

Водные биоресурсы и среда обитания

2022, том 5, номер 2, с. 75–82

<http://journal.azniirkh.ru>, www.azniirkh.ru

doi: 10.47921/2619-1024_2022_5_2_75

ISSN 2618-8147 print, ISSN 2619-1024 online



Aquatic Bioresources & Environment

2022, vol. 5, no. 2, pp. 75–82

<http://journal.azniirkh.ru>, www.azniirkh.ru

doi: 10.47921/2619-1024_2022_5_2_75

ISSN 2618-8147 print, ISSN 2619-1024 online

УДК 639.3:575.22

ГЕНЕТИЧЕСКИЙ ПОЛИМОРФИЗМ СТЕРЛЯДИ (*ACIPENSER RUTHENUS*), ОБИТАЮЩЕЙ В ЕСТЕСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ И ВЫРАЩЕННОЙ В УСЛОВИЯХ ЗАВОДСКОГО ВОСПРОИЗВОДСТВА

© 2022 И. А. Котов, О. В. Трофимов, И. В. Пак, А. И. Шанских

ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет» (ТюмГУ), Тюмень 625003, Россия

E-mail: i.a.kotov@utmn.ru

Аннотация. Целью работы является сравнительная оценка генетического полиморфизма по микросателлитным маркерам популяции стерляди, обитающей в р. Иртыш (Уватский район Тюменской области), и ремонтно-маточного стада рыбопроизводного завода «Эра-98» (УЗВ — установки замкнутого водоснабжения, г. Тюмень). Ремонтно-маточное стадо стерляди было сформировано на основе потомства от половозрелых особей, отловленных в р. Иртыш и использованных для искусственного воспроизводства. Исследован полиморфизм по трем праймерам: CR-212, CR-215 и X-9. Показано, что показатели генетического разнообразия — полиморфность, гетерозиготность, число активных и эффективных аллелей — меняются у рыб, разводимых в условиях УЗВ. Отмечено уменьшение доли полиморфных маркеров по праймеру CR-212 и снижение гетерозиготности в 1,38 раза у стерляди из ремонтно-маточного стада в сравнении со стерлядью из природной популяции, обитающей в р. Иртыш. Выявлено уменьшение числа активных и эффективных аллелей у стерляди, разводимой в условиях УЗВ. Наблюдаемое явление может быть следствием искусственного воспроизводства рыб, проведенного ранее селекционного отбора или генетического дрейфа. В работе также проводится сравнительная оценка генетического полиморфизма камской и иртышской стерляди на основе собственных данных и данных других исследователей.

Ключевые слова: стерлядь, природная популяция, ремонтно-маточное стадо, ISSR-PCR маркеры, полиморфность, гетерозиготность

GENETIC POLYMORPHISM OF THE STERLET (*ACIPENSER RUTHENUS*) LIVING IN NATURAL CONDITIONS AND GROWN IN THE FISH FARM ENVIRONMENT

I. A. Kotov, O. V. Trofimov, I. V. Pak, A. I. Shanskikh

FSAEI HE “Tyumen State University” (TyumSU), Tyumen 625003, Russia

E-mail: i.a.kotov@utmn.ru

Abstract. This work is aimed at a comparative assessment of genetic polymorphism of the sterlet population inhabiting the Irtysh River (Uvatsky District, Tyumen Region) and the broodstock of the hatchery “Era” (“Epoch”) (RAS, recirculating aquaculture systems, Tyumen) based on microsatellite markers. The sterlet broodstock was comprised of the offspring from mature individuals caught in the Irtysh River and used for artificial reproduction. Polymorphism has been investigated for three primers: CR–212, CR–215, and X–9. It has been shown that the indicators of genetic diversity—polymorphism, heterozygosity, the number of active and effective alleles—change in the fish reared in the RAS environment. A decrease in the share of polymorphic markers for the primer CR–212 and in heterozygosity by 1.38 times have been recorded for the sterlet from the broodstock as compared to the sterlet from a natural population inhabiting the Irtysh River. A decrease in the number of active and effective alleles in the sterlet cultivated in the RAS environment has been discovered. The observed phenomenon may result from artificial reproduction of the fish, its prior selection, or genetic drift. This paper also provides a comparative assessment of genetic polymorphism of the stelet from the Kama and Irtysh Rivers based on the data collected by its authors and by other researchers.

Keywords: sterlet, natural population, broodstock, ISSR-PCR markers, polymorphism, heterozygosity

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время поддержание численности многих ценных видов рыб, включая осетровых, осуществляется преимущественно за счет искусственного воспроизводства [1]. В Тюменской области проводятся обширные работы по поддержанию численности ценных видов рыб, включая стерлядь *Acipenser ruthenus*. Для разведения стерляди активно используются установки замкнутого водоснабжения — УЗВ. Материалом для создания ремонтно-маточных стад является стерлядь из рек Иртыш и Кама. Показано, что в ответ на переход к новым условиям существования — изменение химического состава воды и температурных условий [2, 3], появление токсикантов [4, 5] — особи реагируют адаптациями. При разведении рыб в установках замкнутого водоснабжения новые факторы (термальные воды, искусственные корма, высокая плотность посадки, промышленные методы выращивания) создают стрессовые условия для рыб [6–9].

В условиях постоянно действующих измененных факторов существования возрастает роль устойчивых генотипов, обеспечивающих селективный успех [3, 10]. В связи с этим возникает потребность в изучении процессов, формирующих генетическую структуру ремонтно-маточных стад в этих условиях. Формирование полноценных ремонтно-маточных стад как альтернатива изъятию рыб из естественных популяций для воспроизводства требует рассмотрения вопроса о влиянии условий искусственного воспроизводства на изменение их генетического разнообразия.

Целью настоящей работы является сравнительная оценка генетического полиморфизма популя-

ций стерляди, обитающих в реках Иртыш и Кама, и ремонтно-маточного стада, разводимого в условиях УЗВ (установки замкнутого водоснабжения).

Задачи:

1) оценка генетического полиморфизма иртышской стерляди и его изменение в условиях искусственного воспроизводства;

2) сравнительная оценка генетического полиморфизма камской и иртышской стерляди на основе собственных данных и данных других исследователей [11].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования были проведены в период с 2019 по 2021 г. в Центре биотехнологии и генодиагностики Тюменского государственного университета.

Материалом для исследования полиморфизма ДНК служили пробы плавниковой ткани, собранные от особей стерляди из реки Иртыш (Уватский район Тюменской области) и ремонтно-маточного стада рыбопродуктивного завода «Эра-98» (УЗВ — установки замкнутого водоснабжения, г. Тюмень). Возраст рыб составлял 2–4 года. Объем исследованных выборок представлен в табл. 1.

Для генетического анализа ткань грудных плавников стерляди отбирали прижизненно, индивидуальные пробы фиксировали в 96%-ном этаноле и хранили при температуре 0 °С. Для выделения ДНК из плавниковой ткани (навеска 100 мг) стерляди *Acipenser ruthenus*, приготовления растворов и буферных смесей использовалась стандартная методика [11–13]. Концентрацию ДНК определяли на спектрофотометре SmartSpec Plus (фирма Bio-Rad, USA). Для проведения ПЦР концентрацию выравняли до 10 нг/мкл.

Таблица 1. Объем исследованных выборок *Acipenser ruthenus***Table 1.** Size of the investigated sample sets of *Acipenser ruthenus*

Обозначение Designation	Объект Target	Место сбора Sampling location	Количество проб, шт. Number of samples, pcs.
Выборка 1 Sample Set 1	Стерлядь из р. Иртыш Sterlet from the Irtysh River	р. Иртыш, Уватский район Irtysh River, Uvatsky District	50
Выборка 2 Sample Set 2	Ремонтно-маточное стадо стерляди рыбозаводного завода «Эра-98» Sterlet broodstock of the fish hatchery “Era-98” (“Epoch-98”)	Рыбозаводный завод «Эра-98» (УЗВ), Тюменский район Fish hatchery “Era-98” (“Epoch-98”, RAS), Tyumensky District	50

Молекулярно-генетическое исследование стерляди из р. Иртыш и рыбозаводного завода «Эра-98» было проведено с применением ISSR-PCR по модифицированной методике [11, 13].

Аmplification проводили в термоциклере T100 Thermal Cycler (Bio-Rad, Singapore) с тремя ISSR-праймерами для *A. ruthenus*, ранее изученными и выделенными как эффективные на популяциях стерляди из р. Кама и р. Сухона [11].

Продукты амплификации разделяли методом электрофореза в 1,7%-ном агарозном геле в $1 \times TBE$ буфере, окрашивали бромистым этидием. Для определения длин амплифицированных участков использовался маркер молекулярной массы (100 bp+ 1,5+3Kb DNA Ladder, ООО «СибЭнзим-М»). Для фотографирования электрофореграмм использовали систему гель-документации VersaDoc.

Статистическая обработка данных проведена с использованием пакетов прикладных программ POPGENE 1.31 и Statistica (StatSoft, USA).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Ремонтно-маточное стадо стерляди рыбозаводного завода «Эра-98» было сформировано на основе потомства от половозрелых особей, отловленных в р. Иртыш и использованных для искусственного воспроизводства. В дальнейшем для формирования стада был проведен селекционный отбор. В настоящее время ремонтно-маточное стадо включает в себя особей возрастом от 1 до 7 лет. В качестве контрольной группы для проведения сравнительного анализа использовали пробы от рыб из природной популяции стерляди р. Иртыш. Для генетического анализа забирали материал от рыб в возрасте от 2 до 4 лет.

Изучение генетического полиморфизма проводили по микросателлитным маркерам, эффективность которых для осетровых была показана в ряде работ [11, 13–16].

В исследованных выборках с использованием трех эффективных праймеров выявлено по 36 ISSR-PCR маркеров (табл. 2). Из них в выборке 1 24 маркера оказались полиморфными, в выборке 2 — соответственно, 20. Остальные были мономорфными. Согласно данным других авторов, число амплифицированных ISSR-PCR маркеров у стерляди варьирует от 6 до 10 в зависимости от праймера [11]. По каждому из трех праймеров CR-212, CR-215 и X-9 число выявленных ISSR-PCR маркеров оказалось одинаковым у стерляди из р. Иртыш и УЗВ (по 12 маркеров).

Расчет показателя полиморфности выявил различия только по праймеру CR-212: доля полиморфных ISSR-PCR маркеров в выборке из УЗВ составила 0,167, в то время как у стерляди из р. Иртыш — 0,500. Сопоставление по средней (по трем праймерам) полиморфности выявило более низкие показатели в выборке 2 ($P_{95}=0,556$) в сравнении с выборкой 1 ($P_{95}=0,667$) (табл. 2).

Данные наших исследований в целом согласуются с результатами, ранее полученными другими авторами [11] (рис. 1).

Эти данные также свидетельствуют о снижении доли полиморфных маркеров в ремонтно-маточных стадах в сравнении с природными популяциями. При сравнении стерляди из р. Иртыш и ремонтно-маточного стада завода «Эра-98» по праймеру CR-212 отмечено уменьшение числа полиморфных локусов с 6 (0,500) (выборка 1) до 2 (0,167) (выборка 2); по осталь-

Таблица 2. Характеристика ISSR-PCR маркеров в исследованных группах**Table 2.** Characterization of ISSR-PCR markers in the investigated groups

ISSR-праймер ISSR primer	Нуклеотидная последовательность (5'-3') Nucleotide sequence (5'-3')	Число полиморфных ISSR-PCR маркеров Number of polymorphic ISSR-PCR markers			
		Выборка 1 Sample Set 1		Выборка 2 Sample Set 2	
CR-212	(CT) ₈ TG	12	6 (0,500)	12	2 (0,167)
CR-215	(CA) ₆ GT	12	9 (0,750)	12	9 (0,750)
X-9	(ACC) ₆ G	12	9 (0,750)	12	9 (0,750)
	Всего ISSR-PCR маркеров Total ISSR-PCR markers	36	24 (0,667±0,067)	36	20 (0,556±0,194)

Примечание: По каждому праймеру выявлено по 12 ISSR-PCR маркеров; в скобках указаны частоты (доля полиморфных маркеров от общего числа выявленных по данному праймеру). В последней строке в скобках указана средняя по 3 праймерам частота с ошибкой

Note: 12 ISSR-PCR markers have been identified for each primer; in the brackets, the frequencies (share of polymorphic markers out of the total number of those identified for a given primer) are presented. In the last line, the average frequency for 3 primers with the standard error is given in the brackets

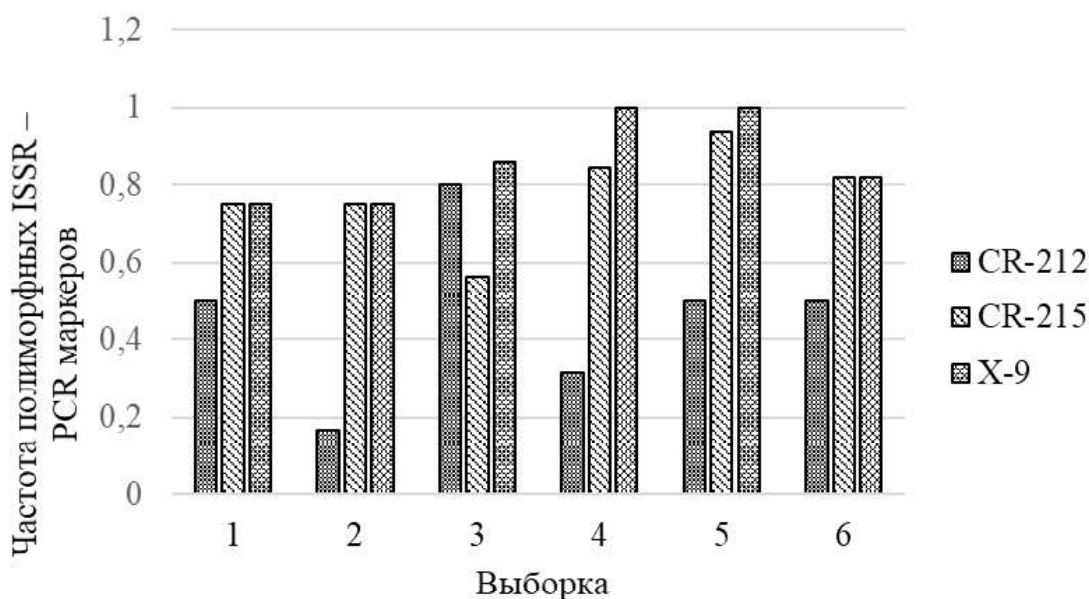


Рис. 1. Частота полиморфных ISSR-PCR маркеров в разных выборках стерляди из естественных популяций и ремонтно-маточных стад: 1 — из р. Иртыш (Уватский район Тюменской обл.); 2 — ремонтно-маточное стадо завода «Эра-98» (г. Тюмень); 3 — из р. Кама (Пермский край); 4 — из р. Сухона (Вологодская обл.); 5 — ремонтно-маточное стадо Саратовского отделения ФГБНУ «ГосНИОРХ» (Саратовская обл.); 6 — ремонтно-маточное стадо рыбноводного хозяйства ООО «Тополь» (Пермский край). 1, 2 — собственные данные; 3–6 — данные А.Р. Пелеевой, Л.В. Комаровой и др. [11]. CR-212, CR-215, X-9 — ISSR-праймеры

Fig. 1. Frequency of polymorphic ISSR-PCR markers in different sample sets of the sterlet from natural populations and broodstocks: 1 — from the Irtysh River (Uvatsky District, Tyumen Region); 2 — broodstock of the hatchery “Era-98” (“Epoch-98”) (Tyumen); 3 — from the Kama River (Perm Territory); 4 — from the Sukhona River (Vologda Region); 5 — broodstock of the Saratov Branch of the FSBSI “Berg State Research Institute on Lake and River Fisheries” (Saratov Region); 6 — broodstock of the fish farm LLC “Topol” (“Poplar”) (Perm Territory). 1, 2 — authors’ data; 3–6 — data collected by A.R. Peleeva, L.V. Komarova et al. [11]. CR-212, CR-215, and X-9 are ISSR primers

ным праймерам различия не обнаружены (табл. 2, рис. 1). Согласно данным А.Р. Пелеевой и др. [11], различие по числу полиморфных маркеров по трем праймерам не носит закономерного характера: полиморфность по праймеру CR-212 в ремонтно-маточном стаде Саратовского отделения ФГБНУ «ГосНИОРХ» (Саратовская обл.) и ремонтно-маточном стаде рыбководного хозяйства ООО «Тополь» (Пермский край) меньше в сравнении с популяцией стерляди из р. Кама. По праймеру CR-215 показатели полиморфности больше в ремонтно-маточных стадах в сравнении с природными популяциями. Сравнение по трем изученным праймерам природных популяций (группа 1 — из р. Иртыш; группа 3 — из р. Кама; группа 4 — из р. Сухона) выявило различия между ними по уровню полиморфности. Более высокие показатели отмечены у стерляди из р. Кама и р. Сухона в сравнении со стерлядью из р. Иртыш (рис. 1).

Анализ генетической структуры по показателям ожидаемой гетерозиготности представлен в табл. 3.

Показатель гетерозиготности в природной популяции из р. Иртыш в 1,38 раз выше, чем в ремонтно-маточном стаде стерляди завода «Эра-98». Отмечено также снижение показателей n_a — абсолютного числа аллелей на локус (в 1,05 раз) и n_e — эффективного числа аллелей на локус (в 1,13 раз) при искусственном разведении стерляди.

Сопоставление с данными других авторов по показателям, характеризующим генетическое

разнообразие, подтвердило ранее выявленное уменьшение показателей генетической изменчивости в ремонтно-маточных стадах стерляди [13] и других видов рыб [17] в сравнении с природными популяциями. В наших исследованиях выявленные различия между стерлядью из природной популяции р. Иртыш и стерлядью ремонтно-маточного стада завода «Эра-98» по уровню гетерозиготности, числу активных и эффективных аллелей на локус были более существенными в сравнении с данными, полученными другими авторами [11] при сравнении стерляди из р. Кама и р. Сухона и ремонтно-маточных стад рыбководных хозяйств Саратовского отделения ФГБНУ «ГосНИОРХ» и ООО «Тополь» (Пермский край) (рис. 2).

Сравнение показателей генетического разнообразия стерляди из природной популяции р. Иртыш и ремонтно-маточного стада завода «Эра-98» по критерию Фишера не выявило достоверных различий между исследованными группами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью изучения изменения генетического полиморфизма при искусственном воспроизводстве ценных видов рыб является сохранение генетического разнообразия как основы устойчивого развития популяций [10, 11, 13, 17, 18]. Проведенные нами исследования обнаружили более высокие показатели полиморфности в выборке 1 (р. Иртыш) в сравнении с выборкой 2 (УЗВ) по праймерам X-9 и CR-212, однако различия не носили статисти-

Таблица 3. Показатели генетического разнообразия в популяции стерляди из р. Иртыш и в ремонтно-маточном стаде завода «Эра-98»

Table 3. Indicators of genetic diversity in the sterlet population from the Irtysh River and in the broodstock of the hatchery “Era-98” (“Epoch-98”)

Выборка Sample set	Показатели генетического разнообразия Indicators of genetic diversity		
	He	n_a	n_e
Популяция из р. Иртыш (выборка 1) Population from the Irtysh River (Sample Set 1)	0,261 (0,030)	1,667 (0,470)	1,467 (0,312)
Ремонтно-маточное стадо (завод «Эра-98») (выборка 2) Broodstock (hatchery “Era-98” (“Epoch-98”)) (Sample Set 2)	0,189 (0,028)	1,583 (0,389)	1,301 (0,290)

Примечание: В скобках приведены стандартные отклонения. He — гетерозиготность; n_a — абсолютное число аллелей на локус; n_e — эффективное число аллелей на локус

Note: Standard deviations are shown in the brackets. He is heterozygosity; n_a is the number of active alleles per locus; n_e is the number of effective alleles per locus

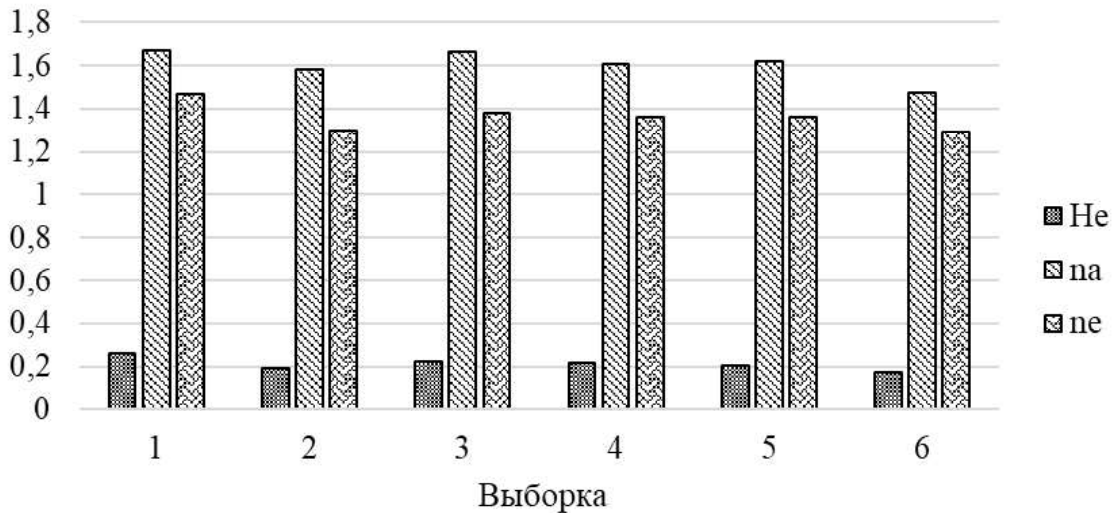


Рис. 2. Показатели генетического разнообразия в разных выборках стерляди из естественных популяций и ремонтно-маточных стад: 1 — из р. Иртыш (Уватский район Тюменской обл.); 2 — ремонтно-маточное стадо завода «Эра-98» (г. Тюмень); 3 — из р. Кама (Пермский край); 4 — из р. Сухона (Вологодская обл.); 5 — ремонтно-маточное стадо Саратовского отделения ФГБНУ «ГосНИОРХ» (Саратовская обл.); 6 — ремонтно-маточное стадо рыбноводного хозяйства ООО «Тополь» (Пермский край). 1, 2 — собственные данные; 3–6 — данные А.Р. Пелеевой, Л.В. Комаровой и др. [11]. H_e — гетерозиготность; n_a — число активных аллелей на локус; n_e — число эффективных аллелей на локус

Fig. 2. Indicators of genetic diversity in different sample sets of the sterlet from natural populations and broodstock: 1 — from the Irtysh River (Uvatsky District, Tyumen Region); 2 — broodstock of the hatchery “Era-98” (“Epoch-98”) (Tyumen); 3 — from the Kama River (Perm Territory); 4 — from the Sukhona River (Vologda Region); 5 — broodstock of the Saratov Branch of the FSBSI “Berg State Research Institute on Lake and River Fisheries” (Saratov Region); 6 — broodstock of the fish farm LLC “Topol” (“Poplar”) (Perm Territory). 1, 2 — authors’ data; 3–6 — data collected by A.R. Peleeva, L.V. Komarova et al. [11]. H_e is heterozygosity; n_a is the number of active alleles per locus; n_e is the number of effective alleles per locus

чески достоверного характера. При сопоставлении собственных данных с данными других авторов по показателям полиморфности были обнаружены различия между популяциями стерляди из р. Иртыш и р. Кама. Отмечена большая генетическая изменчивость стерляди из р. Иртыш в сравнении с ремонтно-маточным стадом стерляди из УЗВ по уровню гетерозиготности и числу активных и эффективных аллелей, что, очевидно, является следствием действия генетического дрейфа. Для поддержания генетического разнообразия при искусственном воспроизводстве рыб оценка генетического полиморфизма ремонтно-маточных стад должна проводиться на постоянной основе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильева А.М. К вопросу о современном состоянии осетроводства в России // Системный анализ и моделирование процессов управления качеством в инновационном развитии агропромышленного комплекса : матер. Междунар. науч.-практ. конф. (г. Воронеж, 8–9 апреля 2015 г.). Воронеж: Изд-во Воронежского государственного университета инженерных технологий, 2015. С. 321–326.
2. Hauser L., Hemingway K.L., Wedderburn J., Lawrence A.J. Molecular/cellular processes and population genetics of a species: molecular and population response // Effects of pollution on fish: molecular effects and population responses / A.J. Lawrence, K.L. Hemingway (Eds.). New York: Blackwell Science Ltd., 2003. Pp. 256–288. doi: 10.1002/9780470999691.ch7.
3. Большаков В.Н., Моисеенко Т.И. Антропогенная эволюция животных: факты и их интерпретация // Экология. 2009. № 5. С. 323–332.
4. Cuvin-Aralar M.L., Aralar E.V. Resistance to a heavy-metal mixture in *Oreochromis niloticus* progenies from parents chronically exposed to the same metals // Chemosphere. 1995. Vol. 30. Pp. 953–963. doi: 10.1016/0045-6535(94)00001-B.
5. Козлова Н.В. Влияние некоторых токсикантов на организм сеголетков стерляди // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2007. № 5 (40). С. 252–257.

6. Бахарева А.А., Грозеску Ю.Н. Особенности адаптации стерляди из естественной популяции к искусственным условиям // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2009. № 2. С. 80–83.
7. Пашко М.М., Тарасюк С.І., Третяк О.М., Борисенко Н.О., Белікова О.Ю. До питання генетичної структури племінних груп стерляді (*Acipenser ruthenus* Linnaeus) в індустріальній аквакультури // Рибогосподарська наука України. 2019. № 3 (49). С. 48–58. doi: 10.15407/fsu2019.03.048.
8. Абросимов С.С. Стресс-факторы и их влияние на физиолого-биохимический статус молоди осетровых // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2008. № 12. С. 93–98.
9. Пономарева Е.Н., Сорокина В.А., Григорьев В.А. Результаты разработки методов формирования маточных стад стерляди в условиях замкнутого водообеспечения // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2010. № 1. С. 86–91.
10. Алтухов Ю.П., Салменкова Е.А., Курбатова Е.Ю., Победоносцева Е.Ю., Политов Д.В., Евсиков А.Н., Жукова О.В., Захаров И.А., Моисеева И.Г., Столповский Ю.А., Пухальский В.А., Поморцев А.А., Упельник В.П., Калабушкин Б.А. Динамика популяционных генофондов при антропогенных воздействиях / Под ред. Ю.П. Алтухова. М.: Наука, 2004. 619 с.
11. Пелеева А.Р., Комарова Л.В., Васильева Ю.С. Анализ генетического разнообразия естественных популяций и ремонтно-маточных стад стерляди на основании полиморфизма межмикросателлитных маркеров // Бюллетень науки и практики. 2018. Т. 4, № 4. С. 20–29. doi: 10.5281/zenodo.1218207.
12. Rogers S.O., Bendich A.J. Extraction of DNA from milligram amounts of fresh, herbarium and mummified plant tissues // Plant Molecular Biology. 1985. No. 5 (2). Pp. 69–76. doi: 10.1007/BF00020088.
13. Комарова Л.В., Пелеева А.Р., Костицына Н.В., Мельникова А.Г., Боронникова С.В. Полиморфизм ДНК, генетическая оригинальность и идентификация популяций и ремонтно-маточных стад стерляди (*Acipenser ruthenus*) // Вестник Пермского университета. Серия: Биология. 2021. Вып. 1. С. 53–60. doi: 10.17072/1994-9952-2021-1-53-60.
14. Барминцева А.Е, Мюге Н.С. Использование микросателлитных локусов для установления видовой принадлежности осетровых (*Acipenseridae*) и выявления особей гибридного происхождения // Генетика. 2013. Т. 49, № 9. С. 1093–1105. doi: 10.7868/S0016675813090038.
15. Комарова Л.В., Костицына Н.В., Боронникова С.В., Мельникова А.Г. Генетическая структура естественных популяций стерляди (*Acipenser ruthenus* L.) в бассейнах рек Кама и Обь на основании полиморфизма ISSR маркеров // Сельскохозяйственная биология. 2018. Т. 53, № 2. С. 348–354. doi: 10.15389/agrobiology.2018.2.348rus.
16. Козлова Н.В., Макарова Е.Г., Базелюк Н.Н. Генетические исследования молоди стерляди (*Acipenser ruthenus* L., 1758) и ее гибридов в нижней нерестовой зоне реки Волга // Рыбное хозяйство. 2018. № 1. С. 54–58.
17. Жигилева О.Н., Селюков А.Г., Мельничук А.Д., Матасова Д.А. Мониторинг и сохранение генетического полиморфизма сиговых рыб при искусственном воспроизводстве // Перспективные технологии аквакультуры : матер. Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (г. Москва, 18–19 мая 2021 г.). М.: Перо, 2021. С. 51–57.
18. Selyukov A., Zhigileva O., Shuman L., Selyukova S., Bogdanova V. Cytomorphological and genetic indicators in the early ontogenesis of the wild and farmed broad whitefish (*Coregonus nasus*) // Aquaculture and Fisheries. 2022. Vol. 7, no. 2. Pp. 211–222. doi: 10.1016/j.aaf.2021.12.012.

REFERENCES

1. Vasilyeva A.M. K voprosu o sovremennom sostoyanii osetrovodstva v Rossii [On the issue of the current status of sturgeon culture in Russia]. In: *Sistemnyy analiz i modelirovanie protsessov upravleniya kachestvom v innovatsionnom razvitii agropromyshlennogo kompleksa : materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (g. Voronezh, 8–9 aprelya 2015 g.)* [System analysis and modeling of quality management processes in the innovative development of the agro-industrial complex. Proceedings of the International Research and Practice Conference (Voronezh, 8–9 April, 2015)]. Voronezh: Voronezhskiy gosudarstvennyy universitet inzhenernykh tekhnologiy [Voronezh State University of Engineering Technologies] Publ., 2015, pp. 321–326. (In Russian).
2. Hauser L., Hemingway K.L., Wedderbern J., Lawrence A.J. Molecular/cellular processes and population genetics of a species: molecular and population response. In: *Effects of pollution on fish: molecular effects and population responses*. A.J. Lawrence, K.L. Hemingway (Eds.). New York: Blackwell Science Ltd., 2003, pp. 256–288. doi: 10.1002/9780470999691.ch7.
3. Bolshakov V.N., Moiseenko T.I. Anthropogenic evolution of animals: facts and their interpretation. *Russian Journal of Ecology*, 2009, vol. 40, no. 5, pp. 305–313.
4. Cuvin-Aralar M.L., Aralar E.V. Resistance to a heavy-metal mixture in *Oreochromis niloticus* progenies from parents chronically exposed to the same metals. *Chemosphere*, 1995, vol. 30, pp. 953–963. doi: 10.1016/0045-6535(94)00001-B.
5. Kozlova N.V. Vliyanie nekotorykh toksikantov na organizm segoletkov sterlyadi [The influence of some

- contaminants on one-year old organism of sterlet]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Rybnoe khozyaystvo [Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry]*, 2007, no. 5 (40), pp. 252–257. (In Russian).
6. Bakhareva A.A., Grozesku Yu.N. Osobennosti adaptatsii sterlyadi iz estestvennoy populyatsii k iskusstvennym usloviyam [Peculiarities of sterlet adaptation from natural population to artificial conditions]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Rybnoe khozyaystvo [Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry]*, 2009, no. 2, pp. 80–83. (In Russian).
 7. Pashko M.M., Tarasyuk S.I., Tretyak O.M., Borisenko N.O., Belikova O.Yu. Do pytannya genetychnoyi struktury plemnykh grup sterlyadi (*Acipenser ruthenus* Linnaeus) v industrial'niy akvakulturi [On the genetic structure of brood groups of the sterlet (*Acipenser ruthenus* Linnaeus) in industrial aquaculture]. *Rybogospodars'ka nauka Ukrainy [Fisheries Science of Ukraine]*, 2019, no. 3 (49), pp. 48–58. doi: 10.15407/fsu2019.03.048. (In Ukrainian).
 8. Abrosimov S.S. Stress-factory i ikh vliyanie na fiziologo-biokhimicheskiy status molodi osetrovyykh [Stress-factors and their influence on physiological and biochemical status of young sturgeon]. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Proceedings of the Kuban State Agrarian University]*, 2008, no. 12, pp. 93–98. (In Russian).
 9. Ponomareva E.N., Sorokina V.A., Grigoryev V.A. Rezul'taty razrabotki metodov formirovaniya matochnykh stad sterlyadi v usloviyakh zamknutogo vodoobespecheniya [Results of methods development for forming spawning starlet schools in closed water circulation]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Rybnoe khozyaystvo [Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry]*, 2010, no. 1, pp. 86–91. (In Russian).
 10. Altukhov Yu.P., Salmenkova E.A., Kurbatova E.Yu., Pobedonostseva E.Yu., Politov D.V., Evsikov A.N., Zhukova O.V., Zakharov I.A., Moiseeva I.G., Stolpovskiy Yu.A., Pukhalskiy V.A., Pomortsev A.A., Upelnik V.P., Kalabushkin B.A. Dinamika populyatsionnykh genofondov pri antropogennykh vozdeystviyakh [Dynamics of population gene pools under anthropogenic influences]. Yu.P. Altukhov (Ed.). Moscow: Nauka [Science], 2004, 619 p. (In Russian).
 11. Peleeva A.R., Komarova L.V., Vasilyeva Yu.S. Analiz geneticheskogo raznoobraziya estestvennykh populyatsiy i remontno-matochnykh stad sterlyadi na osnovanii polimorfizma mezhmikrosatelitnykh markerov [Genetic diversity analysis of natural populations and broodstocks of sterlet based on polymorphic ISSR-markers]. *Byulleten' nauki i praktiki [Bulletin of Science and Practice]*, 2018, vol. 4, no. 4, pp. 20–29. doi: 10.5281/zenodo.1218207. (In Russian).
 12. Rogers S.O., Bendich A.J. Extraction of DNA from milligram amounts of fresh, herbarium and mummified plant tissues. *Plant Molecular Biology*, 1985, no. 5 (2), pp. 69–76. doi: 10.1007/BF00020088.
 13. Komarova L.V., Peleeva A.R., Kostitsyna N.V., Melnikova A.G., Boronnikova S.V. Polimorfizm DNK, geneticheskaya original'nost' i identifikatsiya populyatsiy i remontno-matochnykh stad sterlyadi (*Acipenser ruthenus*) [DNA polymorphism, genetic originality and identification of sterlet populations and replacement broodstock (*Acipenser ruthenus*)]. *Vestnik Permskogo universiteta. Seriya: Biologiya [Bulletin of Perm University. Biology]*, 2021, issue 1, pp. 53–60. doi: 10.17072/1994-9952-2021-1-53-60. (In Russian).
 14. Barmintseva A.E, Mugue N.S. The use of microsatellite loci for identification of sturgeon species (*Acipenseridae*) and hybrid forms. *Russian Journal of Genetics*, 2013, vol. 49, no. 9, pp. 950–961. doi: 10.7868/S0016675813090038.
 15. Komarova L.V., Kostitsyna N.V., Boronnikova S.V., Melnikova A.G. Genetic structure of natural populations of sterlet (*Acipenser ruthenus* L.) in the catchment basins of the Kama and Ob Rivers based on polymorphic ISSR markers. *Agricultural Biology*, 2018, vol. 53, no. 2, pp. 337–347. doi: 10.15389/agrobiology.2018.2.348eng.
 16. Kozlova N.V., Makarova E.G., Bazelyuk N.N. Geneticheskie issledovaniya molodi sterlyadi (*Acipenser ruthenus* L., 1758) i ee gibridov v nizhney nerestovoy zone reki Volga [Genetic research of young sterlet sturgeon (*Acipenser ruthenus* L., 1758) and its hybrids in the lower spawning zones of the Volga River]. *Rybnoe khozyaystvo [Fisheries]*, 2018, no. 1, pp. 54–58. (In Russian).
 17. Zhigileva O.N., Selyukov A.G., Melnichuk A.D., Matasova D.A. Monitoring i sokhranenie geneticheskogo polimorfizma sigovykh ryb pri iskusstvennom proizvodstve [Monitoring and preservation of genetic polymorphism of sig fish under artificial reproduction]. In: *Perspektivnye tekhnologii akvakultury : materyaly Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem (g. Moskva, 18–19 maya 2021 g.) [Promising technologies in aquaculture. Proceedings of the All-Russian Research and Practice Conference with international participation (Moscow, 18–19 May, 2021)]*. Moscow: Pero [Quill], 2021, pp. 51–57. (In Russian).
 18. Selyukov A., Zhigileva O., Shuman L., Selyukova S., Bogdanova V. Cytomorphological and genetic indicators in the early ontogenesis of the wild and farmed broad whitefish (*Coregonus nasus*). *Aquaculture and Fisheries*, 2022, vol. 7, no. 2, pp. 211–222. doi: 10.1016/j.aaf.2021.12.012.

Поступила 19.01.2022

Принята к печати 27.04.2022