Ribogospod. nauka Ukr., 2025; 1(71): 103-120
DOI: https://doi.org/10.61976/fsu2025.01.103
UDC 597.115:[639.371.06:639.3.06]

Received: 27.01.2025
Received in revised form: 23.02.2025
Accepted: 14.03.2025

GENETIC VARIABILITY OF *ACIPENSER BAERII* (BRANDT, 1869) BY PROTEIN POLYMORPHISM IN THE PROCESS OF DOMESTICATION IN INDUSTRIAL AQUACULTURE

T. Nahorniuk, achtaan@ukr.net, ORCID ID 0000-0002-4679-2993, Institute of Fisheries of the NAAS, Kyiv
S. Pashko, pashkoserg@gmail.com, ORCID ID 0009-0000-3849-7356, Institute of Fisheries of the NAAS, Kyiv
A. Mariutsa, mariutsa16@ukr.net, ORCID ID 0000-0001-5678-2660, Institute of Fisheries of the NAAS, Kyiv
O. Tretiak, veslonos-ua@ukr.net, ORCID ID 0000-0003-2300-9115, Institute of Fisheries of the NAAS, Kyiv

Purpose. *To investigate the variability of the genetic structure of brood Siberian sturgeon by protein system loci during domestication under conditions of intensive aquaculture.*

Methodology. *The study of polymorphism of protein systems was carried out using polyacrylamide gel electrophoresis. To assess the genetic structure of the Siberian sturgeon group, we used the blood serum age-5-6 fish (n=30) grown using intensive technology in floating cages in the climatic conditions of the Forest-Steppe of Ukraine. We determined the distribution of allelic and genotypic frequencies at the transferrin (TF), albumin (ALB) and esterase (Est-1, Est-2, 3.1.1.1) loci. During artificial reproduction and subsequent cultivation of Siberian sturgeon, the main productive parameters were determined and abiotic environmental factors were analysed using generally accepted methods. Statistical processing of the obtained data was carried out using common methodological techniques.*

Findings. *Under favorable environmental conditions, high growth and survival rates of fish were observed at all stages of cultivation with positive dynamics of the development of their reproductive system. The genetic structure of a*

ГЕНЕТИЧНА МІНЛИВІСТЬ *ACIPENSER BAERII* (BRANDT, 1869) ЗА БІЛКОВИМ ПОЛІМОРФІЗМОМ У ПРОЦЕСІ ДОМЕСТИКАЦІЇ В ІНДУСТРІАЛЬНІЙ АКВАКУЛЬТУРІ

Т. А. Нагорнюк, achtaan@ukr.net, ORCID ID 0000-0002-4679-2993, Інститут рибного господарства НААН, м. Київ
С. М. Пашко, pashkoserg@gmail.com, ORCID ID 0009-0000-3849-7356, Інститут рибного господарства НААН, м. Київ
А. Е. Маріуца, mariutsa16@ukr.net, ORCID ID 0000-0001-5678-2660, Інститут рибного господарства НААН, м. Київ
О. М. Третяк, veslonos-ua@ukr.net, ORCID ID 0000-0003-2300-9115, Інститут рибного господарства НААН, м. Київ

Мета. *Дослідити мінливість генетичної структури племінного матеріалу сибірського осетра за локусами білкових систем у процесі доместикації в умовах інтенсивної аквакультури.*

Методика. *Дослідження поліморфізму білкових систем здійснювали з використанням електрофорезу в поліакриламідному гелі. Для оцінки генетичної структури групи сибірського осетра використовували сироватку крові риб п'яти–шестилітнього віку (n=30), вирощених за інтенсивної технології у плавучих садках у кліматичних умовах Лісостепу України. Визначали розподіл алельних і генотипових частот за локусами трансферину (TF), альбуміну (ALB) та естерази (Est-1, Est-2, 3.1.1.1). Під час штучного відтворення і подальшого вирощування сибірського осетра визначали основні рибницькі показники та аналізували абіотичні чинники середовища за загальноприйнятими методиками. Статистичне опрацювання отриманих даних проводили за поширеними методичними прийомами.*

Результати. *За сприятливих умов середовища відмічені високі показники приростів*

group of Siberian sturgeon individuals with an average weight of 3.60±0.11 kg was characterized by a high level of heterozygosity (94.2%). The value of Wright's fixation index (FIS) varied in the range from -0.346 (at the ALB locus) to -0.741 (at the Est-2 locus) with a mean value of -0.491. A negative value of the fixation index (inbreeding coefficient) indicates the absence of inbreeding in the studied fish stock.

Originality. *The genetic structure of the Siberian sturgeon breeding group was studied for the first time during the domestication process during intensive cultivation in floating cages in the climatic conditions of the Forest-Steppe of Ukraine.*

Practical Value. *The study results are aimed at improving breeding methods with sturgeons in aquaculture and improving the quality of brood sturgeon stocks.*

Keywords: *Siberian sturgeon, genetic structure, heterozygosity, protein systems, polymorphism, domestication.*

і виживання риб на всіх етапах вирощування за позитивної динаміки розвитку їх статевої системи. Генетична структура групи особин сибірського осетра із середньою масою 3,60±0,11 кг характеризувалась високим рівнем гетерозиготності (94,2%). Величина індексу фіксації Райта (F_{IS}) варіювала в діапазоні від –0,346 (за локусом ALB) до –0,741 (за локусом Est-2) із середнім значенням –0,491. Від'ємне значення індексу фіксації (коефіцієнта інбридингу) вказує на відсутність інбридингу у досліджуваному стаді риб.

Наукова новизна. *Вперше досліджено генетичну структуру племінної групи сибірського осетра в процесі доместикації за інтенсивного вирощування у плавучих садках у кліматичних умовах Лісостепу України.*

Практична значимість. *Результати досліджень спрямовані на удосконалення методів племінної роботи з об'єктами осетрової аквакультури та поліпшення якості племінних стад осетрових риб.*

Ключові слова: *сибірський осетер, генетична структура, гетерозиготність, білкові системи, поліморфізм, доместикація.*

PROBLEM STATEMENT AND ANALYSIS OF LAST ACHIEVEMENTS AND PUBLICATIONS

Excessive and uncontrolled industrial exploitation of sturgeon stocks with the violation of the conditions for their natural reproduction have become the main factors that led to a catastrophic decrease in the abundance of their populations [1-4].

This fact has prompted the accelerated development of sturgeon farming technologies with an increasing level of competition in the global sturgeon industry. In such a situation, among the priority areas of scientific support, increased interest was quite reasonably aroused by comprehensive research on various aspects of the development of the production of sturgeon caviar and on increasing the volume of growing sturgeon juveniles for aquaculture needs. Successfully solving these problems is impossible without a significant increase

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ ТА АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Надмірна і неконтрольована промислова експлуатація запасів осетрових риб із порушенням умов для їх природного відтворення стали основними чинниками, що призвели до катастрофічного зменшення чисельності популяцій [1–4].

Це спонукало до прискореного розвитку технологій осетрівництва зі зростанням рівня конкуренції у світовому осетровому господарстві. За такої ситуації серед пріоритетних напрямів наукового супроводу підвищений інтерес цілком обгрунтовано викликали комплексні дослідження з різних аспектів розвитку виробництва харчової ікри осетрових риб та зі збільшення обсягів вирощування осетрової молоді для потреб аквакультури. Успішне розв'язання зазначених проблем неможливе без значного

in the scale of cultivation and exploitation of brood sturgeon groups using intensive industrial fish farming technologies [2-8].

At the same time, in the process of deploying selective and breeding works with objects of fish farming, the likelihood of genetic erosion of biological material increases as a result of the loss of part of the population allelic diversity. This may primarily apply to sturgeons with a limited number of individuals in the original breeding groups. Therefore, in order to maintain the necessary genetic diversity of broodstock and improve the quality of brood fish in Ukrainian sturgeon farming, timely genetic control should be ensured in established brood sturgeon stocks [9-11].

At the current stage of aquaculture development, the use of DNA markers to determine the level of genetic polymorphism of the objects of aquaculture is widespread [12-14]. However, methods for genetic assessment of cultured fish species based on protein polymorphism have not lost their relevance [15-19]. Protein systems (markers) have good reproducibility of results when it comes to studying genes responsible for certain biochemical reactions in the body. For example, studies of the genetic structure using biochemical polymorphism of individual *Acipenseridae* species, in particular sterlet (*Acipenser ruthenus*), grown in Ukraine using intensive technologies in floating cage systems, have been conducted [11]. Polymorphism and heterogeneity in serum proteins in Caspian Sea sturgeons were studied [20]. At the same time, it was noted that the serum proteins of the Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*) contained from 21 to 31 components [20]. Data on the use of protein markers, in particular allozyme loci, to determine allele frequencies and the level of heterogeneity in an Acipenseriformes species, the American paddlefish, have been published [21, 22]. Protein systems have been used in the process of genetic studies on hybrid forms

збільшення масштабів вирощування та експлуатації племінних груп осетрових риб за інтенсивних технологій індустріального рибництва [2–8].

Водночас, у процесі розгортання селекційно-племінної роботи з об'єктами риборозведення зростає імовірність генетичної ерозії біологічного матеріалу в результаті втрати частини алельного різноманіття популяцій. Насамперед це може стосуватись осетрових риб за обмеженої кількості особин у вихідних племінних групах. Тому, з метою підтримання необхідного генетичного різноманіття плідників та поліпшення якості племінного матеріалу українського осетрівництва слід забезпечити своєчасний генетичний контроль у сформованих племінних стадах осетрових риб [9–11].

На сучасному етапі розвитку аквакультури поширюється застосування ДНК-маркерів для з'ясування рівня генетичного поліморфізму об'єктів аквакультури [12–14]. Проте, не втратили актуальності методи генетичної оцінки культивованих видів риб за білковим поліморфізмом [15–19]. Білкові системи (маркери) мають добру відтворюваність результатів за можливості дослідження генів, відповідальних за певні біохімічні реакції в організмі. До прикладу, проведено дослідження генетичної структури за використання біохімічного поліморфізму окремих представників родини Acipenseridae, зокрема стерляді (*Acipenser ruthenus*), вирощеної в Україні за інтенсивних технологій в умовах плавучих садкових систем [11]. Вивчався поліморфізм і гетерогенність за сироватковими білками у осетрових Каспійського моря [20]. Водночас, зазначалося, що білки сироватки крові сибірського осетра (*Acipenser baerii*) містили від 21 до 31 компонентів [20]. Опубліковано дані щодо використання білкових маркерів, зокрема алозимних

of sturgeon. The protein profiles of muscle tissue of sturgeons (*Acipenser gueldenstaedtii*, *Acipenser baerii* and their hybrids) were studied using the electrophoretic method. As a result, characteristic differences were found in hybrids and pure sturgeon species [23].

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

Industrial methods of sturgeon aquaculture aimed at the production of black caviar are of great importance for the accelerated development of sturgeon farming in Ukraine. Methods of caviar and commercial sturgeon farming have been developed using combined use of water bodies with a natural temperature regime for growing broodstock and recirculating aquaculture systems with a regulated temperature regime for obtaining mature fish eggs in non-traditional fish farming periods. In addition to sterlet (*Acipenser ruthenus*), an important place in the implementation of developed technological solutions is occupied by Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*) [24-27]. The developed technologies are successfully used in the practical activities of aquaculture enterprises. However, technologies for caviar sturgeon farming in Ukraine are only at the initial stages of development and require further in-depth research.

In particular, important practical and theoretical position belongs to the implementation of comprehensive genetic control of sturgeons in order to maintain the necessary level of genetic diversity in established brood stocks under domestica-

локусів, для визначення частоти алелів та рівня гетерогенності у представника Acipenseriformes — американського веслоноса [21, 22]. Білкові системи застосовувались у процесі генетичних досліджень гібридних форм осетрових. За допомогою електрофоретичного методу досліджували білкові профілі м'язової тканини осетрових риб (*Acipenser gueldenstaedtii, Acipenser baerii* та їх гібридів). У результаті були виявлені характерні відмінності у гібридів і чистих видів осетрових [23].

ВИДІЛЕННЯ НЕВИРІШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ. МЕТА РОБОТИ

Важливе значення для прискореного розвитку осетрівництва в Україні належить індустріальним методам аквакультури осетрових риб, спрямованим на виробництво чорної харчової ікри. Розроблено методи ікряно-товарного осетрівництва за комбінованого використання водойм з природним температурним режимом для вирощування плідників та систем рециркуляційного водопостачання з регульованим температурним режимом для отримання зрілих статевих продуктів риб у нетрадиційні рибницькі строки. Крім стерляді (*Acipenser ruthenus*), важливе місце в реалізації напрацьованих технологічних рішень посідає сибірський осетер (*Acipenser baerii*) [24–27]. Розроблені технології успішно використовуються у практичній діяльності рибогосподарських підприємств. Проте, технології ікряно-товарного осетрівництва перебувають в Україні лише на початкових етапах розвитку і потребують подальших поглиблених досліджень.

Зокрема, важливе практичне і теоретичне значення належить виконанню комплексного генетичного контролю осетрових риб з метою підтримання необхідного рівня генетичного різнома-

tion conditions. Genetic studies in the context of experimental work on the creation and exploitation of sturgeon brood stocks is considered as an integral part of scientific support for modern sturgeon farming.

Insufficient attention has been paid to the study of genetic variability of domesticated sturgeon breeding groups, when a limited amount of initial ichthyological material is used, in Ukrainian aquaculture. At the same time, it was noted that the study of the heterogeneity of individual breeding groups of sturgeons is primarily necessary to maintain outbreeding while preserving genetic diversity close to natural, since certain genetic changes may occur in fish during long-term breeding in aquaculture with the acquisition of new phenotype traits. It was also noted that biochemical markers are a convenient tool in population genetics. Isoenzyme polymorphism allows assessing the heterogeneity of populations, and helps to clarify the level of adaptive plasticity of a species to environmental conditions [28].

Therefore, the main purpose of the work was to study the variability of the genetic structure of Siberian sturgeon at the loci of protein systems in the process of domestication under conditions of intensive aquaculture.

ніття у сформованих стадах плідників в умовах доместикації. Генетичні дослідження в контексті виконання експериментальних робіт із формування та експлуатації репродуктивних стад осетрових риб розглядаються нами як невід'ємна складова частина наукового супроводу сучасного осетрівництва.

Дослідженням генетичної мінливості доместикованих племінних груп осетрових риб, коли використовується обмежена кількість вихідного іхтіологічного матеріалу, в аквакультурі України приділялась недостатня увага. Водночас, зазначалося, що дослідження гетерогенності окремих племінних груп осетрових риб насамперед необхідне для підтримання аутбридингу зі збереженням наближеного до природного генетичного різноманіття, оскільки у риб за тривалого розведення в аквакультурі можуть відбуватись певні генетичні зміни із набуттям нових ознак фенотипу. Також зазначалось, що зручним інструментом у популяційній генетиці є біохімічні маркери. Поліморфізм ізоферментів дає змогу оцінити гетерогенність популяцій, а також сприяє з'ясуванню рівня адаптаційної пластичності виду до умов навколишнього середовища [28].

Отже, основною метою роботи було дослідження мінливості генетичної структури сибірського осетра за локусами білкових систем у процесі доместикації в умовах інтенсивної аквакультури.

MATERIALS AND METHODS

The level of variability in the genetic structure of Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*) was studied by protein systems. The analysis of the genetic structure was performed for the transferrin (TF), albumin (ALB), and two esterase loci (Est-1, Est-2, 3.1.1.1) designated in accordance with the locus classification [29].

The study used blood serum collected

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Досліджували рівень мінливості генетичної структури сибірського осетра (*Acipenser baerii*) за білковими системами. Проведено аналіз генетичної структури за локусами трансферину (TF), альбуміну (ALB), двома локусами естерази (Est-1, Est-2, 3.1.1.1), позначеними у відповідності до класифікації локусів [29].

on 18.11.2022 from 30 individuals of age-5-6 Siberian sturgeons in condition of fish farming. The selection of fish for genetic studies was carried out randomly from cages marked according to individual age groups of fish.

The materials were collected at the industrial-type sturgeon farm of the "Rural Agricultural Aquaculture Enterprise "Osetr"" LLC (AAE "Osetr" LLC). The farm is located in the Obukhiv district of the Kyiv region of Ukraine on the right bank of the Kaniv reservoir of the Dnipro River. We studied a group of Siberian sturgeon grown at the natural water temperature of the forest-steppe zone in floating cages installed on fixed pontoons.

In the process of growing brood sturgeons, individuals with the best exterior traits without body deformation and mechanical damage were selected. Throughout the entire growing period, sick and significantly stunted fish were culled. For the genetic study, fish of the third generation of domestication were used, all stages of which took place under intensive technologies in the conditions of AAE "Osetr" LLC.

Blood from fish was collected in Eppendorf tubes with a coagulant (heparin) at a rate of 25 IU per 1 ml of blood. Electrophoretic separation of proteins was performed in a 9% polyacrylamide gel followed by histochemical staining and genotyping [30].

Deviations of genotype frequencies from the equilibrium state were assessed using a χ^2-test [31] in MS Excel. The level of inbreeding was determined according to the fixation index using Wright's F-statistics [32].

In the process of creating a brood stock of Siberian sturgeon, systematic studies of the chemical composition and temperature regime of water were carried out to assess their suitability for effective cultivation of sturgeons [33-35].

Для дослідження використовували сироватку крові, відібраної 18.11.2022 р. від особин (n=30) сибірського осетра на 5–6-му роках вирощування риб. Відбір особин осетра для генетичних досліджень здійснювали рандомно із садків, маркованих за окремими віковими групами риб.

Матеріали досліджень зібрані на осетровому господарстві індустріального типу товариства з обмеженою відповідальністю «Сільськогосподарське рибоводне підприємство "Осетр"» (ТОВ-СРП «Осетр»). Господарство розташоване на території Обухівського району Київської області України у правобережній частині Канівського водосховища на р. Дніпро. Досліджували групу сибірського осетра, вирощену за природної температури води лісостепової зони в умовах плавучих садків, установлених на нерухомо закріплених понтонах.

У процесі вирощування племінного матеріалу осетра відбирали особин із найкращими екстер'єрними характеристиками без деформації тіла і механічних ушкоджень. Протягом всього періоду вирощування вибраковували хворих та значно відсталих у рості риб. Для генетичних досліджень використано риб третього покоління доместикації, усі етапи якої відбувались за інтенсивних технологій в умовах ТОВ-СРП «Осетр».

Кров у риб відбирали у пластикові пробірки типу «Eppendorf» з коагулянтом (гепарин) у розрахунку 25 МО на 1 мл крові. Електрофоретичне розділення білків проводили у 9% поліакриламідному гелі з подальшим гістохімічним фарбуванням і генотипуванням [30].

Відхилення генотипових частот від стану рівноваги оцінювали згідно з критерієм Пірсона (χ^2) [31] у програмі «Microsoft Excel». Визначали рівень інбридингу згідно з індексом фіксації за

Studies of fish productive parameters at all stages of breeding Siberian sturgeon were carried out using generally accepted methods in ichthyology and fish farming [36, 37]. During blood sampling for genetic studies, the individual weight of the fish was determined. Statistical processing of the obtained data was carried out in "Statistica 6.0". The criteria for analyzing the indicators were their average value and standard error (M±m) and the coefficient of variation (Cv).

STUDY RESULTS AND THEIR DISCUSSION

Cultivation of Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*) in the conditions of AAE "Osetr" LLC was carried out in 24 m^2 (4×6 m) floating cages with a cage chamber volume of 60–70 m^3 with a fish biomass of up to 10.3–12.9 kg/m^2. Cage systems were located in a water body with constant water circulation at a flow rate of 0.05-0.20 m/s. Feeding of different age groups of sturgeon was carried out at a water temperature not lower than 5.5–6.0°C with specialized compound feeds with a crude protein content of 45–52%. Average water temperatures in the summer months ranged from 20.9–25.3°C with maximum values up to 28.0°C. The dissolved oxygen concentration was within 3.8–9.4 mg O_2/dm^3 with an average seasonal value of at least 5.8 mg O_2/dm^3. During the cultivation of different age groups of sturgeon, periodic exceedance of the normative values for certain hydrochemical parameters was recorded, in particular, ammonium

F-статистикою Райта [32].

У процесі формування племінного стада сибірського осетра здійснювали систематичні дослідження хімічного складу води та температурного режиму водного середовища щодо оцінки їх придатності для ефективного вирощування осетрових риб [33–35].

Дослідження рибницьких показників на всіх етапах вирощування племінного матеріалу сибірського осетра виконувались за загальноприйнятими в іхтіології та рибництві методиками [36, 37]. Під час відбору проб крові для генетичних досліджень визначали індивідуальну масу риб. Статистичну обробку отриманих даних здійснювали із використанням програми «Statistica 6.0». Критеріями аналізу показників були їх середня величина і середнє відхилення (M±m) та показник мінливості (Cv).

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

В умовах ТОВ-СРП «Осетр» вирощування сибірського осетра проводили у плавучих садках площею 24 $м^2$ (4×6 м) із об'ємом садкових камер 60–70 $м^3$ за біомаси риб до 10,3–12,9 кг/$м^2$. Садкові системи розташовували у водоймі з постійною циркуляцією води зі швидкістю течії 0,05–0,20 м/с. Годівлю різних вікових груп осетра здійснювали за температури води не нижче 5,5–6,0°C спеціалізованими комбікормами з умістом сирого протеїну на рівні 45–52%. Середні показники температури води літніх місяців коливались у межах 20,9–25,3°C за максимальних значень до 28,0°C. Концентрація розчиненого у воді кисню перебувала в межах 3,8–9,4 мг O_2/$дм^3$, за середньосезонної величини не менше 5,8 мг O_2/$дм^3$. Під час вирощування різних вікових груп осетра зареєстроване періодичне перевищення нормативних значень за окремими гідрохімічними показниками, зокрема, вмістом амоній-

nitrogen (NH_4^+) up to 2.11 mg N/dm^3 and total iron (Fe^{2+} + Fe^{3+}) up to 1.89 mg Fe/dm^3. However, all registered exceedances of regulatory values were not long-lasting and were not of high level. No mass death of fish under the influence of abiotic environmental factors was detected during the entire period of creation of the brood stock of Siberian sturgeon [26, 27].

The average seasonal weight gains of sturgeon of age groups from 1+ to 10+ were in the range of 0.47–1.11 kg with maximum values in fish of age-3+ group. The average weight of age-8+ to 10+ females was 7.39±0.12 kg (n=31, Cv=9.02%) with fluctuations in individual fish weight within the range of 6.24–8.64 kg. Females of these age groups were characterized by the final stages of gonadal maturation. According to the results of in-viable collection of mature eggs, the values of the gonadosomatic index in these fish ranged from 12.0 to 21.1% (on average 15.42±0.47%). High survival rates of Siberian sturgeon of all ages (95.8-100.0%) have been recorded when grown in floating cages [24, 25].

The presented data on abiotic factors of the water in the area of installation of cages with brood *Acipenser baerii* and the main productive parameters during the period of creation of the reproductive sturgeon stock generally indicate satisfactory conditions for fish culture over a long period of observations.

In the mixed group of age-4+ and 5+ Siberian sturgeon used for genetic studies, the average fish body weight was 3.60±0.11 kg (n=30, Cv=16.57%) with fluctuations in this value within the range of 2.04-4.72 kg.

The peculiarities of the distribution of alleles and genotypes of blood serum of *Acipenser baerii* individuals according to the loci of protein systems were clarified and valuable information about the structure

Середньосезонні прирости осетра вікових груп від 1+ до 10+ знаходилися у діапазоні 0,47–1,11 кг, за максимальних значень у риб вікової групи 3+. Середня маса самок осетра вікових груп від 8+ до 10+ становила 7,39±0,12 кг (n=31, Cv=9,02%), за коливань індивідуальної маси риб в межах 6,24–8,64 кг. Самки осетра цих вікових груп характеризувались завершальними стадіями дозрівання гонад. За результатами прижиттєвого відбору зрілих статевих продуктів у заводських умовах, значення гонадосоматичного індексу у цих риб становили від 12,0 до 21,1% (в середньому 15,42±0,47%). Під час вирощування у плавучих садках зареєстровані високі показники виживання сибірського осетра різного віку (95,8–100,0%) [24, 25].

Наведені дані щодо абіотичних чинників середовища водойми на ділянці розміщення садків із племінним матеріалом *Acipenser baerii* та основні рибницькі показники у період формування репродуктивного стада осетра загалом вказують на задовільні умови вирощування риб упродовж тривалого періоду спостережень.

У використаній для генетичних досліджень змішаній групі сибірського осетра у віці 4+ та 5+ середня маса тіла риб становила 3,60±0,11 кг (n=30, Cv=16,57%) за коливань показника в межах 2,04–4,72 кг.

З'ясовано особливості розподілу алелів та генотипів сироватки крові особин *Acipenser baerii* за локусами білкових систем та отримано цінну ін-

ture of the created brood stock was obtained.

The frequency distribution of allelic variants by polymorphic loci is shown in Figure 1. TF locus in the studied group of Siberian sturgeon was divided into 3 components shown in decreasing order of electrophoretic mobility as Tf A, B, C, the frequency of which is indicated in Figure 1.

Serum albumin in Siberian sturgeon is represented by five allelic variants, designated in order of decreasing mobility in the gel block: Alb A, B, C, D, E. The most common alleles were Alb B, C, D. The allelic variants Alb A and Alb E in the studied group of fish had a low frequency with values of 0.059 and 0.079, respectively.

Esterase in Siberian sturgeon, is represented by two loci. Three allelic variants were identified at the Est-1 locus and two alleles were identified at the Est-2 locus, which had an even distribution in frequency.

Figure 2 shows the distribution of genotypic variants of the studied loci. In Siberian sturgeon, a shift in genetic equilibrium towards an excess of heterozygotes is observed, which indicates the peculiarities of individual selection of fish in the brood stock and the selective advantage of individuals with heterozygous genotypes. In

формацію про структуру сформованого племінного стада.

Розподіл частот алельних варіантів за поліморфними локусами наведено на рисунку 1. У досліджуваній групі сибірського осетра локус TF розподілявся на 3 компоненти, позначені у порядку зменшення електрофоретичної рухливості, як Tf A, B, C, частоту яких вказано на рисунку 1.

Альбумін сироватки крові у сибірського осетра представлений п'ятьма алельними варіантами, позначеними у порядку зменшення їхньої рухливості в гелевому блоці: Alb A, B, C, D, E. Найчастіше зустрічались алелі Alb B, C, D. Алельні варіанти Alb A та Alb E у дослідженій групі риб мали незначну частоту із значеннями 0,059 і 0,079 відповідно.

У сибірського осетра естераза представлена двома локусами. За локусом Est-1 встановлено три алельні варіанти, а за локусом Est-2 — два алелі, які за частотою мали рівномірний розподіл.

На рисунку 2 представлено розподіл генотипових варіантів досліджуваних локусів. У сибірського осетра відмічається зміщення генетичної рівноваги в бік надлишку гетерозигот, що свідчить про особливості індивідуального відбору риб у племінному стаді та селективну перевагу особин із гетерозиготними генотипами. У групі осетра за локусом

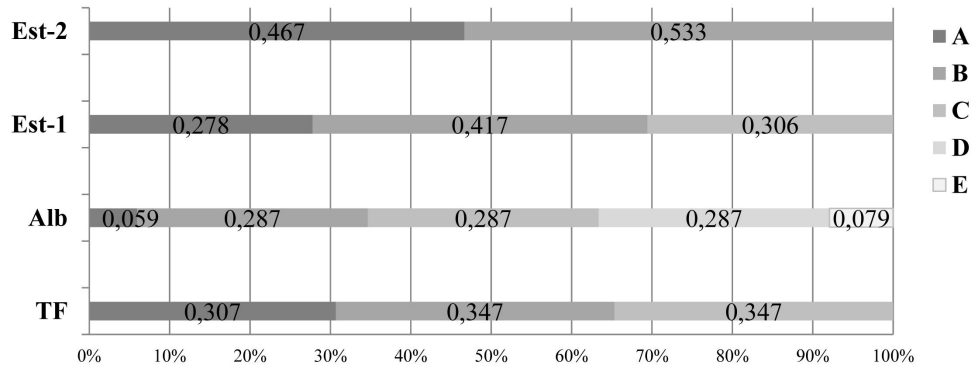


Fig. 1. **Allele frequency at protein system loci in Siberian sturgeon**

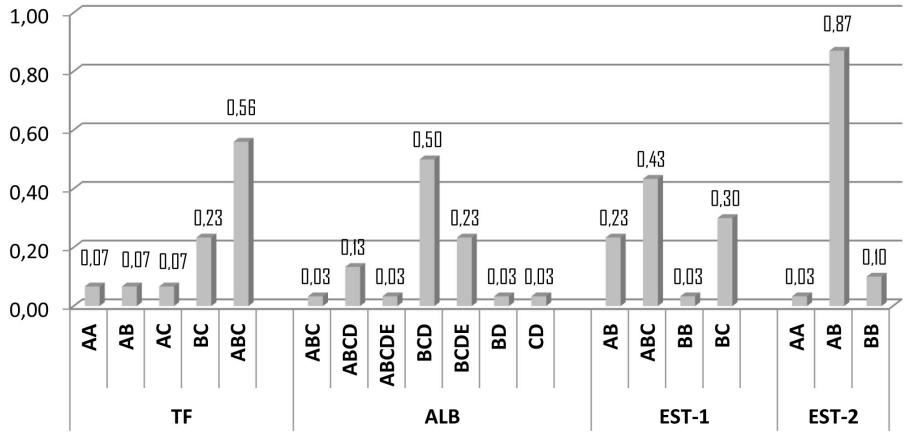


Fig. 2. **Frequency of genotypes by protein system loci in Siberian sturgeon of AAE "Osetr" LLC of Kyiv region**

the sturgeon group, the following genotypes were found at the TF locus: AA, AB, AC, BC, ABC. The most common genotype was Tf ABC (56%).

Seven genotypic variants were identified at the ALB locus: ABC, ABCD, ABCDE, BCD, BCDE, BD, CD. However, the most common individuals were individuals with three Alb genotypes: BCD (50%), BCDE (23%), and ABCD (13%). Other genotypes were rarely observed.

It should be noted that genotypic analysis of protein systems (TF, ALB, Est-1) by loci showed a normal distribution of genotypes according to the Hardy-Weinberg law. Four genotypes were identified at the Est-1 locus and Est-1 ABC was the most frequently represented (43%) (Fig. 2). Three genotypic variants were identified at the Est-2 locus (Fig. 3).

Est-2 AB heterozygotes predominated in the stock and accounted for 86.7%, which confirmed the imbalance of the structure at this locus with the most significant excess of heterozygous individuals ($\chi 2$=16.476; P<0.001) compared to the expected.

An important indicator for assessing changes in the process of breeding work is the level of heterozygosity, which in the studied group of Siberian sturgeon was at a

TF зустрічалися генотипи AA, AB, AC, BC, ABC, серед яких найчастіше — генотип Tf ABC (56%).

За локусом ALB виявлено сім генотипових варіантів: ABC, ABCD, ABCDE, BCD, BCDE, BD, CD. Але найчастіше зустрічались особини з трьома генотипами Alb BCD (50%), BCDE (23%) і ABCD (13%). Інші генотипи проявлялись рідко.

Слід зазначити, що генотиповий аналіз за локусами білкових систем (TF, ALB, Est-1) показав нормальний розподіл генотипів відповідно до закону Харді-Вайнберга. За локусом Est-1 виявлено чотири генотипи та найчастіше представлений Est-1 ABC (43%) (рис. 2). За локусом Est-2 виявлено три генотипові варіанти (рис. 3).

У стаді переважали гетерозиготи Est-2 AB і становили 86,7%, що підтверджувало неврівноваженість структури за цим локусом з максимально значущим надлишком гетерозиготних особин (χ^2=16,476; P<0,001), порівняно з очікуваними.

Важливим показником оцінки змін у процесі племінної роботи є рівень гетерозиготності, який у дослідженій групі сибірського осетра перебував на досить високому рівні і варіював від 86,7 (за

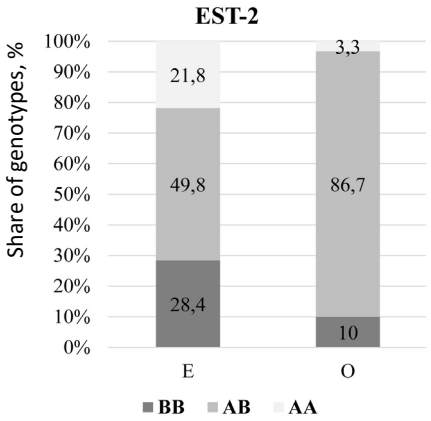


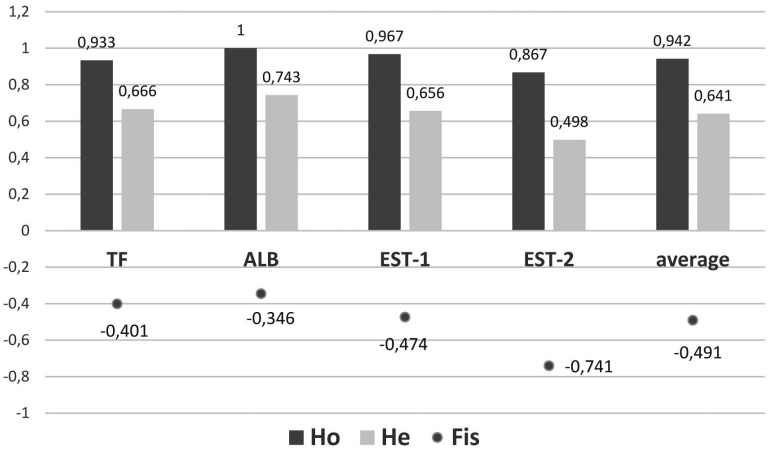
Fig. 3. **Distribution of genotypes (%) at the Est-2 locus in Siberian sturgeon (O – actual, E – expected)**

fairly high level and varied from 86.7% (at the Est-2 locus) to 100% (at the ALB locus) and was noticeably different from the expected. The average level of actual heterozygosity was 94.2% and significantly exceeded the expected one (64%) (Fig. 4). This may indicate the need to stabilize the genetic structure of the studied sturgeon brood stock.

The value of Wright's fixation index (Fis) in our study varied from –0.346 (at the ALB locus) to –0.741 (at the Est-2 locus) with an average value of –0.491. The negative value of the fixation index

локусом Est-2) до 100,0% (за локусом ALB) та помітно відрізнявся від очікуваного. Середній рівень фактичної гетерозиготності становив 94,2% та значно переважав очікуваний (64,0%) (рис. 4). Це може вказувати на необхідність стабілізації генетичної структури досліджуваного племінного стада осетрових риб.

Величина індексу фіксації Райта (F_{is}) в нашому дослідженні варіювала у межах від –0,346 (за локусом ALB) до –0,741 (за локусом Est-2), із середнім значенням –0,491. Від'ємне значення ін-



Rural Agricultural Aquaculture Enterprise "Osetr" located in the Kyiv region of Ukraine

Fig. 4. **Heterozygosity level and fixation index in Siberian sturgeon** (No – actual heterozygosity, No – expected heterozygosity, Fis – Wright's fixation index)

(inbreeding coefficient) indicated a 49% excess of heterozygous individuals in the available sample of fish and the absence of a significant effect of inbreeding on their genetic structure.

CONCLUSION AND PERSPECTIVES OF FURTHER DEVELOPMENT

The variability of the genetic structure of Siberian sturgeon was analyzed according to the loci of protein systems in the reproductive stock of fish, several generations of which were consistently reproduced and grown using intensive technologies in controlled conditions of the industrial-type farm AAE "Osetr" LLC located in the northern part of the Forest-Steppe of Ukraine.

During the long-term (three generations) cultivation in intensive aquaculture conditions, individuals with the best exterior and productive characteristics were regularly selected in the studied sturgeon brood stock. At the same time, abiotic environmental factors during the cultivation of different age groups of sturgeon ensured a high level of fish survival and positive dynamics of the development of their reproductive system. This is confirmed by the results of the selection of mature eggs of fish in artificial conditions.

Based on the analysis and assessment of the genetic structure of *Acipenser baerii* according to the polymorphic protein loci of transferrin (TF), albumin (ALB) and esterase (EST-1, EST-2, 3.1.1.1), a high level of genetic variability was observed.

Statistically significant genetic imbalance was observed in the studied group of Siberian sturgeon at the EST-2 locus with the most significant excess of heterozygotes (χ^2=16.476; P<0.001) and a high value of the Wright's fixation index (FIS = –0.741), which indicates the need to stabilize the structure at this locus.

The actual value of the average hetдексу фіксації (коефіцієнта інбридингу) вказувало на 49%-й надлишок гетерозиготних особин у наявній вибірці риб та відсутність значного впливу інбридингу на їх генетичну структуру.

ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШОГО РОЗВИТКУ

Проаналізовано мінливість генетичної структури сибірського осетра за локусами білкових систем у репродуктивному стаді риб, кілька генерацій яких послідовно відтворювались і вирощувались за інтенсивних технологій у контрольованих умовах господарства індустріального типу ТОВ-СРП «Осетр», розташованого в північній частині Лісостепу України.

У процесі тривалого (у трьох поколіннях) вирощування в умовах інтенсивної аквакультури у досліджуваному племінному стаді осетра здійснювався регулярний відбір особин із найкращими екстер'єрними та продуктивними характеристиками. Водночас, установлено, що абіотичні чинники середовища під час вирощування різних вікових груп осетра забезпечували високий рівень виживання риб та позитивну динаміку формування їхньої відтворювальної системи. Це підтверджено результатами відбору зрілих статевих продуктів риб у заводських умовах.

На підставі аналізу та оцінки генетичної структури *Acipenser baerii* за поліморфними білковими локусами трансферину (TF), альбуміну (ALB) та естерази (EST-1, EST-2, 3.1.1.1) встановлено високий рівень генетичної мінливості.

Відмічалась статистично достовірна генетична неврівноваженість у досліджуваній групі сибірського осетра за локусом EST-2 з максимально значущим надлишком гетерозигот (χ^2=16,476; P<0,001) та високим значенням індексу фіксації Райта (F_{IS} = –0,741), що вказує на потребу стабілізації структури за

erozygosity level in *Acipenser baerii* was (Ho=0.942±0.030) and significantly exceeded the expected value (He=0.641±0.500). This suggests a significant range of genetic variability across protein loci. The average values of Wright's fixation index (FIS = –0.491) observed in Siberian sturgeon indicated the absence of inbreeding in the studied fish stock. Therefore, the estimated genetic parameters in *Acipenser baerii* showed significant heterogeneity and a high level of their genetic variability, which requires consolidation of the genetic structure of the studied stock.

The results of genetic studies on sturgeon fish are of considerable interest for further improvement of the system of measures to increase the efficiency of breeding work and improve the quality of brood stock in sturgeon aquaculture in Ukraine. At the same time, one of the most accessible tools for the initial assessment of the variability of the genetic structure of breeding groups of Siberian sturgeon can be methods of genetic analysis based on protein polymorphism. At the same time, this involves the use of complex approaches to determining the genetic characteristics of brood fish in modern sturgeon farming, including the use of DNA markers and cytogenetic indicators.

CONFLICT OF INTEREST

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

SOURCES OF FUNDING

The work was carried out within the framework of budget financing under the thematic task of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine (state registration number 0121U109920 (2021–2025).

цим локусом.

У *Acipenser baerii* фактичне значення середнього рівня гетерозиготності становило (Ho=0,942±0,030) та значно переважало очікуване (He=0,641±0,500). Це дозволяє говорити про значний розмах генетичної мінливості за білковими локусами. Визначені у сибірського осетра середні значення індексу фіксації Райта (F_{IS} = –0,491) свідчили про відсутність інбридингу у дослідженому стаді риб. Отже, оцінені генетичні параметри у *Acipenser baerii* показали значну гетерогенність і високий рівень їх генетичної мінливості, що потребує консолідації генетичної структури дослідженого стада.

Результати генетичних досліджень осетрових риб становлять значний інтерес для подальшого удосконалення системи заходів із підвищення ефективності племінної роботи та поліпшення якості племінного матеріалу об'єктів осетрової аквакультури в Україні. При цьому одним із найдоступніших інструментів первинної оцінки мінливості генетичної структури племінних груп сибірського осетра можуть бути методи генетичного аналізу за білковим поліморфізмом. Водночас, це передбачає застосування комплексних підходів щодо визначення генетичних особливостей племінного матеріалу сучасного осетрівництва, в тім числі з використанням ДНК-маркерів та цитогенетичних показників.

КОНФЛІКТ ІНТЕРЕСІВ

У цій роботі конфлікт інтересів авторів відсутній.

ДЖЕРЕЛА ФІНАНСУВАННЯ

Робота виконана в межах бюджетного фінансування за тематичним завданням Національної академії аграрних наук України (номер державної реєстрації 0121U109920 (2021–2025)).

REFERENCES

1. Akimov, I. A. (Ed.). (2009). *Chervona knyha Ukrainy*. *Tvarynnyi svit*. Kyiv: Globalkonsaltynh.
2. Kolman, R., & Robak, S. (Ed.). (2007). *Akwakultura województwa warmińsko-mazurskiego elementem współpracy międzyregionalnej Polski, Litwy i obwodu Kaliningradzkiego FR*. Olsztyn: IRS.
3. Kolman, R., & Kapusta, A. (Ed.). (2008). *Actual status and active protection of sturgeon fish populations endangered by extinction*. Olsztyn: Instytut Rybactwa Srodladowego.
4. Kolman, R., & Prusińska, M. (Ed.). (2012). *Problemy produkcji materiału zarybieniowego ginących populacji ryb jesiotrowatych*. Olsztyn: IRS.
5. Bondarchuk, M. Ye., & Khartii, M. V. (2022). Svitovi tendentsii rozvytku rynku ikrianykh tovariv. Efektyvna ekonomika, 2. *economy.nayka.com.ua.* Retrieved from: http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=10014. https://doi.org/10.32702/2307-2105-2022.2.77.
6. Pashko, S., Tretiak, O., Pashko, M., & Kolos, O. (2022). Fishery assessment of brood Siberian sturgeon (*Acipenser baerii* Brandt, 1869) cultivated in floating cages at natural water temperature of the forest steppe of Ukraine. *Fisheries Science of Ukraine, 4(62),* 23-40. https://doi.org/10.15407/fsu2022.04.023.
7. Bekhit, Alaa El-Din. (Ed.). (2022). *Fish Roe: Biochemistry, Products, and Safety*. https://doi.org/10.1016/C2019-0-00711-X.
8. Feng, Zhao, Ping, Zhuang, & Tao, Zhang. (Eds.). (2024). *Environmental Biology of the Young Chinese Sturgeon*. https://doi.org/10.1007/978-981-97-5648-3.
9. Fopp-Bayat, D., Kolman, R., Tretyak, A. M., & Woznicki, P. (2008). Microsatellite DNA analysis of sterlet from five European river drainage areas. *Actual status and active protection fish popula-*

ЛІТЕРАТУРА

1. Червона книга України. Тваринний світ / ред. Акімов І. А. Київ : Глобалконсалтинг, 2009. 600 с.
2. Akwakultura województwa warmińsko-mazurskiego elementem współpracy międzyregionalnej Polski, Litwy i obwodu Kaliningradzkiego FR / red. Kolman R., Robak S. Olsztyn : IRS 2007. 115 s.
3. Actual status and active protection of sturgeon fish populations endangered by extinction / ed. Kolman R, Kapusta A. Olsztyn : Instytut Rybactwa Srodladowego, 2008. 310 p.
4. Problemy produkcji materiału zarybieniowego ginących populacji ryb jesiotrowatych / red. Kolman R., Prusińska M. Olsztyn : IRS, 2012. 92 s.
5. Бондарчук М. Є., Хартій М. В. Світові тенденції розвитку ринку ікряних товарів // Ефективна економіка. 2022. № 2. URL : http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=10014 (дата звернення : 26.10.2023). https://doi.org/10.32702/2307-2105-2022.2.77.
6. Fishery assessment of brood Siberian sturgeon (*Acipenser baerii* Brandt, 1869) cultivated in floating cages at natural water temperature of the forest steppe of Ukraine / Pashko S. et al. // Fisheries Science of Ukraine. 2022. № 4(62). P. 23—40. https://doi.org/10.15407/fsu2022.04.023.
7. Fish Roe — Biochemistry, Products, and Safety / ed. Alaa El-Din Bekhit [S. l.], 2022. 430 p.
8. Environmental Biology of the Young Chinese Sturgeon / eds. Feng Zhao, Ping Zhuang, Tao Zhang. [S. l.], 2024. 320 p.
9. Microsatellite DNA analysis of starlet from five European river drainage areas / Fopp-Bayat D. et al. // Actual status and active protection fish populations endangered by extinction : International scientific conference : proceed. Olsztyn : IRS, 2008. P. 223—234.

tions endangered by extinction: International scientific conference: proceed. Olsztyn: IRS, 223-234.

10. Chandra, G., & Fopp-Bayat, D. (2021). Trends in aquaculture and conservation of sturgeons: a review of molecular and cytogenetic tools. *Rev. Aquac*., *13(1)*, 119-137. https://doi.org/10/1111/raq.12466.
11. Pashko, M. M., Tarasiuk, S. I., Tretiak, O. M., Borysenko, N. O., & Bielikova, O. Yu. (2019). Do pytannia henetychnoi struktury pleminnykh hrup sterliadi (*Acipenser ruthenus* Linnaeus) v industrialnii akvakulturi. *Rybohospodarska nauka Ukrainy, 3(49)*, 48-58. https://doi.org/10.15407/fsu2019.03.048.
12. Chistiakov, D. A., Hetlemans, B., & Volckaert, F. A. M. (2006). Microsatellites and their genomic distribution, evolution, function and applications: A review with special reference to fish genetics. *Aquaculture, 255(1–4),* 1-29. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.11.031.
13. Bielikova, O. Y., Mariutsa, A. E., Mruk, A. I., Tarasjuk, S. I., & Romanenko, V. M. (2021). Genetic structure of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Salmoniformes, Salmonidae) from aquaculture by DNA-markers. *Biosystems Giversity*, *29(1)*, 28-32. https://doi.org/10.15421/012104.
14. Mruk, A., Kucheruk, A., Bielikova O., & Čiampor, F. (2024). Current state of the European grayling (*Thymallus thymallus* L.) in Ukraine and conservation strategy for population support. A review. *Journal for Nature Conservation, 81*, 1-11. https://doi.org/10.1016/j.jnc.2024.126676.
15. Mariutsa, A., Hrystyniak, I., Glushko, Yu., & Nahorniuk, T. (2023). Evaluation of the genetic variability of pedigree stocks of Amur carp (*Cyprinus rubrofuscus* Lacépède, 1803). *Fisheries Science of Ukraine, 3(65),* 86-101. https://doi.org/10.15407/fsu2023.03.086.
10. Chandra G., Fopp-Bayat D. Trends in aquaculture and conservation of sturgeons: a review of molecular and cytogenetic tools // Rev. Aquac. 2021. Vol. 13(1). P. 119—137. https://doi.org/10/1111/raq.12466.
11. До питання генетичної структури племінних груп стерляді (*Acipenser ruthenus* Linnaeus) в індустріальній аквакультурі / Пашко М. М. та ін. // Рибогосподарська наука України. 2019. № 3(49). С. 48—58. https://doi.org/10.15407/fsu2019.03.048.
12. Chistiakov D. A., Hetlemans B., Volckaert F. A. M. Microsatellites and their genomic distribution, evolution, function and applications: A review with special reference to fish genetics // Aquaculture. 2006. Vol. 255, № 1–4. P. 1—29. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.11.031.
13. Genetic structure of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Salmoniformes, Salmonidae) from aquaculture by DNA-markers / Bielikova O. Y. et al. // Biosystems Diversity. 2021. Vol. 29(1). P. 28—32. https://doi.org/10.15421/012104.
14. Current state of the European grayling (*Thymallus thymallus* L.) in Ukraine and conservation strategy for population support. A review / Mruk A. et al. // Journal for Nature Conservation. 2024. Vol. 81, September. 126676. P. 1—11. https://doi.org/10.1016/j.jnc.2024.126676.
15. Evaluation of the genetic variability of pedigree stocks of Amur carp (*Cyprinus rubrofuscus* Lacépède, 1803) / Mariutsa A. et al. // Fisheries Science of Ukraine. 2023. № 3(65). P. 86—101. https://doi.org/10.15407/fsu2023.03.086.
16. Mariutsa A. E., Nahorniuk T. A., Hlushko Y. M. Peculiarities of genetic variability of valuable fish species // Achievements and research prospects in animal husbandry and veterinary medicine: Scientific monograph. Riga, Latvia :

16. Mariutsa, A. E., Nahorniuk, T. A., & Hlushko, Y. M. (2023). Peculiarities of genetic variability of valuable fish species. *Achievements and research prospects in animal husbandry and veterinary medicine: Scientific monograph.* Riga, Latvia: Baltija Publishing. https://doi.org/10.30525/978-9934-26-316-3-18.
17. Nafath-ul-Arab, Irfan Ahmad, Tasaduq, Hussain Shah, Oyas, Ahmed Asimi, Zarka, Yousuf, Asim, Iqbal, Sajad, H. Baba, Anees, Fatima, & Nakeer, Razak. (2020). Protein polymorphism in fishes. *Journal of Entomology and Zoology Studies, 8(2),* 62-66.
18. Rehbein, H., & Lopata, A. L. (2011). Presence of parvalbumin in different tissues of three sturgeon species (*Acipenser baerii*, *A. gueldenstaedtii*, *A. ruthenus*). *Journal of Applied Ichthyology, 27*, 219-225. https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2010.01654.x.
19. Ivanova, P., Chalova, V., Nikolova, L., & Georgiev, G. (2022). Comparative analysis of protein profile of Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*), Russian sturgeon (*Acipenser gueldenstaedtii*), and hybrid (F1 *Acipenser baerii* × *Acipenser gueldenstaedtii*) grown on an aquaculture farm. *Bulg. J. Agric. Sci., 28 (1),* 119-128.
20. Chaichi Nosrati, A., Modiri, L., Razi Jalali, M., Bahmani, M., & Khajeh, G. H. (2011). A comparative clinical analytic table for hemato-biochemical electrophoretic serum proteins constant variations of the Caspian Sea Sturgeons. The first patent for mature free living fishes: *Huso huso, Acipenser persicus, A. gueldenstaedtii, A. nudiventris, A. stellatus, A. ruthenus, and A. baerii*. *Sturgeon Fishes and Their Future: The International Conference, 7.06–10.06.2011: proceed.* Berdyansk, Ukraine.
21. Epifanio, J. M., Koppelman, J. B., Nedbal, M. A., & Philipp, D. P. (1996). Geographic variation of paddlefish allozymes and mitochondrial DNA. *Transactions of* Baltija Publishing, 2023. P. 364—379. https://doi.org/10.30525/978-9934-26-316-3-18.
17. Protein polymorphism in fishes / Nafath-ul-Arab Irfan Ahmad et al. // Journal of Entomology and Zoology Studies. 2020. Vol. 8(2). P. 62—66.
18. Rehbein H., Lopata A. L. Presence of parvalbumin in different tissues of three sturgeon species (*Acipenser baerii*, *A. gueldenstaedtii*, *A. ruthenus*) // Journal of Applied Ichthyology. 2011. Vol. 27. P. 219—225. https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2010.01654.x
19. Comparative analysis of protein profile of Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*), Russian sturgeon (*Acipenser gueldenstaedtii*), and hybrid (F1 *Acipenser baerii* × *Acipenser gueldenstaedtii*) grown on an aquaculture farm / Ivanova P. et al. // Bulg. J. Agric. Sci. 2022. № 28 (1). P. 119—128.
20. A comparative clinical analytic table for hemato-biochemical electrophoretic serum proteins constant variations of the Caspian Sea Sturgeons. The first patent for mature free living fishes: *Huso huso, Acipenser persicus, A. gueldenstaedtii, A. nudiventris, A. stellatus, A. ruthenus, and A. baerii* / Chaichi Nosrati A. et al. // Sturgeon Fishes and Their Future : The International Conference, 7-10 June 2011, Berdyansk, Ukraine : proceed. Berdyansk, 2011. P. 10—17.
21. Geographic variation of paddlefish allozymes and mitochondrial DNA / Epifanio J. M. et al. // Transactions of the American Fisheries Society. 1996. № 125 (4). P. 546—561. https://doi.org/10.1577/1548-8659(1996)1252.3.CO;2.
22. Третяк О. М., Тарасюк С. І. Аналіз генетичної структури племінних груп веслоноса за окремими генетико-біохімічними системами // Рибогосподарська наука України. 2011. № 1. С. 50—57.

the American Fisheries Society, *125(4)*, 546-561. https://doi.org/10.1577/1548-8659(1996) 1252.3.CO;2.

22. Tretyak, A., & Tarasyuk, S. (2011). Analysis of genetic structure of pedigree groups of paddlefish by individual genetic-biochemical systems. *Fisheries Science of Ukraine, 1(15),* 50-57.
23. Ivanova, P., Dzhembekova, N., Kardjeva, V., Tsekov, A., & Raykov, V. (2017). Microsatellite and allozyme variations in starlet sturgeon wild broodstock and hatchery-produced offspring, used for restocking of lower Danube river. *Journal of Aquaculture Engineering and Fisheries Research, 3(4)*, 199-206. https://doi.org/10.3153/JAEFR17022.
24. Pashko, S., Pashko, M., Tretiak, O., & Kolos, O. (2021). An experience of obtaining mature eggs of the Siberian sturgeon (*Acipenser baerii* (Brandt, 1869)) in non-traditional period. *Fisheries Science of Ukraine, 4(58),* 29-39. https://doi.org/10.15407/fsu2021.04.029.
25. Pashko, S., Tretiak, O., Pashko, M., Kolos, O., & Hankevych, B. (2023). The results of obtaining eggs from brood sturgeon (*Acipenser baerii* Brandt, 1869) at first maturity grown in industrial conditions. *Fisheries Science of Ukraine, 4(66),* 69-83. https://doi.org/10.61976/fsu2023.04.069.
26. Pashko, S., Tretiak, O., Pashko, M., & Kolos, O. (2024). Peculiarities of cultivation of Siberian sturgeon (*Acipenser baerii* Brandt, 1869) breeders using floating cages in the climatic conditions of the forest steppe of Ukraine. *Fisheries Science of Ukraine, 2(68),* 40-57. https://doi.org/10.61976/fsu2024.02.040.
27. Tretiak, O., Onyshchuk, Yu., Kolos, O., Hankevych, B., & Pashko, S. (2024). Ecological aspects of using heat waste water of energy facilities for sturgeon (Acipenseridae) aquaculture. *Fisheries Science of Ukraine, 3(69),* 42-62. https://doi.org/10.61976/fsu2024.03.042.
28. Grubinko, V. V., Kurant, V. Z., Khomen-
23. Microsatellite and allozyme variations in starlet sturgeon wild broodstock and hatchery-produced offspring, used for restocking of lower Danube river / Ivanova P. et al. // Journal of Aquaculture Engineering and Fisheries Research. 2017. № 3(4). P. 199—206. https://doi.org/10.3153/JAEFR17022.
24. An experience of obtaining mature eggs of the Siberian sturgeon (*Acipenser baerii* (Brandt, 1869)) in non-traditional period / Pashko S. et al. // Fisheries Science of Ukraine. 2021. № 4(58). P. 29—39. https://doi.org/10.15407/fsu2021.04.029.
25. The results of obtaining eggs from brood sturgeon (*Acipenser baerii* Brandt, 1869) at first maturity grown in industrial conditions / Pashko S. et al. // Fisheries Science of Ukraine. 2023. № 4(66). P. 69—83. https://doi.org/10.61976/fsu2023.04.069.
26. Peculiarities of cultivation of Siberian sturgeon (*Acipenser baerii* Brandt, 1869) breeders using floating cages in the climatic conditions of the forest steppe of Ukraine / Pashko S. et al. // Fisheries Science of Ukraine. 2024. № 2(68). P. 40—57. https://doi.org/10.61976/fsu2024.02.040.
27. Ecological aspects of using heat waste water of energy facilities for sturgeon (Acipenseridae) aquaculture / Tretiak O. et al. // Fisheries Science of Ukraine. 2024. № 3(69). P. 42—62. https://doi.org/10.61976/fsu2024.03.042.
28. Особливості білкового складу плазми крові хребетних: еволюційно-екологічний аспект / Грубінко В. В. та ін. // Біологія тварин. 2010. Т. 12, № 1. С. 64—67.
29. Gene nomenclature for protein-coding loci in fish / Shaklee J. B. et al. // Transactions of the American Fisheries Society. 1990. № 119. P. 2—15.
30. Davis B. J. Disc electrophoresis. II. Method and application to hu-

chuk V. O., Byiak, V. Ya., & Syniuk, Yu. V. (2010). Osoblyvosti bilkovogo skladu plazmy krovi khrebetnykh: evolyutsiyno-ekologichnyi aspect. *Biologiya tvaryn, 12, 1,* 64-67.
29. Shaklee, J. B., Allendorf, F. W., Morizol, D. C., & Whitt, G. S. (1990). Gene nomenclature for protein-coding loci in fish. *Transactions of the American Fisheries Society*, *119*, 2-15.
30. Davis, B. J. (1964). Disc electrophoresis. II. Method and application to human serum proteins. *Annals of the New York Academy of Sciences, 121*, 404-408. https://doi.org/10.1111/j.1749-6632/1964/tb14213.x.
31. Trofymenko, O. L., Hyl, M. I., & Smetana, O. Yu. (2018). *Henetyka populiatsii – Genetics of populations*. Mykolaiv: Helvetyka, 254.
32. Wright, S. (1951). The genetical structure of populations. *Ann. Eugenics*, *15(4)*, 323-354. https://doi.org/10.1111/j.1469-1809.1949.tb02451.x.
33. Nabyvanets, B. Y., Osadchyi, V. I., Osadcha, N. M., & Nabyvanets, Yu. B. (2007). *Analitychna khimiia poverkhnevykh vod*. Kyiv: Naukova dumka.
34. Arsan, O. M., Davydov, O. A., Diachenko, T. A., et al. (2006). *Metody hidroekolohichnykh doslidzhen poverkhnevykh vod*. Kyiv: Lohos.
35. Voda rybohospodarskykh pidpryiemstv. Zahalni vymohy ta normy. (2006). *Standart minahropolityky Ukrainy*. Kyiv: Ministerstvo ahrarnoi polityky Ukrainy.
36. Pylypenko, Yu. V., Shevchenko, P. G., Tsedyk, V. V., & Kornienko V. O. (2017). *Metody ihtiolohichnych doslidzhen.* Kherson: Oldi-Plus.
37. Ievtushenko, M. Yu. (2013). *Metodyka doslidzhen u rybnytstvi*. Kyiv.

man serum proteins // Annals of the New York Academy of Sciences. 1964. № 121. P. 404—408. https://doi.org/10.1111/j.1749-6632/1964/tb14213.x.
31. Trofymenko O. L., Hyl M. I., Smetana O. Yu. Henetyka populiatsii – Genetics of populations. Mykolaiv : Helvetyka, 2018. 254 p.
32. Wright S. The genetical structure of populations // Ann. Eugenics. 1951. № 15(4). P. 323—354. https://doi.org/10.1111/j.1469-1809.1949.tb02451.x.
33. Аналітична хімія поверхневих вод / Набиванець Б. Й. та ін. Київ : Наукова думка, 2007. 456 с.
34. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / Арсан О. М. та ін. Київ : Логос, 2006. 408 с.
35. СОУ – 05.01.37-385:2006. Вода рибогосподарських підприємств. Загальні вимоги та норми. Київ : Міністерство аграрної політики України, 2013. 15 с.
36. Методи іхтіологічних досліджень / Пилипенко Ю. В. та ін. Херсон : Олді-Плюс, 2017. 431 с.
37. Євтушенко М. Ю. Методика досліджень у рибництві. Київ, 2013. 130 с.