

ОБЩАЯ БИОЛОГИЯ

DOI 10.31029/vestdnc93/1

УДК 597.451-11 (282.247.41)

ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ САМОК СЕЛЬДИ-ЧЕРНОСПИНКИ В ПЕРИОД НЕРЕСТОВОЙ МИГРАЦИИ В Р. ВОЛГЕ В 2019–2023 гг.

Н. В. Козлова, ORCID: 0000-0002-2840-9647

О. В. Makeeva, ORCID: 0009-0007-2003-7504

Ф. И. Никитин, ORCID: 0000-0003-4920-5608

Т. В. Войнова ORCID: 0009-0002-5583-059X

Волжско-Каспийский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («КаспНИРХ»), Астрахань, Россия

PHYSIOLOGICAL STATE OF THE FEMALE BLACK-BACKED HERRING DURING SPAWNING MIGRATION IN THE VOLGA RIVER IN THE YEARS 2019–2023

N. V. Kozlova, ORCID: 0000-0002-2840-9647

O. V. Makeeva, ORCID: 0009-0007-2003-7504

F. I. Nikitin, ORCID: 0000-0003-4920-5608

T. V. Voinova, ORCID: 0009-0002-5583-059X

Volga-Caspian branch of "VNIRO" ("CaspNIRKH"), Astrakhan, Russia

Аннотация. В связи с сокращением нерестового запаса сельди-черноспинки (*Alosa kessleri kessleri*) на Нижней Волге, снижением ее естественного воспроизводства вопрос исследования физиологического состояния вида является актуальным. Цель данной работы – изучить физиологическое состояние проходной сельди-черноспинки в период нерестовой миграции в р. Волге. В работе использованы методы ихтиологии, классической гистологии и биохимические методы. Определяли размерно-весовые показатели самок, возраст рыб. Гистологическими методами изучали стадию зрелости гонад самок, нарушения в ооцитах. Исследовали содержание общих липидов и водорастворимого белка в гонадах и мышцах особей. По результатам исследований проходная сельдь-черноспинка характеризовалась возрастной структурой 3,7–4,2 года. У самок сельди отмечены переходные стадии зрелости гонад (III, III–IV, IV и V) и рассеянная резорбция зрелых ооцитов на среднем уровне 11–26%. Зарегистрирована высокая корреляционная зависимость между массой особей и средней долей ооцитов с резорбцией, длиной и средней долей ооцитов с резорбцией ($r = +0,89$ и $r = +0,84$ соответственно). В мышцах и гонадах проходной сельди-черноспинки выявлено снижение общих липидов в период 2019–2023 гг. Динамика содержания водорастворимого белка в тканях имела тенденцию к увеличению за исследуемый период, что объясняется преобладанием младших возрастов в популяции и соответственно процессов белкового роста над жиронакоплением. При сравнении с более ранними исследованиями в современный период 2019–2023 гг. выявлено снижение энергетических биохимических субстратов в мышцах в виде общих липидов и увеличение доли рыб с резорбцией.

Abstract. In connection with the reduction of spawning stock of the black-backed shad (*Alosa kessleri kessleri*) in the Lower Volga River and the decrease in their natural reproduction, the problem of studying the physiological state of the species is topical. The purpose of this work was to study the physiological state of the black-backed herring during spawning migration in the Volga River. The methods of ichthyology, classical histology and biochemistry were used. The size and weight parameters of females, age of each fish had to be determined. Histological methods were used to study the stage of maturity of the female gonads, disorders in the oocytes. The content of the total lipids and water-soluble protein in the gonads and muscles of individuals has been studied. According to the results of the studies, the black-backed shad is characterized by the age structure of 3,7–4,2 years old. Transitional stages of the gonad maturity (III, III–IV, IV and V) and scattered resorption of the mature oocytes at an average level of 11–26% are observed in the female herring. A high correlation dependency was recorded between the mass of individuals and the mean proportion of oocytes with resorption as well as the length and the mean proportion of oocytes with resorption ($r = +0,89$ and $r = +0,84$, respectively). In the muscles and the gonads of the anadromous black-backed shad, a decrease in total lipids was revealed in the period of 2019–2023. The dynamics of water-soluble protein content in tissues tended to increase during the study period, which is explained by the prevalence of younger ages in the population, and, accordingly, by the processes of protein growth over fat accumulation. When comparing with earlier studies, the modern period of 2019–2023 has a decrease in energy biochemical substrates in muscles in the form of total lipids and an increase in the proportion of fish with resorption.

Ключевые слова: проходная сельдь, мышцы, гонады, общие липиды, водорастворимый белок, резорбция, ооциты.

Keywords: black-backed herring, muscles, gonads, total lipids, water-soluble protein, resorption, oocytes.

Введение

Проходная сельдь-черноспинка (*Alosa kessleri kessleri*) – один из основных объектов промышленного рыболовства в дельте р. Волги. Вид по сравнению с другими каспийскими сельдями занимает наибольший ареал, охватывающий Каспийское море и нижнее течение р. Волги [1]. С 2016 г. в структуре нерестовой части популяции проходной сельди регистрируется преобладание младших возрастных групп, сопровождаясь резким сокращением эффективности воспроизводства в 2021 г. На формирование численности сельди-черноспинки большое влияние оказывают факторы как природного, так и антропогенного характера [2]. В условиях сокращения нерестового запаса сельди-черноспинки и снижения естественного воспроизводства важным и актуальным вопросом является исследование физиологического состояния вида.

Цель исследования – изучение физиологического состояния самок проходной сельди-черноспинки в период нерестовой миграции в р. Волге.

Материалы и методы исследований

Исследования проводили в период 2019–2023 гг. Отбор материала осуществляли согласно инструкциям [3] в мае на рыболовных участках Нижней Волги – «Тоня Глубокая», «Тоня Гранная», «Тоня Балчуг» из неводных уловов.

Определяли возраст, массу, длину согласно руководству по изучению рыб [4]. Стадию зрелости гонад (СЗГ) самок, уровень резорбции яичников исследовали стандартными гистологическими методами [5]. Фиксирование на препарате 15 и более ооцитов с резорбцией из 100 просмотренных считалось основанием для отнесения самки к числу особей с нарушениями развития гонад. Окрашивание гистологических срезов тканей производили фуксином с докраской по Маллори. Содержание общих липидов в тканях сельди-черноспинки определяли модифицированным методом с фосфорнованилиновым реактивом по Цольнеру – Киришу [6], концентрацию водорастворимого белка – методом Варбурга и Христиана [7]. При исследовании гонад использовали обозначение стадий зрелости, описанных в работе Л.С. Овен [8]. Статистический анализ осуществляли в MS Excel.

Результаты исследования

Средние показатели длины и массы самок проходной сельди-черноспинки в исследованный период составили 28,6–31,6 см и 0,264–0,315 кг соответственно (рис. 1).

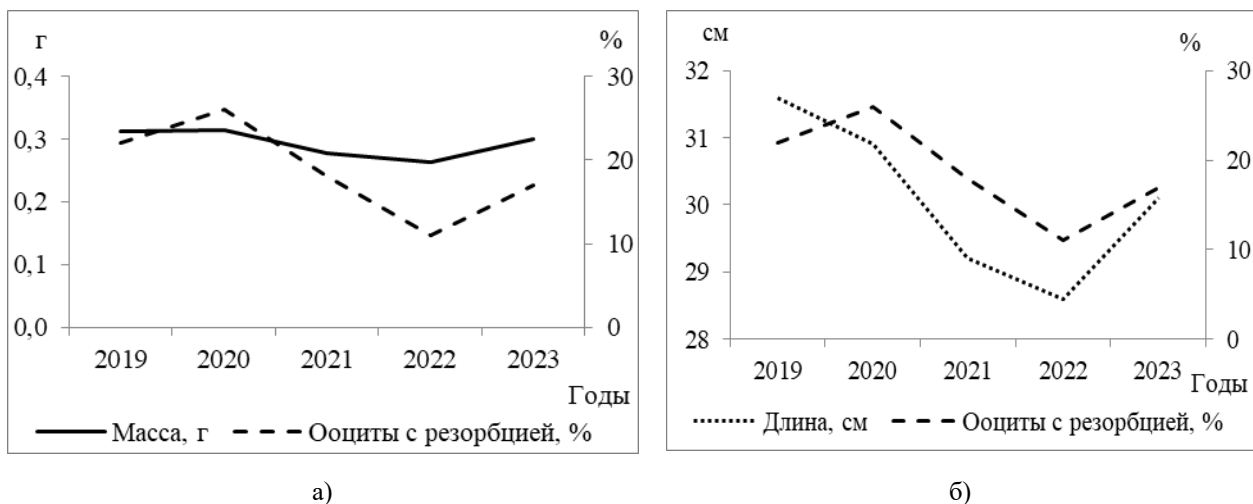


Рис. 1. Масса (а), длина (б) и ооциты с резорбцией проходной сельди-черноспинки

Возраст рыб составил 3,7–4,2 года. Согласно литературным данным [2] в нерестовой части проходной сельди с 1999 г. отмечается резкое уменьшение количества 4-, 5-летних особей, а в 2020–2021 гг. доля 3-, 4-летних рыб находилась на уровне 82,5–84,4% при уменьшении старше-

возрастных особей до 15,6–17,5%. Изменение в качественной структуре производителей сельди представляется весьма необычным и не находит объяснения лишь в ухудшении условий нагула, воспроизводства или перелове, а свидетельствует о глобальном экологическом воздействии на популяцию и возможной гибели прежде всего части рыб, формировавших пополнения.

Мониторинг воспроизводительной системы сельди-черноспинки является одним из важных инструментов оценки физиологического состояния рыб. В ходе гистологического исследования гонад самок сельди-черноспинки, отловленных в период нерестовой миграции в р. Волге с 2019 по 2023 гг., фиксировали следующие стадии зрелости: III, III–IV, IV и V. В выборках преобладали особи с IV СЗГ, которые составляли от 64 до 82% рыб.

За период исследований доля самок с патологическими изменениями в созревающих ооцитах в среднем составила 54–65%. В ходе индивидуального анализа яйцеклеток зафиксировано, что частичной резорбции подвергались от 11 до 26% яйцеклеток (см. таблицу). При этом массовой резорбции ооцитов у рыб не выявлено.

Частота встречаемости проходной сельди-черноспинки с резорбцией

| Годы | Доля самок с резорбцией, % | Доля ооцитов с резорбцией, % |
|------|----------------------------|------------------------------|
| 2019 | 54 | 22 |
| 2020 | 62 | 26 |
| 2021 | 65 | 19 |
| 2022 | 62 | 11 |
| 2023 | 58 | 17 |

Минимальная доля самок с нарушениями ооцитов отмечена в 2019 г. (54%). Максимальное значение резорбирующихся ооцитов выявлено в 2020 г. и составило 26%.

Регистрировали резорбцию яйцеклеток периодов вителлогенеза (III СЗГ) и созревания (IV СЗГ). Начальный этап резорбции характеризовался утолщением клеточной стенки, отслоением желточной оболочки, неоднородностью цитоплазмы, а также распадом ядра (рис. 2а). В некоторых случаях в цитоплазме ооцита обнаруживались фолликулярные эпителиальные клетки (рис. 2б). Помимо этого, локально была выявлена дегенерация ооцитов и патологии ядерного аппарата клеток.

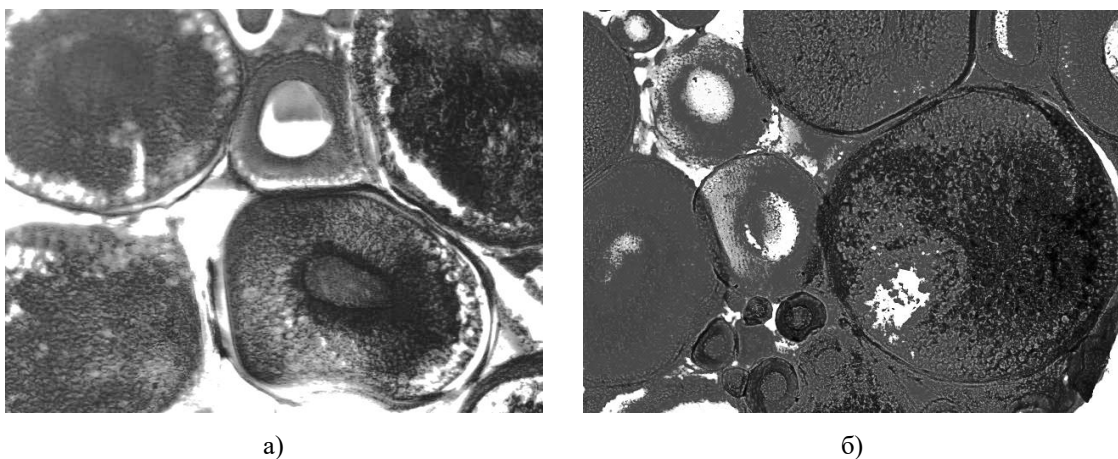


Рис. 2. Нарушения в строении ооцитов проходной сельди-черноспинки: III СЗГ отслоение клеточной оболочки (а); IV СЗГ неоднородность цитоплазмы (б). Увеличение 10×10

В более ранних исследованиях [9] показано, что в период нерестовой миграции в популяции проходной сельди ежегодно встречались самки с резорбцией вителлогенных ооцитов, главным образом старшей генерации. В период 2013–2017 гг. доля таких особей из р. Волги изменялась в среднем от 21% (в 2017 г.) до 37% (в 2014 г.). При этом в период 2019–2023 гг. массовой резорб-

ции ооцитов у сельди отмечено не было. У порционно нерестующих рыб, если массовой резорбцией охвачена икра первой порции, то нерест происходит, но уже за счет второй порции икры и потери потомства будут составлять в пределах 50–60% [10]. В яичниках проходной сельди-черноспинки могут одновременно проходить два процесса: генерация и дегенерация, т.е. тормозящее влияние на процесс вителлогенеза отсутствует [11]. В результате исследований 2019–2023 гг. выявлена высокая корреляционная зависимость между массой особей и средней долей ооцитов с резорбцией, длиной и средней долей ооцитов с резорбцией ($r = +0,89$ и $r = +0,84$ соответственно). Это свидетельствует о повышении нарушений в гонадах сельди с увеличением размерно-линейных показателей, и соответственно с возрастом организма.

Физиолого-биохимические показатели являются тонкими и важными индикаторами состояния рыб [12–13]. Уровень липидных запасов в организме может служить индикатором благополучия стада и его воспроизводительных свойств.

В мышцах у сельди-черноспинки отмечена схожая картина в содержании общих липидов в мышцах и гонадах с минимальными значениями в 2023 г. (рис. 3). По результатам статистического анализа выявлено, что на протяжении 2019–2022 гг. концентрации общих липидов в мышечной ткани не различались ($p > 0,05$) и составляли 4,44–5,16%. В 2023 г. отмечено снижение энергетического резерва до 4,04% ($p < 0,05$) относительно 2019 г.

В гонадах за исследуемый период среднее содержание липидов варьировало на уровне 4,10–6,00%. Концентрации общих липидов в гонадах были стабильные ($p > 0,05$) за период 2019–2021 гг., при средних значениях 5,00–6,00%. Достоверное снижение субстрата зарегистрировано в 2022 г. ($p < 0,05$) до 4,60% и в 2023 г. ($p < 0,05$) до 4,10% относительно 2019 г. (рис. 3).

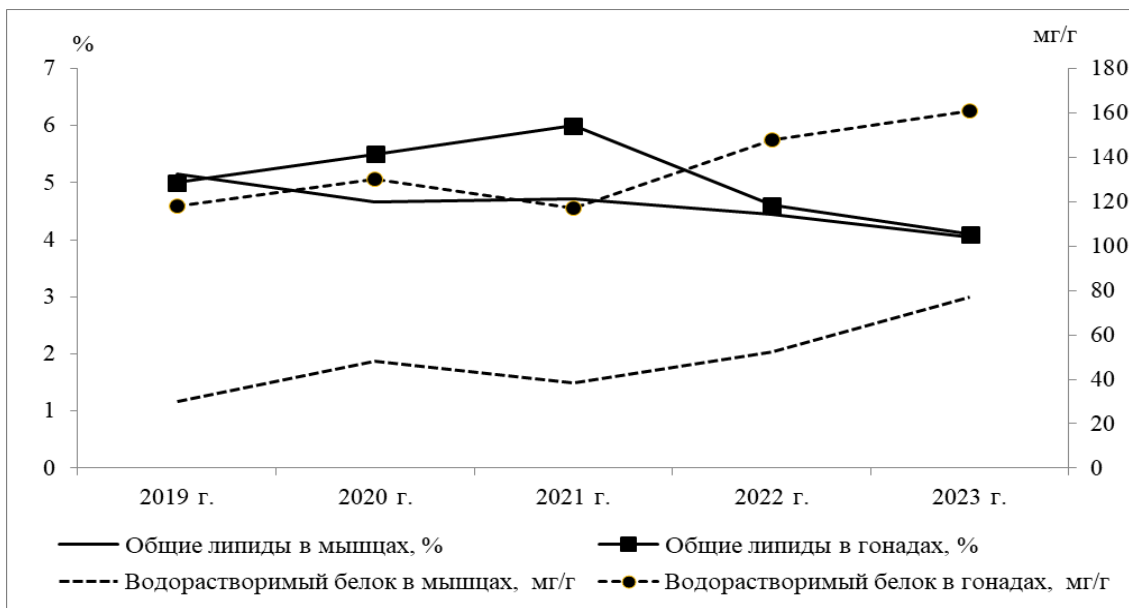


Рис. 3. Содержание общих липидов и водорастворимого белка в тканях проходной сельди-черноспинки

Водорастворимый белок характеризует высокий уровень функциональной активности и жизнедеятельности организма, его можно рассматривать как показатель нормального течения пластического обмена, а в некоторых случаях как альтернативный источник энергии [14]. Концентрации водорастворимого белка в мышечной ткани проходной сельди в исследуемые периоды были в пределах 30,08–76,97 мг/г (рис. 3). Динамика содержания водорастворимого белка имела тенденцию к увеличению за исследуемый период, статистическое достоверное ($p < 0,05$) увеличение зафиксировано в 2023 г. по сравнению с 2019, 2020, 2022 гг.

В гонадах сельди отмечены концентрации водорастворимого белка в диапазоне 118,00–161,00 мг/г (рис. 3). Статистически значимое увеличение зафиксировано в 2023 г. относительно 2019 г. ($p < 0,05$) и относительно 2021 г. ($p < 0,05$) соответственно.

Отмечена отрицательная корреляционная зависимость между содержанием общих липидов и водорастворимого белка в мышцах ($r = -0,95$), между содержанием общих липидов и водорастворимого белка в гонадах ($r = -0,90$), что характеризует механизмы синтеза белка из резервов липидов организма. Зарегистрирована положительная корреляция между водорастворимым белком в мышцах и гонадах самок ($r = 0,94$), что свидетельствует об однонаправленных механизмах накопления белка в тканях рыб.

У рыб, впервые созревших, энергетического запаса значительно меньше, чем у взрослых, идущих на нерест второй, третий раз. В мышечной ткани и гонадах сельди-черноспинки отмечена тенденция снижения общих липидов от 2019 к 2023 гг. В исследуемый период закономерное достоверное снижение общих липидов в тканях рыб на фоне увеличения водорастворимого белка объясняется преобладанием младших возрастов, и соответственно процессов белкового роста над жиросинтезом [13].

По имеющимся литературным данным [15], в соответствующий период 2015 г. концентрация липидов в мышцах проходной сельди-черноспинки составляла в среднем 4,49–8,73% при длине 28–31 см, и авторы делают заключение о низких корреляционных зависимостях между значениями общих липидов в мышцах и размерно-весовыми показателями рыб. В период 2019–2023 гг. при соответствующих показателях массы и длины выявлено снижение резервных энергетических веществ в виде общих липидов.

Заключение

Исследования физиологического состояния самок проходной сельди-черноспинки возрастной структурой 3,7–4,2 года в период нерестовой миграции в р. Волге в 2019–2023 гг. показали, что гонады были на переходных стадиях зрелости (III, III–IV, IV, V), преобладали особи с IV СЗГ, которые составляли от 64 до 82% рыб. Рассеянную резорбцию созревших ооцитов регистрировали на уровне 11–26%, что было в прямой зависимости от массы и длины рыб. Выявлено снижение энергетических биохимических субстратов в мышцах в виде общих липидов и увеличение доли рыб с резорбцией относительно более ранних исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пятикопова О.В., Войнова Т.В., Распопов В.М. Оценка промыслового возврата сельди-черноспинки *Alosa kessleri kessleri* в реке Волга в 2010–2014 гг. // Вопросы рыболовства. 2017. Т. 18, № 2. С. 259–264.
2. Войнова Т.В., Барабанов В.В., Чаплыгин В.А. О причинах снижения нерестового запаса сельди-черноспинки на нижней Волге // Вопросы рыболовства. 2022. Т. 23, № 2. С. 189–200.
3. Инструкции по сбору и первичной обработке материалов водных биоресурсов Каспийского бассейна и среды их обитания / под ред. С.Г. Судакова. Астрахань: КаспНИРХ, 2011. С. 5–104.
4. Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб. М.: Пищ. пром-сть, 1966. 306 с.
5. Гистология для ихтиологов. Опыт и советы / Микодина Е.В. [и др.]. М.: ВНИРО, 2009. 112 с.
6. Кондрахин И.П. Методы ветеринарной клинической лабораторной диагностики: справочник. М.: КолосС, 2004. 520 с.
7. Детлаф Т.А., Бродский В.Я., Гаузе Г.Г. Методы биологии развития. Экспериментально-эмбриологические, молекулярно-биологические и цитологические. М.: Изд-во Наука, 1974. 619 с.
8. Овен Л.С. Особенности оогенеза и характер нереста морских рыб. М.: Наукова думка, 1976. 132 с.
9. Дубовская А.В. Гистоморфологический анализ состояния репродуктивной системы сельди-черноспинки в период 2013–2017 гг. // Современная наука: перспективы, достижения и инновации : материалы III Международной научно-практической и конференции. Астрахань, 2020. С. 27–30.

10. Бархалов Р.М. Особенности развития и функционирования репродуктивной системы рыб (на примере семейства Сургинidae) в изменившихся экологических условиях водоемов Северо-Западного Каспия : автореф. ... канд. биол. наук. Махачкала, 2005. 26 с.
11. Гаджимурадов Г.Ш, Шихшабеков М.М. Функциональные основы размножения рыб Аграханского залива // Проблемы развития АПК региона. 2012. № 2 (10). С. 52–57.
12. Шатуновский М.И. Экологические закономерности обмена веществ морских рыб. М.: Наука, 1980. 238 с.
13. Шульман Г.Е. Физиолого-биохимические особенности годовых циклов рыб. М.: Пищ. пром-сть, 1972. 368 с.
14. Шульман Г.Е. Использование белка в энергетическом обмене гидробионтов // Успехи современной биологии. 1993. Т. 113, вып. 5. С. 576–586.
15. Мухамедова Р.М., Базелюк Н.Н., Аксенов В.П. Содержание общих липидов в мышцах разновозрастных групп самок сельди-черноспинки во время нерестовой миграции 2015 г. // Вестник Астраханского государственного морского технического университета. Рыбное хозяйство. 2016. № 3. С. 122–128.

Поступила в редакцию 08.04.2024 г.

Принята к печати 28.06.2024 г.

Козлова Наталья Викторовна, кандидат биологических наук, заведующий лабораторией молекулярной генетики и физиологии, Волжско-Каспийский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («КаспНИРХ»); 414056, г. Астрахань, ул. Савушкина, 1; e-mail: kozlovanv@kaspnirh.vniro.ru

Natalya V. Kozlova, Candidate of Biology, head of Laboratory of Molecular Genetics and Physiology, Volga-Caspian branch of VNIRO (KaspNIRX); 1, Savushkin st., Astrakhan, 414056; e-mail: kozlovanv@kaspnirh.vniro.ru

Макеева Ольга Владимировна, ведущий специалист лаборатории молекулярной генетики и физиологии, Волжско-Каспийский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («КаспНИРХ»); 414056, г. Астрахань, ул. Савушкина, 1; e-mail: makeevaov@kaspnirh.vniro.ru

Olga V. Makeeva, leading specialist of the Laboratory of Molecular Genetics and Physiology, Volga-Caspian branch of VNIRO (KaspNIRX); 1, Savushkin st., Astrakhan, 414056; e-mail: makeevaov@kaspnirh.vniro.ru

Никитин Филипп Игоревич, старший специалист лаборатории молекулярной генетики и физиологии, Волжско-Каспийский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («КаспНИРХ»); 414056, г. Астрахань, ул. Савушкина, 1; e-mail: nikitinfi@kaspnirh.vniro.ru

Filip I. Nikitin, senior specialist of the Laboratory of Molecular Genetics and Physiology, Volga-Caspian branch of VNIRO (KaspNIRH); 1, Savushkin st., Astrakhan, 414056; e-mail: nikitinphilip@mail.ru

Войнова Татьяна Викторовна, главный специалист лаборатории осетровых рыб, Волжско-Каспийский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («КаспНИРХ»); 414056, г. Астрахань, ул. Савушкина, 1; e-mail: vojnovatv@kaspnirh.vniro.ru

Tanyana V. Voinova, chief specialist of the Laboratory of Sturgeon, Volga-Caspian branch of VNIRO (KaspNIRH); 1, Savushkin st., Astrakhan, 414056; e-mail: vojnovatv@kaspnirh.vniro.ru