здебільшого за рахунок сіток із кроком вічка а=40 мм, на частку яких в літній період припадало 45,8% загальної кількості улову цього виду. Аналогічна картина була відмічена і для сіток із кроком вічка а=50 мм — абсолютні показники уловів окуня в осінній період зменшились у 6,1 раза. Крім того, на відміну від літнього періоду, в уловах крупновічкових сіток не фіксувався лящ, тоді як абсолютні улови сазана (коропа) зросли в 2,3 раза.

В уловах дрібновічкових сіток в осінній період 2024 р. також домінувала плітка; частка окуня продовжувала знижуватися, проте в сітках з а=50 мм цей вид був представлений досить широ-

*Table 2.* **Averaged catch structure of commercial gill nets in the KhmNPP CP in different periods (CPUE), %**

| Species | Mesh size, mm | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | a= 36-40 | | a = 50 | | a = 70-120 | |
| | pcs. | kg | pcs. | kg | pcs. | kg |
| | | | 2021 | | | |
| Bream | 0.9 | 0.7 | 6.9 | 9.2 | 10.2 | 3.6 |
| Roach | 46.2 | 45.5 | 12.5 | 14.5 | 0.0 | 0.0 |
| Pikeperch | 0.5 | 0.4 | 2.7 | 7.8 | 0.0 | 0.0 |
| Prussian carp | 3.5 | 3.1 | 30.3 | 24.9 | 0.0 | 0.0 |
| Perch | 36.4 | 39.4 | 21.3 | 19.6 | 0.0 | 0.0 |
| Silver bream | 12.2 | 10.3 | 25.3 | 22.5 | 0.0 | 0.0 |
| Common carp | 0.2 | 0.5 | 0.8 | 1.3 | 30.8 | 17.4 |
| Silver and bighead carps | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 52.6 | 73.2 |
| Grass carp | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 6.4 | 5.5 |
| Other[1] | 0.3 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.1 | 0.2 |
| | | | 2024 | | | |
| Bream | 1.2 | 1.7 | 30.3 | 29.2 | 30.5 | 16.7 |
| Roach | 77.9 | 79.9 | 5.1 | 4.7 | 0.0 | 0.0 |
| Pikeperch | 0.0 | 0.0 | 3.3 | 9.2 | 1.2 | 0.4 |
| Prussian carp | 0.2 | 0.1 | 17.7 | 25.6 | 50.8 | 17.6 |
| Perch | 8.2 | 9.9 | 10.2 | 9.1 | 0.0 | 0.0 |
| Silver bream | 11.8 | 7.8 | 27.9 | 17.7 | 0.0 | 0.0 |
| Common carp | 0.5 | 0.4 | 4.3 | 3.6 | 2.6 | 8.4 |
| Silver and bighead carps | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 10.4 | 49.0 |
| Grass carp | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | 5.0 |
| Other[1] | 0.2 | 0.2 | 1.2 | 1.0 | 3.5 | 3.0 |

Note. [1] – black carp, pike, rudd, tench, bleak.

with a=50 mm (mainly due to age-4-5 fish of 23-30 cm long), which, taking into account a sharp increase in the catch per effort of these nets (up to 4.1 individuals versus 0.6 individuals in 2021), indicates a numerical recruitment of generations, which in 2025-26 will form the majority of the reproductive core of this species in the Khmelnytskyi NPP. It is interesting to note that compared to 2021, the share of Prussian carp in catches decreased by almost half in abundance, but by weight - remained at the average multi-year level. This is due to the transition of the abundant remainder of the middle age groups to the left wing of the length frequency dis-

ко. Слід також звернути увагу на різке зростання питомої чисельності ляща в сітках з а=50 мм (основному за рахунок чотири–п'ятиліток довжиною 23–30 см), що, враховуючи різке збільшення улову на зусилля даних сіток (до 4,1 екз. проти 0,6 екз. у 2021 р.), свідчить про численне поповнення генераціями, які у 2025–26 рр. формуватимуть основу репродуктивного ядра цього виду у ВО ХмАЕС. Цікаво відмітити, що у порівнянні з 2021 р., частка сріблястого карася в уловах за чисельністю знизилася майже вдвічі, проте за масою — залишилась на середньобагаторічному рівні. Це зумовлено переходом численного за-

tribution, as a result of which the average weight of Prussian carp in a=50 mm nets increased from 283 g to 752 g.

The structure of catches of large-mesh nets during the studied period was characterized by the stability of the dominant complex - the majority of the catches was composed of silver and bighead carps and, to a lesser extent, bream and common carp. Only in the autumn period of 2024, the species ratio changed somewhat, mainly due to the above-mentioned recruitment of numerous contingents of Prussian carp (the catch of this species by the effort of nets with a= 80-90 mm in 2024 amounted to 5.5 individuals (5.0 kg), while in 2021 it was not recorded in the indicated nets at all). An important object of artificial propagation is the introduced common carp, which stably occupies a noticeable segment of catches of large-mesh nets (and, unlike Chinese carps, this species was recorded in the entire set of mesh sizes of gill nets), in some periods it accounted for more than 30% of the total weight of the catch. Given that carp is the main benthophagous species, the accumulation of its older age groups (the average weight in catches of large-mesh nets in 2024 was 8.4 kg compared to 4.5 kg in 2021) ensures an increase in the trophic load on mollusks. At the same time, the low selectivity of nets with a mesh size of a=50-70 mm in relation to carp (in 2024, these nets accounted for 88.9% of the total catch of carp by abundance) indicates the need for additional regulation of the mesh size in gill nets.

The catch of introduced species during 2022-2024 increased significantly, however, this category accounted for an average of 49.4% of the total catch of aquatic bioresources, which is a low value for special commercial fishery.

The majority of commercial catches of

лишку середніх вікових груп до лівого крила варіаційного ряду, внаслідок чого середня маса сріблястого карася в сітках з а=50 мм збільшилась з 283 до 752 г.

Структура уловів крупновічкових сіток протягом періоду, що розглядається, характеризувалась стабільністю домінантного комплексу: основу уловів складали товстолобики та меншою мірою — лящ і сазан. Лише в осінній період 2024 р. видове співвідношення дещо змінилось, в основному за рахунок відміченого вище надходження численних контингентів сріблястого карася (вилов цього виду на зусилля сіток з а= 80–90 мм у 2024 р. склав 5,5 екз. (5,0 кг), тоді як в 2021 р. він у зазначених сітках взагалі не фіксувався). Важливий об'єкт штучного відтворення вселенець короп (сазан) стабільно займає помітний сегмент в уловах крупновічкових сіток (причому, на відміну від рослиноїдних риб, цей вид фіксується у всьому наборі кроку вічка промислових сіток); в окремі періоди на його частку припадає понад 30% загальної маси улову. Враховуючи, що короп є основним біомеліоратором-бентофагом, накопичення його старших вікових груп (середня маса в уловах крупновічкових сіток у 2024 р. склала 8,4 кг проти 4,5 кг у 2021 р.), забезпечує збільшення трофічного навантаження на молюсків. Разом з тим, низька селективність сіток з кроком вічка а=50–70 мм відносно коропа (у 2024 р. на частку цих сіток припало 88,9% загального улову коропа за чисельністю) свідчить про необхідність додаткового регулювання кроку вічка в промислових сітках.

Вилов вселенців протягом 2022–2024 рр. помітно зріс, проте на частку даної категорії припадає в середньому 49,4% загального вилову водних біоресурсів, що для спеціальних товарних рибних господарств є низьким показником.

silver and bighead carps (which were represented by hybrids by 85%) in the summer of 2021 (77.2% in abundance) was composed of age-4-6 individuals; the share of older age groups was 22.9%. In 2024, a different picture was observed - the majority of catches (80.6%) was composed of age-6-9 individuals, younger age groups were not recorded in catches. At the same time, taking into account the catch per unit effort of gill nets with a mesh size a=100 mm, the indicated changes in the age structure were mainly due to a decrease in the absolute abundance of middle age groups - the catch per unit effort of age-9-10 in 2024 was 0.14 individuals, while it was 0.63 individuals in 2021. However, the weak filling of the left wing of the length frequency distribution in catches in 2024 may be due to the absence of their accumulations - for example, in catches with active fishing gears (area of the inlet channel) in 2021, age-2 and agt-3 silver and bighead carps were stably recorded. The total catch of silver and bighead carps by the unit efforts of gill nets in 2024 amounted to 0.6 individuals (6.9 kg) versus the average long-term values of 0.2-0.6 individuals (2.3-5.2 kg).

The rate of linear and weight growth of silver bream in the KhmNPP CP remains satisfactory, although it shows a certain downward trend. The average specific growth rate of silver and bighead carps for older age groups was 16.5% by weight (20.6% in 2018–19, 18.5% in 2021); the average Fulton's condition factor was 2.24±0.22 (2.16–2.31 in 2018–21).

The main criterion for assessing the effectiveness of stocking is the amount of commercial return. Based on the reported stocking volumes, actual weight growth rates and the amount of commercial catches of silver and bighead carps, the estimated removal of generations that formed

Основу промислових уловів товстолобиків (які на 85% були представлені гібридами) в літній період 2021 р. (77,2% за чисельністю) становили особини у чотири–шестилітньому віці; частка старших вікових груп склала 22,9%. У 2024 р. спостерігалась інша картина: основу уловів (80,6%) становили шести–дев'ятилітні особини, молодші вікові групи в уловах не фіксувались. При цьому, враховуючи показник улову на зусилля сіток з кроком а=100 мм, зазначені зміни вікової структури зумовлені головним чином зниженням абсолютної чисельності середніх вікових груп — показник улову на зусилля дев'яти–десятиліток у 2024 р. склав 0,14 екз., тоді як у 2021 р. — 0,63 екз. Проте слабке наповнення лівого крила варіаційного ряду в уловах 2024 р. може бути пов'язано з відсутністю їх ходових скупчень: так, в уловах активними знаряддями лову (ділянка підвідного каналу) у 2021 р. стабільно фіксувались дво–трилітки товстолобиків. Сумарний вилов товстолобиків на зусилля промислового порядку сіток у 2024 р. склав 0,6 екз. (6,9 кг) проти середньобагаторічних показників на рівні 0,2–0,6 екз. (2,3–5,2 кг).

Темп лінійного та вагового росту товстолобиків у ВО ХмАЕС залишається задовільним, хоч і виявляє певну тенденцію до зниження. Середній питомий приріст товстолобиків для старших вікових груп склав 16,5% за масою (у 2018–19 рр. — 20,6; у 2021 р. — 18,5%); середня вгодованість за Фультоном — 2,24±0,22 (у 2018–21 рр. — 2,16–2,31).

Основним критерієм оцінки ефективності зариблення є величина промислового повернення. Виходячи із звітних обсягів зариблення, фактичних темпів росту маси та величини промислових уловів товстолобиків було оцінено розрахункове вилучення генерацій, які складали основу промислу у 2022–2024 рр. При-

the majority of the fishery in 2022-2024 was estimated. Assuming that the fishing load was evenly distributed across the size classes of the commercial contingents (individuals aged from seven (7, 7+) to nine (9, 9+) years), the average estimated commercial return from the introduction of these generations can be estimated at 0.6%, which was almost an order of magnitude less than required for effective pasture fish farming of Chinese carps.

To assess the impact of external factors on the survival of silver and bighead carps, we determined natural mortality rates that characterize all types of elimination, except fishing. The results are summarized in Table 3.

The data in Table 3 show that silver and bighead carps of younger and partly middle age groups, which in water bodies of this type form the majority of the commercial biomass of silver and bighead carps, are characterized by increased natural mortality rates, even in comparison with large reservoirs [24]. A similar picture was observed in 2010, but during that period the natural mortality rates of the indicated age groups were lower [8]. Thus, increased natural mortality is one of the factors that significantly affects the recruitment of the commercial core of silver and bighead carps in this water body.

An integral characteristic of the conditions for the existence of the species (in the context of the tasks considered in this work) can be the total annual mortality. In the catches of 2021, the age series of silver and bighead carps was broken, so the catch curve can be divided into two branches - middle and older age groups; the catch curve in 2024 has a classic form of an inverted parabola with a peak that falls on

ймаючи, що промислове навантаження рівномірно розподілялось у розмірних класах промислових контингентів (особин у віці від семи (7, 7+) до дев'яти (9, 9+) років), середнє розрахункове промислове повернення від вселення даних генерацій може бути оцінене як 0,6%, що майже на порядок менше, ніж потрібно для ефективного випасного риборозведення рослиноїдних риб.

Для оцінки дії зовнішніх чинників на виживання товстолобиків нами були визначені коефіцієнти природної смертності, які характеризують всі види елімінації, за виключенням промислу. Результати зведені в таблиці 3.

Із даних таблиці 3 випливає, що товстолобики молодших та частково середніх вікових груп, які у водоймах такого типу складають основу промислової іхтіомаси товстолобиків, характеризуються підвищеними показниками природної смертності, навіть у порівнянні з великими водосховищами [24]. Аналогічну картину відмічено у 2010 р., проте в той період показники природної смертності зазначених вікових груп були нижчими [8]. Таким чином, підвищена природна смертність є одним із чинників, який суттєво впливає на поповнення промислового ядра товстолобиків у даній водоймі.

Інтегральною характеристикою умов існування виду (в контексті завдань, які розглядаються в даній роботі) можна вважати показник загальної річної смертності. В уловах 2021 р. віковий ряд товстолобиків був розірваний, тому крива улову може бути поділена на дві гілки — середні та старші вікові групи; крива улову у 2024 р. має класичний вигляд оберненої параболи з вершиною, яка припадає на семирічок–восьмиліток. Слід зазначити,

*Table 3.* **Estimated natural mortality by age classes of silver and bighead carps at the KhmNPP CP in 2021-24**

| Age, years | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\varphi_M$ | 0.40 | 0.35 | 0.32 | 0.26 | 0.23 | 0.22 | 0.21 | 0.20 |

age-7 and age-8 fish. It should be noted that despite the difference in the shapes of the catch curves, the obtained total mortality rates are identical. At the same time, the average total mortality for middle age groups, according to the analysis of the catch curve, was $\varphi_Z$=0.42, which, taking into account the data in Table 3, allows assessing the estimated annual removal at the level of $\varphi_F$=0.03…0.07, which corresponded to a low level of fishery exploitation. In contrast, for older age groups, the total annual mortality rate was $\varphi_Z$=0.47, while the average annual fishing mortality rate was $\varphi_F$=0.26…0.27, which corresponded to a sufficiently high level of elimination due to fishing.

Thus, in recent years, a clearly expressed trend in the dynamics of the structural parameters of the commercial stock of silver and bighead carps in the KhNPP CP has been observed: increased elimination of younger age groups due to natural mortality, low fishing effort on middle-age groups, and their subsequent increased removal. At the same time, low values of fishery statistics indicate that a significant segment of fish harvest is IUU fishing.

This conclusion is also confirmed by the analysis of the coefficients of fishing mortality of silver and bighead carps obtained by different methods - based on the analysis of the age structure of the stock (theoretical) and based on reported data on stocking, fishery statistics and the expected biomass of each commercial generation at the beginning of the fishing season (actual). Calculations were carried out for the groups that formed the majority of commercial catches with the absolute number of individuals caught reduced to the smallest integer of the terminal age group. Since fish harvest is carried out throughout the year, the abundance of generations was taken as the average of the initial and final ones for each year. The results of the calculations are summarized in Table 4.

що, незважаючи на відмінність форм кривих улову, отримані показники загальної смертності є ідентичними. При цьому середня загальна смертність для середніх вікових груп, за даними аналізу кривої улову, склала $\varphi_Z$=0,42, що, враховуючи дані таблиці 3, дозволяє оцінити розрахункове річне вилучення на рівні $\varphi_F$=0,03…0,07, що відповідає низькому рівню рибопромислової експлуатації. Натомість, для старших вікових груп показник загальної річної смертності склав $\varphi_Z$=0,47, середня річна промислова смертність при цьому становить $\varphi_F$=0,26…0,27, що відповідає досить високому рівню елімінації внаслідок вилову.

Таким чином, останніми роками спостерігається чітко виражена тенденція динаміки структурних показників промислового стада товстолобиків у ВО ХАЕС: посилена елімінація молодших вікових груп за рахунок природної загибелі, низьке промислове навантаження на середні вікові групи та їх подальше посилене вилучення. При цьому низькі показники промислової статистики свідчать, що значний сегмент вилучення складає ННН-рибальство.

Цей висновок підтверджується і аналізом коефіцієнтів промислової смертності товстолобиків, отриманих різними методами, — на підставі аналізу вікової структури стада (теоретичний) та на підставі звітних даних із зариблення, промислової статистики й очікуваної іхтіомаси кожної промислової генерації на початок промислового сезону (фактичний). Розрахунки проводились для груп, які складали основу промислових уловів із приведенням абсолютної чисельності виловлених особин до найменшого цілого числа термінальної вікової групи. Оскільки промислове вилучення здійснюється протягом всього року, чисельність генерації приймали як середню від початкової та кінцевої для кожного року. Результати розрахунків зведені в таблицю 4.

*Table 4.* **Estimated catch of silver and bighead carps in the KhmNPP CP**

| Year | Parameters | Age groups, years | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 2021 | Abundance, ind. | 28689 | 21649 | 11571 | 5922 | 4765 | 3112 | 2602 | 747 |
| | Catch, ind. | 650 | 418 | 220 | 0 | 0 | 2 | 2 | 1 |
| | $\varphi_F$ | 0.023 | 0.019 | 0.019 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| 2024 | Abundance, ind. | 23593 | 16177 | 10515 | 6835 | 4443 | 2888 | 1877 | 1479 |
| | Catch, ind. | 0 | 184 | 179 | 650 | 310 | 155 | 36 | 10 |
| | $\varphi_F$ | 0.000 | 0.011 | 0.017 | 0.095 | 0.070 | 0.054 | 0.019 | 0.007 |

Table 4 shows that for younger age groups the catch values are close to those indicated above (or 2-3 times less), while a completely different picture is observed for middle and especially older age groups - the catch values determined according to fishery statistics are significantly lower than the coefficients obtained based on the analysis of the dynamics of the age structure, although in 2024 there was a significant increase in them compared to 2021. Such differentiation by age groups indicates a strong impact of selective IUU fishing, which is aimed specifically at older age groups of silver and bighead carps.

This is also confirmed by the accumulation of commercial fish biomass carried out based on statistical data of stocking and catch. Calculations show that based on the planned stocking values in the period of 2019-2022 and actual catch values, the estimated fish productivity for Chinese carps as of the end of 2025 should reach the level of 380 kg/ha, including 170 kg/ha - due to older age groups.

It should be noted that in view of the need to ensure the most complete (within the framework of creating and maintaining conditions for the uninterrupted operation of the NPP) use of the bioproduction reserves of the water body, the removal of the biomass of introduced species is primarily considered from the point of view of ensuring the biological control effect, which consists in the destruction of bioobstacle objects, the final removal of

З таблиці 4 видно, що для молодших вікових груп коефіцієнти вилучення наближаються до вказаних вище (або менше, ніж такі, в 2–3 рази), тоді як для середніх, а особливо старших вікових груп спостерігається зовсім інша картина — визначені за даними промислової статистики коефіцієнти вилучення є значно меншими, ніж коефіцієнти, отримані на підставі аналізу динаміки вікової структури, хоч у 2024 р. спостерігається їх значне збільшення у порівнянні з 2021 р. Така диференціація за віковими групами свідчить про сильний вплив селективного ННН-рибальства, яке спрямоване саме на старші вікові групи товстолобиків.

На це вказує і оцінка накопичення промислової іхтіомаси, проведена за статистичними показниками зариблення та вилову. Розрахунки показують, що за плановими показниками зариблення в період 2019–2022 рр. та фактичними показниками вилову, розрахункова рибопродуктивність за рослиноїдними рибами станом на кінець 2025 р. повинна досягнути рівня 380 кг/га, в тому числі 170 кг/га — за рахунок старших вікових груп.

Слід зазначити, що з огляду на необхідність забезпечення максимально повного (в рамках створення та підтримання умов для безперешкодної роботи АЕС) використання біопродукційних резервів водойми, вилучення іхтіомаси вселенців насамперед розглядається з точки зору забезпечення меліоратив-

pollutants (with the fish caught) and their removal from the circulation (accumulation in the fish biomass). At the same time, it should be noted that when catching less than planned, the amount of fish seeds must be reduced in order to prevent the formation of excess biomass of Chinese carps, which, in turn, can lead to their death and further secondary contamination of the water, depletion of the feed resources of the water body and other negative consequences. Therefore, fish harvest should be considered as an amelioration measure of the same importance as stocking.

In this regard, the organization of effective removal of excess fish biomass is a necessary condition for ensuring a balanced structure of the aquatic ecosystem under different operating modes of the NPP and under extreme weather conditions. Thus, one of the ways to practically implement the scheme of integrated use of the KhmNPP CP is to introduce commercial harvest of the formed biomass of fish with a given intensity, which will ensure the maximum ameliorative effect and preservation (taking into account the general direction and intensity of successional processes in specific conditions of temperature and hydrological regime) of the structural and functional characteristics of the ichthyocenosis.

In the case of stocking with silver and bighead carps, the main biological control effect, based on their feeding spectrum, is to suppress the development of phytoplankton (as well as detritus) [19], but the reverse process should also be taken into account - as a result of natural death and destructive processes, part of the organic matter accumulated in the fish biomass returns to the water body, i.e. secondary organic pollution of the reservoir occurs. Accordingly, the meaning of biological control using Chinese carps is to remove their biomass at the stage when the rate of

ного ефекту, який полягає в знищенні об'єктів біоперешкод, остаточному вилученні забруднювальних речовин (з виловленою рибою) та виведенні їх із кругообігу (акумуляція в іхтіомасі). Разом з тим, слід відзначити, що при вилові меншому, ніж запланований, кількість посадкового матеріалу необхідно зменшувати, аби запобігти утворенню надлишкової іхтіомаси вселенців, що, в свою чергу, може призвести до їх загибелі та подальшого вторинного забруднення води, виснаження кормових ресурсів водойми та інших негативних наслідків. Тому вилов слід розглядати як меліоративний захід такого ж значення, як і зариблення.

У зв'язку з цим, організація ефективного вилучення надлишків іхтіомаси є необхідною умовою забезпечення збалансованої структури водної екосистеми за різних режимів роботи АЕС та за екстремальних погодних умов. Таким чином, одним із шляхів практичної реалізації схеми комплексного використання ВО ХмАЕС є запровадження промислового облову сформованої іхтіомаси риб із заданою інтенсивністю, яка забезпечить максимальний меліоративний ефект та збереження (з урахуванням загальної спрямованості та інтенсивності сукцесійних процесів у специфічних умовах температурного і гідрологічного режиму) структурно-функціональних характеристик іхтіоценозу.

У випадку зариблення товстолобиками, основний меліоративний ефект, виходячи із спектру їх живлення, полягає в пригніченні розвитку фітопланктону (а також детриту) [19], проте слід враховувати і зворотній процес — внаслідок природної загибелі та деструкційних процесів частина органічної речовини, акумульованої в іхтіомасі, повертається до водойми, тобто здійснюється вторинне органічне забруднення водойми. Відповідно, сенс біологічної меліорації за

its accumulation begins to decrease. This point corresponds to the age of culmination of their biomass, which can be estimated by natural mortality and which will precede the period of maximum consumption of feed objects.

Calculations show that according to the values of the natural mortality given in Table 3 and the average weights of age classes, the age of culmination of the biomass of the hybrid of silver and bighead carps falls on age-5 individuals, i.e. the maximum consumption of feed resources will be observed in age-6 fish. In the future, the biomass of this generation will gradually decrease, i.e. accumulated organic matter will return to the water body. Accordingly, it is precisely on these age groups that the beginning of commercial harvest should be oriented.

Taking into account the size composition of silver and bighead carps caught with nets of different mesh sizes, the most effective way to organize their harvest will be with nets with a mesh size of 90 mm or more (Fig.), as well as with pound seines, which allow selectively catching a given

допомогою рослиноїдних риб полягає у вилученні їх іхтіомаси на етапі, коли швидкість її накопичення починає знижуватися. Ця точка відповідає віку кульмінації іхтіомаси, який можна оцінити за показниками природної смертності, і який передуватиме періоду максимального споживання кормових об'єктів.

Розрахунки показують, що за показниками природної смертності, наведеними в таблиці 3, та середніх характеристик маси вікових класів, вік кульмінації іхтіомаси гібрида товстолобиків припадає на п'ятирічних особин, тобто максимальне споживання кормових ресурсів спостерігатиметься у чотири–шестирічок. У подальшому іхтіомаса даної генерації поступово зменшуватиметься, тобто до водойми повертатимуться акумульовані органічні речовини. Відповідно, саме на ці вікові групи і слід орієнтувати початок промислового вилучення.

Враховуючи розмірний склад товстолобиків в уловах сіток із різним кроком вічка, найефективнішою буде організація їх вилову сітками з кроком вічка 90 мм і більше (рис.), а також ставними

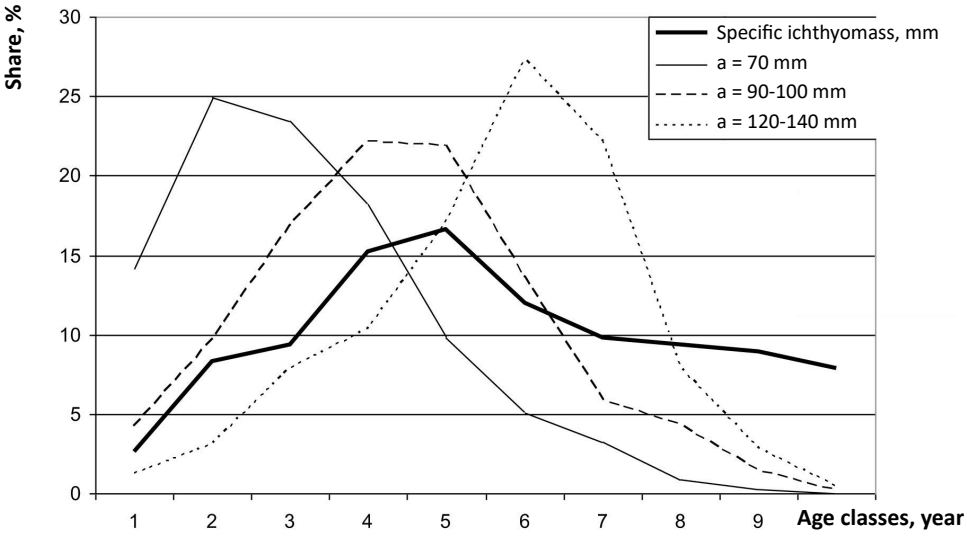



*Fig.* **Accumulation of silver and bighead carps biomass in the KhmNPP CP by age classes and its expected distribution in catches of nets with different mesh sizes**

size and weight group with the return of the bycatch to the water body alive.

Thus, in the specific conditions of the NPP cooling pond, the most appropriate is the average (i.e., based on the estimated consumption in the first year of stay in the pond of 10-20% of gross primary production) stocking with phytophagous fish with the provision of conditions for the development of their large biomass (due to limited fishing and protection). To localize the negative impact of the processes of secondary (due to increased natural mortality) pollution of the pond at an acceptable level, moderate removal of biomass of the middle age groups of chinese carps with an annual fishing mortality of $\varphi_F$=0.05…0.10, and increased catch of age groups from age-7 and older with $\varphi_F$=0.30…0.40.

Mass stocking with biological control agents is a powerful ecological factor that affects all the main structural and functional parameters of the biogeocenosis of the KhmNPP CP. Ichthyofauna is one of the most important components of the aquatic ecosystem, which largely determines both the direction and intensity of succession processes and the technological characteristics of the water body. Accordingly, such a radical restructuring (up to 50% of the biomass available in the KhmNPP CP is formed due to artificial propagation) requires constant monitoring of both the general condition and biological parameters of biological control agents stocks and populations of native species in order to timely monitor those factors that can negatively affect the water quality of the cooling pond and worsen its characteristics as a receiver of heat exchange waters. The general scheme for monitoring the KhmNPP CP has been developed sufficiently fully [8]. However, due to the dynamic nature of intra-ecosystem processes and multi-vector external impacts, situations may arise that

неводами, які дозволяють селективно обловлювати задану розмірно-вагову групу з повертанням прилову до водойми у живому вигляді.

Таким чином, в специфічних умовах водойми-охолоджувача АЕС найдоцільнішим є середньочисельне (тобто, виходячи із розрахункового споживання на першому році перебування у водоймі 10–20% валової первинної продукції) зариблення рибами-фітофагами із забезпеченням умов для формування їх великої іхтіомаси (за рахунок обмеженого промислу та охорони водойми). Для локалізації негативного впливу процесів вторинного (за рахунок підвищеної природної смертності) забруднення водойми на прийнятному рівні, організовується помірне вилучення іхтіомаси середніх вікових груп меліораторів із коефіцієнтом річної промислової смертності на рівні $\varphi_F$=0,05–0,10, а також посилений облов вікових груп від семирічок і старше з $\varphi_F$=0,30…0,40.

Масове зариблення рибами-меліораторами є потужним екологічним фактором, який впливає на всі основні структурно-функціональні показники біогеоценозу ВО ХАЕС. Іхтіофауна є одним із найважливіших компонентів водної екосистеми, який значною мірою визначає як спрямованість та інтенсивність сукцесійних процесів, так і технологічні характеристики водойми. Відповідно, така докорінна перебудова (до 50% наявної у ВО ХмАЕС іхтіомаси формується за рахунок штучного відтворення) потребує постійного контролю як загального стану, так і біологічних показників стад меліораторів та популяцій аборигенних видів з метою своєчасного відстежування тих чинників, які можуть реалізовуватися негативним впливом на якість води водойми-охолоджувача та призводити до погіршення його характеристик як приймача теплообмінних вод. Загальна схе-

require separate studies. In particular, this concerns the increased natural mortality of younger age groups of silver and bighead carps, the death of Prussian carp in May 2024, and the increase in the abundance of perch.

In the context of the problem that needs to be solved at the KhmNPP CP, two principled approaches to the purpose of monitoring studies can be distinguished. The first is the selection of several parameters that are most important for assessing the state of biological control agents and their impact on aquatic organisms and their further control. This allows tracking changes in biological variables and introduce the necessary measures to prevent negative trends. The advantage of this scheme is the ability to organize fairly limited-volume research that can be carried out, in particular, by one institution. In addition, the purposeful selection of several key parameters allows ensuring high quality scientific studies and representativeness of the results obtained. However, the results of such monitoring will not allow determining the causes of certain changes with a high degree of reliability, or make predictive assessments, that is, the current situation will, as a rule, be recorded post facto. Another type of monitoring is tracking changes not only in biological variables, but also in basic factors that affect or may affect them. The complexity of the research ensures the receipt of information on all components of the aquatic ecosystem and external factors that affect the main object of monitoring, that is, a database will be created not only for making current management decisions, but also for developing forecasts. It should be noted that in many cases, the effectiveness of measures to prevent negative trends in biological variables is possible only with a clear idea of the causes of these trends. In principle, these two monitoring schemes

ма здійснення моніторингу ВО ХмАЕС пророблена досить повно [8], проте внаслідок динамічного характеру внутрішньоекосистемних процесів та різновекторного зовнішнього впливу, можуть виникати ситуації, які потребують окремих досліджень. Зокрема, це стосується підвищеної природної смертності молодших вікових груп товстолобиків, загибелі сріблястого карася в травні 2024 р., збільшення чисельності окуня.

В контексті проблеми, яку необхідно вирішувати на ВО ХАЕС, можна виділити два принципових підходи до мети моніторингових досліджень. Перший — це вибір кількох показників, які є найбільш важливими для оцінки стану біомеліораторів та їх впливу на гідробіонтів, і подальший їх контроль. Це дозволяє відстежувати коливання біологічних змінних і запроваджувати необхідні заходи щодо запобігання негативним тенденціям. Перевагою цієї схеми є можливість організації доволі обмежених за обсягами досліджень, які можуть здійснюватися, зокрема, однією установою. Крім того, цілеспрямований вибір кількох визначальних показників дозволяє забезпечити високу якість наукових досліджень і репрезентативність отриманих результатів. Разом з тим, результати такого моніторингу не дадуть можливості з високим ступенем достовірності визначити причини тих чи інших змін або здійснити прогнозні оцінки, тобто поточна ситуація, як правило, фіксуватиметься постфактум. Інший вид моніторингу — це відстеження коливань не тільки біологічних змінних, а й базових факторів, які на них впливають або можуть впливати. Комплексність досліджень забезпечує надходження інформації щодо всіх компонентів водної екосистеми та зовнішніх факторів, які впливають на основний об'єкт моніторингу, тобто створюється база даних не тільки для прийняття

can be combined - only the main biological parameters will be studied in a constant mode, and in the event of a persistent trend in their changes - comprehensive monitoring of biotic and abiotic factors that can influence these changes will be introduced.

## CONCLUSION AND PERSPECTIVES OF FURTHER DEVELOPMENT

The main object of artificial propagation of the ichthyofauna of the KhmNPP cooling pond for the purpose of biological control are silver and bighead carps and their hybrid, the stocking of which is carried out in amounts of 184-202 thousand ind. according to the planned fish productivity in 2023-25 at the level of 25.7 kg/ha and the actual at the level of 3.0 kg/ha. The average calculated commercial return from the stocking of silver and bighead carps can be estimated at 0.6%. In recent years, a clearly expressed trend in the dynamics of the structural parameters of the commercial stock of silver and bighead carps in the KhmNPP CP has been observed - increased elimination of younger age groups due to natural mortality ($\varphi_M$=0.35…0.40), low fishing load on middle age groups, and their intensive catch upon reaching the age-7 and older. At the same time, for older age groups, there is a discrepancy in the values of fishing mortality calculated by different methods.

For the KhmNPP CP, the most appropriate is the average (i.e., based on the estimated consumption in the first year of stay in the reservoir of 10-20% of gross primary production) stocking with phy-

поточних управлінських рішень, а й для розробки прогнозів. Слід зазначити, що в багатьох випадках ефективність заходів щодо запобігання негативним тенденціям в біологічних змінних можливе лише за чіткої уяви про причини виникнення цих тенденцій. У принципі, ці дві схеми моніторингу можуть комбінуватися — в постійному режимі досліджуються лише основні біологічні показники, а у разі появи стійкої тенденції до їх змін запроваджується комплексний моніторинг біотичних і абіотичних факторів, які можуть впливати на ці зміни.

## ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШОГО РОЗВИТКУ

Основними об’єктами штучного відтворення іхтіофауни ВО ХмАЕС з метою біологічної меліорації є білий, строкатий товстолобики та їхній гібрид, вселення яких здійснюється в обсягах 184–202 тис. екз., за плановим показником рибопродуктивності у 2023–25 рр. на рівні 25,7 кг/га і фактичним — на рівні 3,0 кг/га. Середнє розрахункове промислове повернення від вселення товстолобиків при цьому може бути оцінене як 0,6%.

Останніми роками спостерігається чітко виражена тенденція динаміки структурних показників промислового стада товстолобиків у ВО ХмАЕС — посилена елімінація молодших вікових груп за рахунок природної смертності *($\varphi_M$=0,35…0,40)*, низьке промислове навантаження на середні вікові групи та їх інтенсивний облов після досягнення віку семи років і старше. При цьому для старших вікових груп відзначена невідповідність показників промислової смертності, розрахованої різними методами.

Для водойми-охолоджувача ХмАЕС найдоцільнішим є середньочисельне (тобто, виходячи із розрахункового споживання на першому році перебування

tophagous fish with subsequent enhanced catch of age groups from age-7 and older with $\varphi_F$=0.30…0.40 by using nets with a=90-100 mm.

The main directions of further research on this topic are to establish the reasons for the increased natural mortality of younger age groups of silver and bighead carps, assess the feasibility of increasing the average weight of fish seeds in conditions of increasing the abundance of perch and assess the actual biological control effect of measures for the directed development of ichthyofauna.

## CONFLICT OF INTEREST

There is no conflict of interest between the authors in this work.

## SOURCES OF FUNDING

The research was carried out within the framework of the contract with the Khmelnytsk NPP for monitoring the state of ichthyofauna and measures for biological reclamation of the cooling reservoir.

## REFERENCES

1. Yesipova, N., Marenkov, O., Sharamok, T., Nesterenko, O., & Kurchenko, V. (2022). Development of the regulation of hydrobiological monitoring in circulation cooling system of the Zaporizhzhia nuclear power plant. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2 (3 (116)),* 6-17. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.255537.
2. Fedonenko, O. V., Marenkov, O. M., & Petrovskyi, O. O. (2019). Problema biolohichnykh pereshkod v roboti AES (na prykladi ekspluatatsii tekhnoekosystemy Zaporizkoi AES). *Yaderna ta radiatsiina bezpeka, 2(82),* 54-60.
3. Protasov, A. A., Sylaieva, A. A., Novoselova, T. N., Gromova, Y. F.,

у водоймі 10–20% валової первинної продукції) зариблення рибами-фітофагами з подальшим посиленим обловом вікових груп від семирічок і старше з $\varphi_F$=0,30…0,40 за рахунок використання сіток з а=90–100 мм.

Основними напрямками подальших досліджень за даною темою є встановлення причин підвищеної природної смертності молодших вікових груп товстолобиків, оцінка доцільності збільшення середньої маси посадкового матеріалу в умовах зростання чисельності окуня та оцінка фактичного меліоративного ефекту від заходів зі спрямованого формування іхтіофауни.

## КОНФЛІКТ ІНТЕРЕСІВ

У цій роботі конфлікт інтересів авторів відсутній.

## ДЖЕРЕЛА ФІНАНСУВАННЯ

Робота виконана в рамках договору з ВП «Хмельницька АЕС» щодо здійснення моніторингу стану іхтіофауни та заходів з біологічної меліорації водойми-охолоджувача.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Development of the regulation of hydrobiological monitoring in circulation cooling system of the Zaporizhzhia nuclear power plant / Yesipova N. et al. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2022. Vol. 2 (3 (116)). P. 6—17. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.255537.
2. Федоненко О. В., Маренков О. М., Петровський О. О. Проблема біологічних перешкод в роботі АЕС (на прикладі експлуатації техноекосистеми Запорізької АЕС) // Ядерна та радіаційна безпека. 2019. Вип. 2(82). С. 54—60.
3. Nuclear Power Plant technoecosystem: 18 years of hydrobiological observations

Morozovskaya, I. A., & Stepanova, T. I. (2017). Nuclear Power Plant technoecosystem: 18 years of hydrobiological observations. *J. Sib. Fed. Univ. Biol., 10(4),* 459-484. http://doi.org/10.17516/1997-1389-0045.

4. Romanenko, V. D., Kuzmenko, M. I., Afanasiev, S. O., & Hudkov, D. I. (2012). Hidroekolohichna bezpeka atomnoi enerhetyky v Ukraini. *Visn. NAN Ukrainy, 6,* 41-51.
5. Heshan, Lin, Shuyi, Zhang, Ranran, Cao, Shihao, Yu, Wei, Bai, Rongyong, Zhang, Jia, Yang, Li, Dai, Jianxin, Chen, Yu, Zhang, Hongni, Xu, Kun, Liu, & Xinke, Zhang. (2024). A review on the risk, prevention and control of cooling water intake blockage in coastal nuclear power plants. *Nuclear Engineering and Technology, 56, 2,* 389-401. https://doi.org/10.1016/j.net.2023.10.009.
6. Protasov, O. O., Silayeva, A. A., Novosolova, T. M., & Uzunov, Y. I. (2020). Assessment of Ecological Potential of the Aquatic Technoecosystems on the Basis of Comparative Approach. *Hydrobiological Journal, 56, 3,* 69-86. https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v56.i3.60.
7. Wang, Y., et al. (2022). Potential risk from and prevention of phytoplankton outbreaks in blocking the cooling water system in a nuclear power plant on the Southeast China coast. *Frontiers in Marine Science, 9.* https://doi.org/10.3389/fmars.2022.1034876
8. Protasov, A. A. (Ed.). (2011). *Tekhnoekosystema AES.* Kyiv: Instytut hidrobiolohii NAN.
9. Marenkov, O. M. (2018). Ichthyofauna of the Zaporizhia Nuclear Power Plant cooling pond (Enerhodar, Ukraine) and its biomeliorative significance. *Ukrainian Journal of Ecology, 8(2).* http://doi.org/10.15421/2018_321.
10. Costa, M. J., Pedro, G. D., & Segurado, P. B. (2021). Major threats to European freshwater fish species. *Sci. Tot.* / Protasov A. A. et al. // J. Sib. Fed. Univ. Biol. 2017. Vol. 10(4). P. 459—484. http://doi.org/10.17516/1997-1389-0045.
4. Гідроекологічна безпека атомної енергетики в Україні / Романенко В. Д. та ін. // Вісник НАН України. 2012. Вип. 6. С. 41—51.
5. A review on the risk, prevention and control of cooling water intake blockage in coastal nuclear power plants / Heshan Lin et al. // Nuclear Engineering and Technology. 2024. Vol. 56, iss. 2. P. 389—401. https://doi.org/10.1016/j.net.2023.10.009.
6. Assessment of Ecological Potential of the Aquatic Technoecosystems on the Basis of Comparative Approach / Protasov O. O. et al. // Hydrobiological Journal. 2020. Vol. 56, iss. 3. P. 69—86. https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v56.i3.60.
7. Potential risk from and prevention of phytoplankton outbreaks in blocking the cooling water system in a nuclear power plant on the Southeast China coast // Wang Y. et al. // Frontiers in Marine Science. 2022. Vol. 9. https://doi.org/10.3389/fmars.2022.1034876.
8. Техноэкосистема АЭС / ред. Протасов А. А. Київ : Інститут гідробіології НАН, 2011. 234 с.
9. Marenkov O. M. Ichthyofauna of the Zaporizhia Nuclear Power Plant cooling pond (Enerhodar, Ukraine) and its biomeliorative significance // Ukrainian Journal of Ecology. 2018. № 8(2). http://doi.org/10.15421/2018_321.
10. Costa M. J., Pedro G. D., Segurado P. B. Major threats to European freshwater fish species // Sci. Tot. Environment. 2021. Vol. 797. 149105. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149105.
11. Fishes of rivers of the forest-steppe zone of the Dnieper basin: long-term changes of the species composition and abundances / Mezhzherin V. et al. // Hydrobiological Journal. 2022. Vol. 58, iss.

*Environment, 797,* 149105. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149105.

11. Mezhzherin, V., Tsyba, A. O., Kokodiy, S. V., & Lutsenko, D. S. (2022). Fishes of Rivers of the Forest-Steppe Zone of the Dnieper Basin: Long-Term Changes of the Species Composition and Abundances. *Hydrobiological Journal Volume, 58, 4,* 54-77. https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v58.i4.50.
12. Klimkovetskyi, A., & Khalturyn, M. (2022). Ichthyofauna of the Bilotserkivskyi lower reservoir on the Ros river. *Animal Science and Food Technology, 13(3),* 20-27. https://doi.org/10.31548/animal.13(3).2022.20-27.
13. Carvalho, D. R., & Araújo, F. G. (2024). Heterogenisation of riverine ichthyofauna diversity by small hydropower dams. *Ecology of Freshwater Fish, 33,* e12775. https://doi.org/10.1111/eff.12775.
14. Yesipova, N., Sharamok, T., Sklyar, T., Marenkov, O., Gudym, N., & Foroshchuk, V. (2023). The hydroecological characteristics of current state of the Zaporizhzhia (Dnipro) reservoir and its tributaries. *Fisheries Science of Ukraine, 4(66),* 35-48. https://doi.org/10.61976/fsu2024.04.041.
15. Buzevych, I., & Simon, M. (2023). Structural parameters and dynamics of commercial fish catches of Dnieper reservoirs. *Fisheries Science of Ukraine, 4(66),* 17-34. https://doi.org/10.61976/fsu2024.04.041.
16. Novitskyi, R. O., & Horchanok, A. V. (2022). Fish farming and fishing industry development in the Dnipropetrovsk Region (Ukraine): Current problems and future prospects. *Agrology, 5(3),* 81-86. https://doi.org/10.32819/021112.
17. Lytvynenko, V., Khrystenko, D., Kotovska, H., Kolesnyk, N., & Simon, M. (2022). Biotic features of using the Kyiv reservoir as a fishery water body (Review). *Fisheries Science of Ukraine, 1(59),* 3-24. https://doi.org/10.15407/4. P. 54—77. https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v58.i4.50.
12. Klimkovetskyi A., Khalturyn, M. Ichthyofauna of the Bilotserkivskyi lower reservoir on the Ros river // Animal Science and Food Technology. 2022. Vol. 13(3). P. 20—27. https://doi.org/10.31548/animal.13(3).2022.20-27.
13. Carvalho D. R., Araújo F. G. Heterogenisation of riverine ichthyofauna diversity by small hydropower dams // Ecology of Freshwater Fish. 2024. Vol. 33. e12775. https://doi.org/10.1111/eff.12775.
14. The hydroecological characteristics of current state of the Zaporizhzhia (Dnipro) reservoir and its tributaries / Yesipova N. et al. // Fisheries Science of Ukraine. 2023. № 4(66). P. 35—48. https://doi.org/10.61976/fsu2024.04.041.
15. Buzevych I., Simon M. Structural parameters and dynamics of commercial fish catches of Dnieper reservoirs // Fisheries Science of Ukraine. 2023. № 4(66). P. 17—34. https://doi.org/10.61976/fsu2024.04.041.
16. Novitskyi R. O., Horchanok A. V. Fish farming and fishing industry development in the Dnipropetrovsk Region (Ukraine): Current problems and future prospects // Agrology. 2022. Vol. 5(3). P. 81—86. https://doi.org/10.32819/021112.
17. Biotic features of using the Kyiv reservoir as a fishery water body (Review) / Lytvynenko V. et al. // Fisheries Science of Ukraine. 2022. № 1(59). P. 3—24. https://doi.org/10.15407/fsu2022.01.003.
18. Озінковська С. П., Кулініч А. І., Діденко О. В. Сучасний стан іхтіофауни водойми-охолоджувача ХАЕС та оцінка можливого впливу на неї при введені в експлуатацію енергоблоку № 2 // Рибне господарство. 2000. Вип. 58. С. 84—89.

fsu2022.01.003.

18. Ozinkovska, S. P., Kulinich, A. I., & Didenko, O. V. (2000). Suchasnyi stan ikhtiofauny vodoimy-okholodzhuvacha KhAES ta otsinka mozhlyvoho vplyvu na nei pry vvedeni v ekspluatatsiiu enerhobloku № 2. *Rybne hospodarstvo, 58,* 84-89.
19. Buzevych, I. Iu., Krazhan, S. A., Zakharchenko, I. L., & Koba, S. A. (2012). Ikhtiofauna ta zhyvlennia osnovnykh vydiv ryb vodoimy-okholodzhuvacha Khmelnytskoi AES. *Rybohospodarska nauka Ukrainy, 1,* 9-15.
20. *Metodyka zboru i obrobky ikhtiolohichnykh i hidrobiolohichnykh materialiv z metoiu vyznachennia limitiv promyslovoho vyluchennia ryb z velykykh vodoskhovyshch i lymaniv Ukrainy: zatv. nakazom Derzhkomrybhospu Ukrainy 15.12.98 № 166.* (1998). Kyiv.
21. Pylypenko, Iu. V. (2017). *Metody ikhtiolohichnykh doslidzhen: navchalnyi posibnyk.* Kherson: OLDI-PLIuS.
22. Chen, S., & Watanabe, S. (1989). Age dependence of natural mortality coefficient in fish population dynamics. *Nippon Suisan Gakkaishi, 55,* 205-208. https://doi.org/10.2331/suisan.55.205.
23. Buzevych, I. Iu., Kotovska, H. O., Rudyk-Leuska, N. Ia., & Khrystenko, D. S. (2012). *Biolohiia i promysel dalekoskhidnykh roslynoidnykh ryb velykykh vodoskhovyshch Ukrainy.* Kyiv: Fitosotsiotsentr.
24. Buzevych, I., & Timchenko, O. (2024). Biological characteristics of white (*Hypophthalmichthys molitrix* Valenciennes, 1844), bighead (*Hypophthalmichthys nobilis* Richardson, 1845) carps and their hybrids (*Hypophthalmichthys* sp.) as objects of pasture aquaculture in the Kremenchuk reservoir. *Fisheries Science of Ukraine, 2(68),* 4-22. https://doi.org/10.61976/fsu2024.02.004.
19. Іхтіофауна та живлення основних видів риб водойми-охолоджувача Хмельницької АЕС / Бузевич І. Ю. та ін. // Рибогосподарська наука України. 2012. Вип. 1. С. 9—15.
20. Методика збору і обробки іхтіологічних і гідробіологічних матеріалів з метою визначення лімітів промислового вилучення риб з великих водосховищ і лиманів України : затв. наказом Держкомрибгоспу України 15.12.98 р. № 166. Київ, 1998. 47 с.
21. Методи іхтіологічних досліджень : навчальний посібник / Пилипенко Ю. В. та ін. Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2017. 432 с.
22. Chen S., Watanabe S. Age dependence of natural mortality coefficient in fish population dynamics // Nippon Suisan Gakkaishi. 1989. Vol. 55. P. 205—208. https://doi.org/10.2331/suisan.55.205.
23. Біологія і промисел далекосхідних рослиноїдних риб великих водосховищ України / Бузевич І. Ю. та ін. Київ : Фітосоціоцентр, 2012. 125 с.
24. Buzevych I., Timchenko O. Biological characteristics of white (*Hypophthalmichthys molitrix Valenciennes, 1844*), bighead (*Hypophthalmichthys nobilis Richardson, 1845*) carps and their hybrids (*Hypophthalmichthys sp.*) as objects of pasture aquaculture in the Kremenchuk reservoir // Fisheries Science of Ukraine. 2024. № 2(68). P. 4—22. https://doi.org/10.61976/fsu2024.02.004.