

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ УПРАВЛЕНИЯ РЕПРОДУКЦИОННОЙ ФУНКЦИЕЙ У САМОК ОСЕТРОВЫХ РЫБ

¹Е.Н. Пономарева, доктор биологических наук, профессор

²П.П. Гераскин, доктор биологических наук

¹М.Н. Сорокина, кандидат биологических наук, доцент

¹В.А. Григорьев, кандидат биологических наук

¹А.В. Ковалёва, кандидат биологических наук

¹Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук, Ростов-на-Дону, Россия

²Астраханский государственный технический университет, Астрахань, Россия

E-mail: kafavb@mail.ru

Ключевые слова: осетровые рыбы, репродуктивная функция, функциональное состояние, биохимические показатели крови, стадии зрелости гонад, Е-селен.

Реферат. Проведены две серии экспериментов по влиянию препарата Е-селен на репродуктивную функцию осетровых рыб с разными способами внедрения препарата в организм: через корм и инъекцированием. Показана эффективность действия Е-селена в двух сериях экспериментов. Выявлена его способность ускорять процесс созревания ооцитов вследствие стимуляции генеративного обмена и приведения его в соответствие с этапами полового цикла исходя из биохимических показателей крови. На усиление генеративного обмена указывает повышение концентрации в крови в 1,4 раза к концу 50-суточного эксперимента общего белка и бета-липопротеидов, в состав которых в период вителлогенеза входит овоцитин (вителлогенин), а также умеренное увеличение концентрации гемоглобина. Отмечено, что обмен веществ у контрольных рыб в большей мере, чем у экспериментальных, направлен на соматический рост, вследствие чего средняя масса самок в контроле была выше, чем опыте, в первой серии экспериментов в 1,5 раза при неизменной массе опытных рыб и увеличении на 6% у контрольных во второй серии. Отмечена роль препарата как стабилизатора физиологического состояния самок из-за его высоких антиоксидантных свойств. При его применении исчезают имеющиеся признаки стрессового состояния, в отличие от контрольных рыб, у которых они выявляются: повышенный уровень холестерина, скорость оседания эритроцитов (СОЭ), снижение концентрации гемоглобина. Наибольший эффект от применения препарата получен при орошении Е-селеном корма, при этом количество созревших рыб после 50 суток эксперимента было в 2,7 раза больше, чем в контроле, с одновременным снижением в 2 раза числа незрелых рыб. В случае инъектирования самок этим препаратом количество рыб, находящихся на IV стадии зрелости гонад, у экспериментальной группы по истечении 50 суток увеличилось в 1,7 раза, у контрольных, наоборот, снизилось в 1,2 раза при неизменной доле самок на III стадии зрелости гонад.

SOME ASPECTS OF THE CONTROL OF THE REPRODUCTION FUNCTION IN FEMALE STURGEON FISHES

¹E.N. Ponomareva, Doctor of Biological Sciences, Professor

²P.P. Geraskin, Doctor of Biological Sciences

¹M.N. Sorokina, PhD in Biological Sciences, Associate Professor

¹V.A. Grigoriev, PhD in Biological Sciences

¹A.V. Kovaleva, PhD in Biological Sciences

¹Federal Research Centre the Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences (SSC RAS), Rostov-on-Don, Russia

²Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia

E-mail: kafavb@mail.ru

Keywords: sturgeons, reproductive function, functional state, blood biochemical parameters, stages of gonadal maturity, E-selenium.

Abstract. Two series of experiments on the effect of E-selenium on the reproductive function of sturgeons were conducted with different ways of introducing the drug into the body: through feed and injection. The effectiveness of the action of E-selenium was shown in two experiments. First, its ability to accelerate the process of maturation

of oocytes was revealed due to the stimulation of generative metabolism and bringing it into line with the stages of the sexual cycle based on the biochemical parameters of the blood. An increase in the concentration in the blood by 1.4 times by the end of the 50-day experiment of total protein and beta-lipoproteins, which include ovovitelin (vitellogenin) during the period of vitellogenesis, as well as a moderate increase in haemoglobin concentration, indicates an increase in generative metabolism. It was noted that the metabolism of control fish was directed to somatic growth to a greater extent than that of experimental fish, as a result of which the average weight of females in control was 1.5 times higher than in the first series of experiments and weight of experimental fish was the same and increased by 6% in power in the second series. The role of the drug as a stabilizer of the physiological state of females, due to its high antioxidant properties, has been noted. When used, the existing signs of a stress state disappear, in contrast to the control fish in which they are detected: an increased cholesterol level, an erythrocyte sedimentation rate (ESR), and a decrease in haemoglobin concentration. The most significant effect from the use of the drug was obtained when the feed was irrigated with E-selenium, in which the number of mature fish after 50 days of the experiment was 2.7 times greater than in control, with a simultaneous halving of immature fish. In the case of the injection of females with this preparation, the number of fish at the IV stage of gonadal maturity in the experimental group after 50 days increased by 1.7 times. In the control group, on the contrary, it decreased by 1.2 times, with a constant proportion of females by the III stage of gonadal maturity.

Увеличение продукционных возможностей аквакультуры реализуется либо генетическим улучшением объектов выращивания, либо оптимизацией метаболизма и направлением его в необходимое для получения заданной продукции русло. Наибольший эффект можно получить путём реализации генетических потенций оптимизацией обменных процессов у производителей рыб. Так, продукционные способности самок по икре определяются индивидуальной плодовитостью и длительностью межнерестового периода. Имеющиеся в литературе сведения [1, 2] подтверждают влияние на репродуктивную эффективность как генетического статуса рыб, так и факторов окружающей среды, а также достаточности и сбалансированности питания [3]. Плодовитость самок зависит от вида рыб, их возраста, условий нагула, а в случае аквакультурного выращивания также от полноценности корма [4]. Кормовая диета сказывается в целом и на воспроизводительной функции гидробионтов, а также на качестве воспроизведённого потомства [5–8].

Обилие корма и соответствие его потребностям организма способствуют более раннему созреванию и высокой плодовитости, а голодание и даже снижение доступности корма отрицательно сказываются на репродуктивной способности самок [9]. Кроме того, существенное значение в скорости созревания гонад и их качестве имеет физиологическое состояние репродуктивного стада, на которое влияет не только питание, но и стресс и наблюдающиеся в этом случае повышенные скорости перекисления липидов [2, 10, 11].

К этому надо добавить, что из-за отсутствия стимулирующих факторов, побуждающих нерест при аквакультурном выращивании, у многих видов рыб отмечается плохое

созревание самок [12, 13]. В качестве стимулятора, повышающего репродуктивные способности рыб, часто используют витамин E [2, 14–17]. Он участвует в формировании ооцитов, влияет на плодовитость и оплодотворение [2, 18]. В комплексе с селеном его антиоксидантные свойства усиливаются [19], что очень важно при искусственном воспроизводстве рыб, когда потребность в антиоксидантах увеличивается [15, 20]. Это связано с усилением перекисных процессов при синтезе стероидных гормонов [21].

Важным микроэлементом, участвующим в метаболической функции, является также селен [22], который, соединяясь с аминокислотами, образует селенопротеины, необходимые для осуществления различных функций организма рыб. Это защита липидов от перекисления, поддержание фертильности, участие в репродукционных процессах, а также в синтезе ДНК [23–25]. Дефицит селена может приводить также к снижению темпа роста и повышенной смертности [26, 27]. В то же время его избыток может снижать иммунитет, темп роста и качество икры [28, 29]. Селен в рационах должен содержаться в оптимальных, необходимых для удовлетворения потребностей количествах [30].

В качестве стимуляторов, оптимизирующих репродукционный процесс, используются различные добавки к кормам, в том числе и витаминно-минеральные. Исследования в этом направлении в отношении осетровых рыб фрагментарны, а эффекты от их применения малоизучены.

Ранее проведённые исследования [31] на молоди русско-ленского осетра (*Acipenser gueldenstaedtii* Brandt, 1833 × *Acipenser baerii* Brandt, 1869) выявили активизацию липидного обмена под влиянием

препарата Е-селен. Как известно, липиды являются не только источником энергии. В их составе наличествуют незаменимые жирные кислоты, которые влияют на репродуктивную способность рыб [32–34].

Цель исследований – изучение влияния различных дозировок витаминно-минерального препарата Е-селен на направленность обмена веществ и ускорение развития репродуктивной системы у осетровых рыб.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования выполнены в ФГБУН «Федеральный исследовательский центр Южный научный центр РАН». Объектом исследования служили самки гибрида стерлядь×белуга (*Acipenser ruthenus* Linnaeus, 1758 × *Huso huso* Linnaeus, 1758) и стерляди

(*Acipenser ruthenus* Linnaeus, 1758). Рыбы в опыте и контроле содержались в бассейнах объемом 2 м³ установки с замкнутого водообеспечения с контролируемым режимом внешней среды. Температура воды поддерживалась в диапазоне 19,5–21,5 °С, насыщение воды кислородом – 70–85%, значения рН близки к нейтральному – 7,6–8,1. Проведены две серии экспериментов с использованием препарата Е-селен. В первой серии вводили витаминно-минеральный препарат Е-селен в комбикорм (основной рацион), во второй – проводилось инъекцирование этого препарата рыбам.

Концентрации селена (в форме селенита натрия) и витамина Е в 1 мл Е-селена составляли соответственно 0,5 и 50 мг. Кормление производителей осуществляли гранулированным кормом марки Коппенс 13/50 с периодичностью 2 раза в сутки. Схема проведения исследований представлена в табл. 1.

Таблица 1

Схемы экспериментов
Experiment schemes

Вариант	Доза введения препарата Е-селен	Способ введения	Кратность и периодичность применения	Продолжительность эксперимента, сут
1-я серия экспериментов (опытная группа)	2,0 мг/кг корма	В основной рацион путем орошения корма	2 раза в день с основным рационом	50
2-я серия экспериментов (опытная группа)	0,12 мл/кг массы тела	Внутримышечные инъекции	1 раз в 10 дней, 4-кратно	50
Контрольные группы	-	-	-	50

Первая серия экспериментов. Введение препарата Е-селен в комбикорм осуществляли путем орошения, предварительно разбавив его в концентрации 1 : 50. Кормление самок гибрида стерлядь×белуга с добавлением препарата Е-селен начинали за 50 суток до начала проведения искусственной зимовки. Дозировка препарата составляла 2 мг/кг корма, что соответствует концентрации 1 мг селена и 100 мг витамина Е на 1 кг корма. Выбор данной дозировки препарата сделан на основе литературных данных о биологических потребностях рыб в селене (0,15–0,50 мг/кг) и витамине Е (20,0–100,0 мг/кг), а также согласно нормативным дозам этих компонентов в кормах для рыб (селен 0,15–1,50 мг/кг, витамин Е – 50,0–100,0 мг/кг). В контроле использовали корм без добавления Е-селена. Начальная масса рыб составляла в контроле 16,20±0,81 кг, в опыте – 16,68±1,23 кг. И

опытная, и контрольная группы рыб включали по 10 самок.

Вторая серия экспериментов. Инъекцирование самок стерляди препаратом Е-селен осуществляли четырехкратно с периодичностью 10 суток дозировкой 0,12 мл на 1 кг массы рыб. Доза компонентов препарата на одну особь составила 0,12 мг селенита натрия и 12 мг витамина Е, или 0,06 мг селенита натрия и 6 мг витамина Е на 1 кг массы рыб. Длительность эксперимента – 50 суток. Контрольных рыб не инъекцировали. Начальная масса рыб в контроле – 2,00±0,15 кг, в опыте – 1,96±0,16 кг. Количество особей в опытной и контрольной группах – по 12 самок.

Стадии зрелости ооцитов определяли методом ультразвуковой диагностики (УЗИ) с использованием сканера Sono Scare с уточ-

нением биопсийным методом по шкале В.В. Трусова [35].

Функциональное состояние самок оценивали по комплексу физиолого-биохимических показателей в начале и конце эксперимента. Кровь отбирали шприцом из хвостовой вены.

В сыворотке крови определяли содержание общего белка и липидов, β-липопротеидов, холестерина, в цельной крови – концентрацию гемоглобина и скорость оседания эритроцитов. Стабилизацию цельной крови осуществляли гепарином.

Величину общего белка определяли рефрактометрически [36], на рефрактометре ИРФ-454Б2М, общего холестерина и триглицеридов в крови — энзиматическим колориметрическим методом на основе диагностических наборов «Холестерин-Ольвекс» и «Триглицериды-Ольвекс». Определение β-липопротеидов вели турбидиметрическим методом по Бурштейну и Самой [37], основанным на способности β-липопротеидов образовывать нерастворимый комплекс с гепарином и хлористым кальцием, СОЭ – методом

Панченкова [38], содержание гемоглобина в крови – унифицированным цианметгемоглобиновым фотометрическим методом [39].

Статистическая обработка полученных данных проводилась с помощью пакетов программ Microsoft Excel: описательной статистики и вычислением двухвыборочного t-теста с различными дисперсиями, в результате которого определяли уровень значимости (p) для сравниваемых неравночисленных малых выборок [40].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В первой серии экспериментов для контроля и опыта были отобраны рыбы примерно одинаковой массы, у которых изначально были определены стадии зрелости гонад (СЗГ), а также их функциональное состояние.

Соотношение самок по СЗГ в контрольной и опытной группах было одинаковым: II – 60 %, III – 30, IV – 10% (рис. 1).

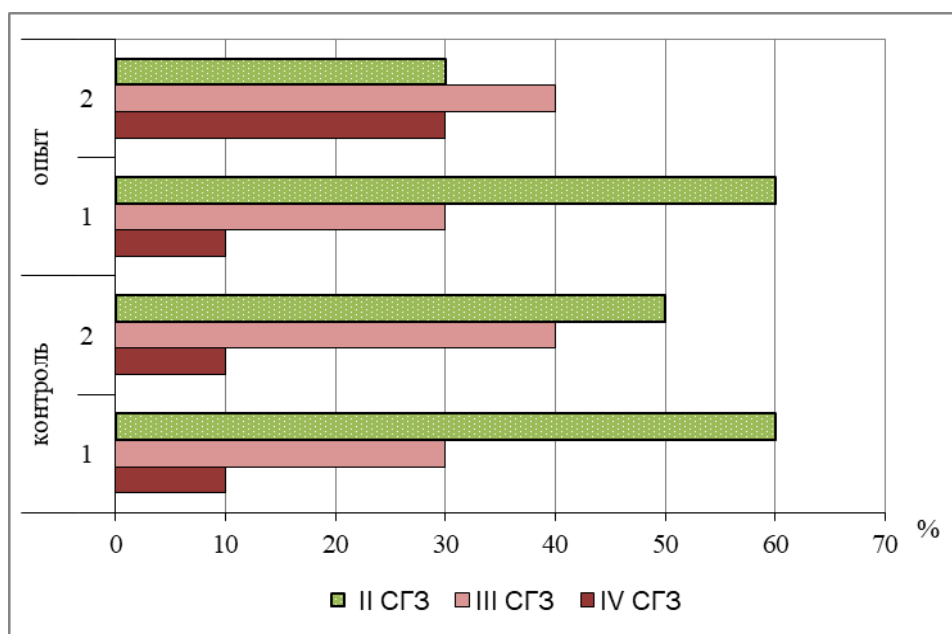


Рис. 1. Соотношение самок гибрида стерлядь x белуга с различной степенью созревания гонад.

Здесь и на рис. 2–6: 1 – начало эксперимента; 2 – окончание эксперимента

Fig. 1. The ratio of sterlet x beluga hybrid females with different degrees of gonadal maturation.

Here and in fig. 2–6: 1 – the beginning of the experiment; 2 - the end of the investigation.

Функциональное состояние самок соответствовало этапам полового цикла. Исследуемые показатели по своим параметрам были примерно одинаковые в обеих группах (рис. 2). Можно отметить лишь изначально более высокое значение СОЭ у рыб

из опытной группы, превышающее таковое у самок контрольной в 1,3 раза, что может свидетельствовать об изначально небольшом стрессовом состоянии этих рыб [41].

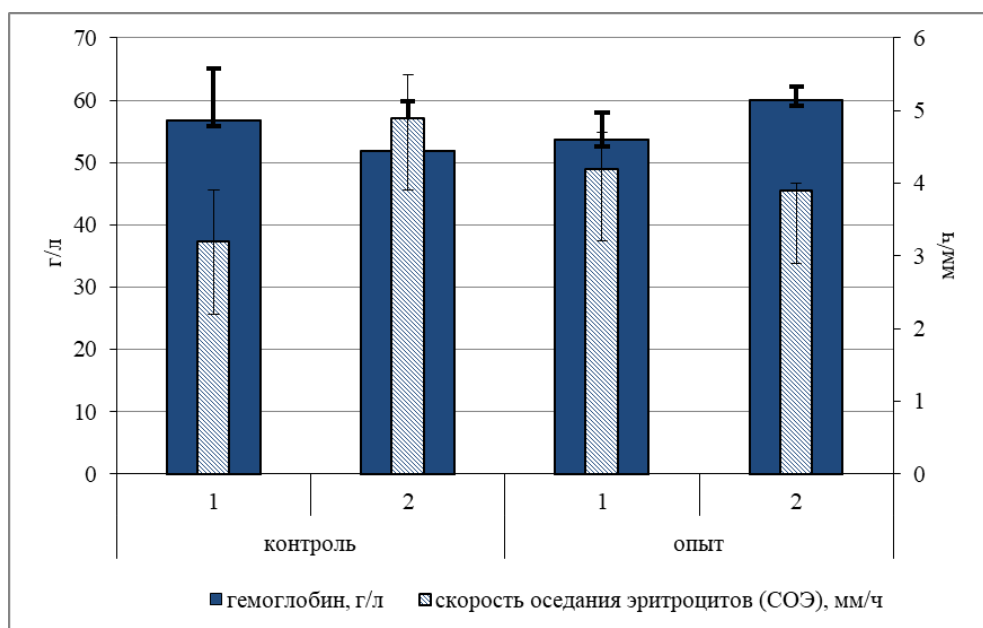


Рис. 2. Показатели гемоглобина и скорости оседания эритроцитов (СОЭ) у самок гибрида стерлядь x белуга
 Fig. 2. Indicators of haemoglobin and erythrocyte sedimentation rate (ESR) in female sterlet x beluga hybrid

В конце эксперимента функциональное состояние рыб из опытной и контрольной групп уже существенно различалось. За время исследования рыбы несколько подросли, увеличив массу в контрольной группе на 5%, а в экспериментальной на 3%, т. е. у рыб контрольной группы метаболизм в большей мере, чем у рыб опытной группы, был направлен на соматический рост. При этом имели место признаки небольшого стресса. Это статистически достоверное ($p < 0,001$) увеличение в крови холестерина в 1,6 раза и снижение гемоглобина на 10 % без статистического подтверждения ($p > 0,05$) последнего (рис. 3)

[42–44]. Указывает на длительный, но небольшой стресс и увеличение СОЭ в 1,5 раза ($p < 0,05$) [41]. Содержание в крови общего белка осталось на прежнем уровне. В группе опытных рыб, наоборот, имелись все признаки направленности обмена веществ на реализацию репродуктивной функции [45]. при отсутствии признаков стресса. Это, прежде всего, нормализация СОЭ и холестерина – предшественника кортикостероидных гормонов, в том числе глюкокортикоидов. Синтез последних находится под контролем кортикотропина, выброс которого из гипофиза является типичным ответом на стресс [46].

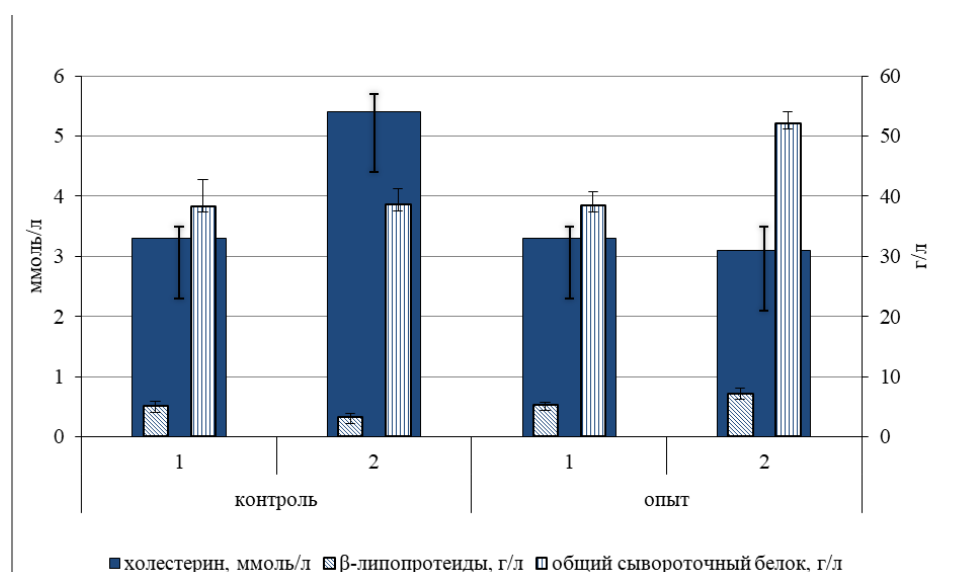


Рис. 3. Показатели белкового и липидного обмена самок гибрида стерлядь x белуга
 Fig. 3. Indicators of protein and lipid metabolism in female sterlet x beluga hybrids

В то же время у самок из опытного варианта наблюдается статистически достоверное повышение в крови содержания β -липопротеинов ($p < 0,05$) и общего белка ($p < 0,001$) – в 1,4 раза при небольшом (на 12%) повышении концентрации гемоглобина ($p > 0,05$). Опираясь на результаты предыдущих наших исследований [44, 47, 48], связанных с изучением особенностей функционального состояния самок на различных этапах полового цикла, можно утверждать, что динамика исследованных показателей и их конечные значения указывают на ускорение процесса вителлогенеза у самок этой группы. Это подтверждается и большими изменениями в соотношении степени зрелости гонад в конце эксперимента у опытной группы рыб в сравнении с контрольными. Если у самок контрольной группы 10% рыб из группы с II

СЗГ перешли в группу с III СЗГ при таком же количестве (10 %) самок с IV СЗГ, то в опытной группе количество рыб с II СЗГ снизилось вдвое в сравнении с исходным состоянием, созревших самок (IV СЗГ) – увеличилось в 3 раза, а находящихся на III СЗГ – с 30 до 40 % (см. рис. 1).

Во второй серия экспериментов, проводимых на стерляди, изначально в контрольной и опытных группах рыб соотношение самок с различной степенью созревания гонад было неодинаковым (рис. 4). Больше всего (50%) незрелых самок было в опытной группе, тогда как в контрольной – 25%. Число самок с гонадами III СЗГ в обеих группах было равным – по 25 %, а самок, достигших IV СЗГ, в опытной партии было в 2 раза меньше (25 %), чем в контрольной (50 %).

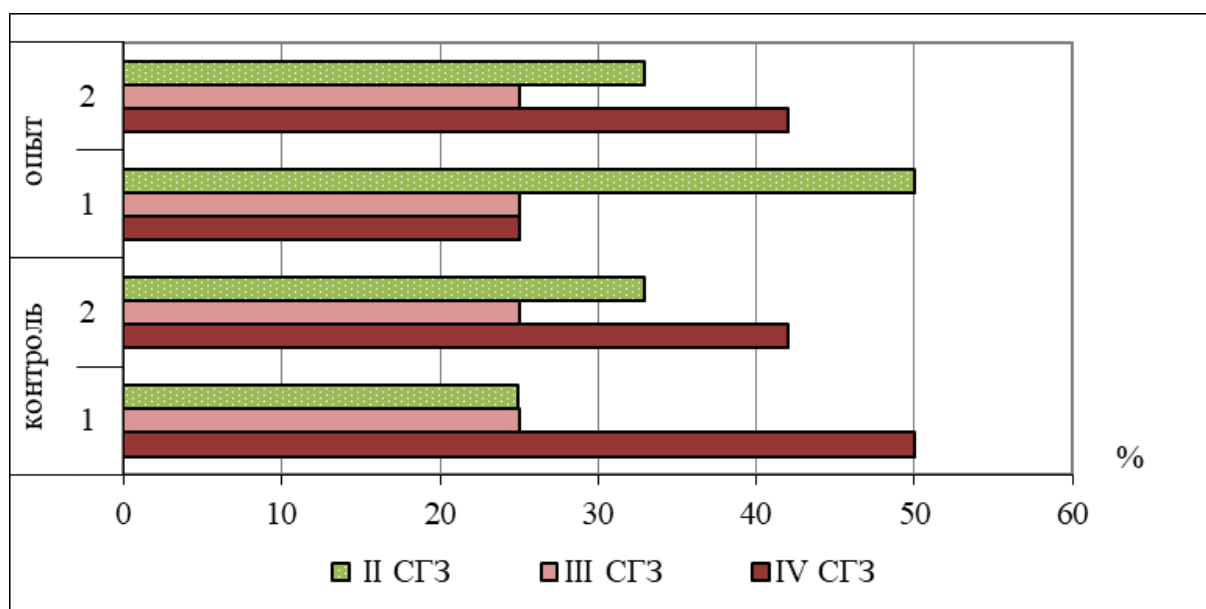


Рис. 4. Соотношение самок стерляди с различной степенью созревания гонад
 Fig. 4. The ratio of sterlet females with different degrees of maturation of the gonads

Изначальное функциональное состояние исследуемых рыб в целом соответствовало этапам созревания [45, 49] с некоторыми нюансами у опытной группы (рис. 5, 6). Такие показатели крови, как СОЭ, содержание в крови гемоглобина, холестерина, белка и триглицеридов у опытных рыб по своим параметрам отличались от контрольных в большую сторону. Учитывая, что в контрольной группе самок половина рыб была на IV СЗГ, а у опытной – на II СЗГ, то, согласно динамике этих показателей, соответствующей стадиям полового цикла, которая была выявлена нами ранее [45], должно быть наоборот. У кон-

трольных рыб они должны быть выше, чем у экспериментальных. Такое несоответствие можно объяснить лишь небольшим стрессовым состоянием последних. На это указывают в первую очередь более высокое СОЭ (в 1,5 раза) (см. рис. 5), повышенное содержание холестерина (на 8% выше) и триглицеридов (в 1,3 выше) (см. рис. 6). Как мы уже указывали, при стрессовом состоянии имеет место повышенный синтез глюкокортикоидов, основой которых является холестерин, мобилирующий триацилглицериды при воздействии на жировую ткань [46].

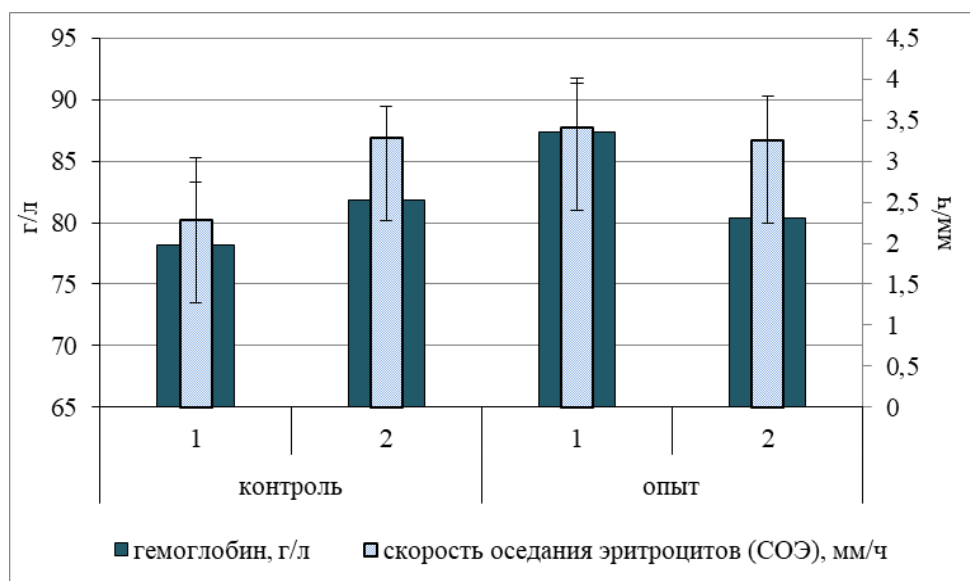


Рис. 5. Показатели гемоглобина и скорости оседания эритроцитов (СОЭ) у самок стерляди
 Fig. 5. Indicators of haemoglobin and erythrocyte sedimentation rate (ESR) in female sterlet

В конце второй серии опытов у самок в опытном варианте отмечается нормализация функционального состояния до соответствия его с динамикой созревания гонад. У контрольных рыб за это время также изменилось функциональное состояние вслед за трансформацией соотношения этапов созревания ооцитов. Кроме того, у них наблюдается не-

большой соматический рост – на 6 % от исходного состояния при практически неизменной массе у самок в опыте. Необходимо отметить достаточно большое сходство функциональных состояний контрольной и опытной групп на конечном этапе за исключением некоторых параметров крови.

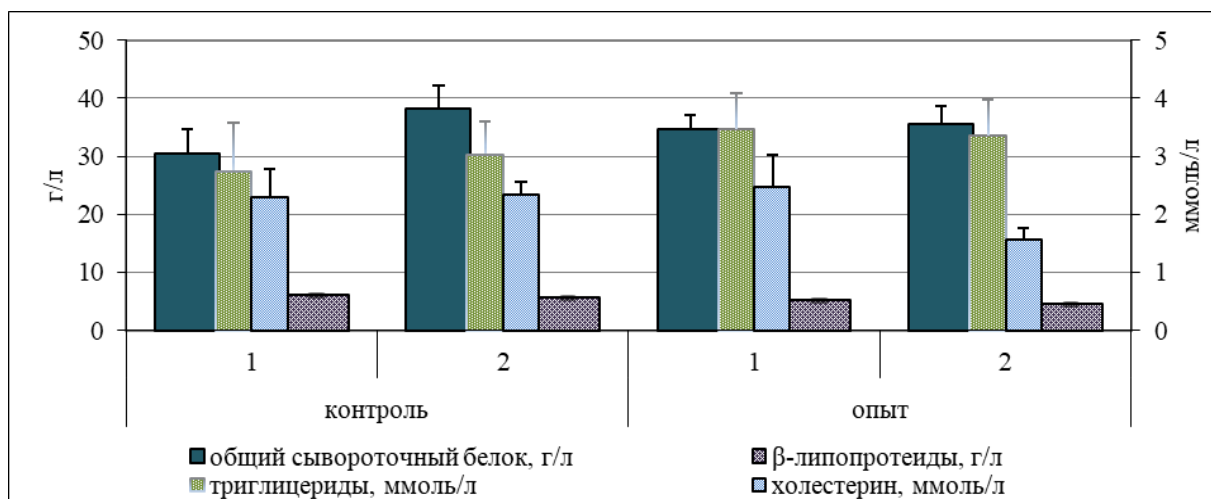


Рис. 6. Показатели белкового и липидного обмена самок стерляди
 Fig. 6. Indicators of protein and lipid metabolism in sterlet females

Оно согласуется с данными, полученными при оценке степени зрелости половых желёз у этих групп рыб. Их соотношение было одинаковым в двух группах (см. рис. 4). Так, в процессе опытов в экспериментальной группе рыб увеличилось количество самок, находящихся на IV СЗГ, в 1,7 раза, у контрольных, наоборот, оно снизилось в 1,2 раза, при неизменной доле самок на III СЗГ. Соответственно

в опытной партии доля самок с II СЗГ снизилась в 1,5 раза, а у контрольной, наоборот, повысилась в 1,3 раза. Снижение количества рыб с IV СЗГ объясняется резорбцией ооцитов у части самок, находящихся на этом этапе полового цикла, что подтверждается биохимическими данными анализа крови этих рыб. Это, прежде всего, увеличение содержания в крови общего белка на 25 % и триглицеридов

на 10% (см. рис. 6) – веществ, входящих в состав основных ингредиентов наполнения ооцита. У экспериментальных рыб характер обмена веществ соответствовал периоду трофоплазматического роста ооцитов и в большей мере его второй фазе – вителлогенезу.

Из полученных данных следует, что и во второй серии опытов с применением препарата Е-селен также наблюдается ускоренное созревание половых желёз у опытных рыб в сравнении с контрольными, подтверждаемое направленностью метаболизма на повышение уровня генеративного обмена. У контрольных самок, наоборот, отмечается резорбция ооцитов, которую можно объяснить в большей мере стрессовым состоянием этих рыб, возникающим при их выращивании в УЗВ [50] и в меньшей мере – перезреваним. Коэффициент поляризации ядра ооцита составлял в среднем 0,15–0,17, что характерно для незавершенной стадии IV СЗГ.

Такой результат в опытной группе оказался возможным не только благодаря стимулирующему воздействию токоферола и селенита натрия на генеративный обмен, но и вследствие антиоксидантных свойств этих веществ, которые относятся к классическим, или истинным, антиоксидантам. Кроме того, токоферол и селен, являющиеся первой линией защиты от повреждения мембран клеток продуктами пероксидного окисления, имеют свойства регуляторов экспрессии генов антиоксидантных ферментов у животных [51]. Эффективность применения подобных препаратов для улучшения физиологического состояния, выживаемости, роста и устойчивости к стрессам ставит вопрос о необходимости их применения в аквакультуре [52]. В нашем случае препарат Е-селен проявил себя не только как стимулятор генеративного обмена, ускоряющий созревание самок стерляди, но и как стабилизатор физиологического состояния этих рыб в условиях УЗВ.

ВЫВОДЫ

1. Введение в корм препарата Е-селен методом орошения усиливает генеративный обмен, на что указывает увеличение у самок экспериментальной группы в 1,4 раза уровня таких показателей, как β -липопротеиды и общий сывороточный белок, при повышении концентрации гемоглобина в крови на 12%. Такая же направленность обмена веществ выявлена и при дробном инъецировании самок стерляди препаратом Е-селен.

2. Препарат Е-селен не только ускоряет генеративный обмен, но и выступает как стабилизатор физиологического состояния рыб при стрессе вследствие антиоксидантных свойств этих веществ, что показано во второй серии экспериментов.

3. Результаты двух серий экспериментов показали, что препарат Е-селен является регулятором репродуктивной функции у самок исследуемых осетровых рыб, позволяя ускорять процесс созревания ооцитов, одновременно стабилизируя их функциональное состояние, приводя его в соответствие с этапами генеративного цикла при выращивании в установках замкнутого водообеспечения.

4. Наибольший эффект от применения препарата получен при орошении корма Е-селеном, при котором количество созревших самок гибрида стерлядь \times белуга до IV СЗГ было в 2,7 раза больше, чем без применения препарата, а доля самок на II СЗГ снизилась вдвое. Дробное введение Е-селена путём инъекций также увеличивало количество созревших самок стерляди в 1,7 раза при снижении в контроле на 20%.

Публикация подготовлена в рамках реализации ГЗ ЮНЦ РАН, № гр. проекта 122020100328-1 с использованием УНУ «МУК» ЮНЦ РАН и Биоресурсной коллекции редких и исчезающих видов рыб ЮНЦ РАН №73602.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Brooks S., Tyler C.R., Sumpter J.P. Egg quality in fish: what makes a good egg? // Rev. Fish Biol and Fish. – 1997. – Vol. 7. – P. 387–416. <https://doi.org/10.1023/A:1018400130692>.
2. Izquierdo M., Fernandez-Palacios H., Tacon A. Effect of brood stock nutrition on reproductive performance of fish // Aquaculture. – 2001. – Vol.197(1-4). – P. 25 – 42. – [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00581-6](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00581-6).
3. Bobe J., Labbe C. Egg and sperm quality in fish. Gen Comp Endocrinol // General and comparative endocrinology. – 2009. – Vol. 165 (3). – P. 535–548. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2009.02.011>.
4. Wanke T., Brämick U., Mehner T. High stock density impairs growth, female condition and fecundity, but not quality of early reproductive stages in vendace (*Coregonus albula*). Fisheries Research. – 2017. – Vol. 186. – P. 159–167. – <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2016.08.028>.

5. *Effect of Dietary Soybean Lecithin on Reproductive Performance of Chinese Mitten Crab Eriocheir Sinensis (H. Milne-Edwards) Broodstock* / L.Y. Sui, X.G. Wu, M. Wille [et al.] // *Aquacult. Int.* – 2009. – Vol. 17 (1). – P. 45–56. – [https://doi.org/ 10.1007/s10499-008-9178-6](https://doi.org/10.1007/s10499-008-9178-6).
6. *Effects of Parental Diets Supplemented With Different Lipid Sources on Octopus Maya Embryo and Hatching Quality* / J.F. Tercero, C. Rosas, M. Mascaro[et al.] // *Aquaculture.* – 2015. – Vol. 448. – P. 234–242. – [https://doi.org/ 10.1016/j.aquaculture.2015.05.023](https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.05.023).
7. *Effects of different dietary oils on egg quality and reproductive performance in rainbow trout Oncorhynchus mykiss* / M. Yıldız, A. Ekici, G. Yamaner [et al.] // *Animal Reproduction Science.* – 2020. – Vol. 221. – P. 106545. – <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2020.106545>.
8. *Effects of different dietary lipid resources on sperm quality and reproductive success in rainbow trout (Oncorhynchus mykiss)* / M. Yıldız, S. Ofori-Mensah, M. Arslan [et al.] // *Aquaculture Research.* – 2021. – Vol. 52(8). – P. 1–11. – <https://doi.org/10.1111/are.15226>.
9. *Volkoff H., London S. Nutrition and reproduction in fish* / *Encycl. Reprod.* – 2018. – Vol. 6. – P. 743–748. – [https://doi.org/ 10.1016/B978-0-12-809633-8.20624-9](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809633-8.20624-9).
10. *Bromage N.R., Roberts R.J. Brood management and egg and larval quality* // *Blackwell Science Oxford OX2 OEL.* – 1995. – 424 p.
11. *Gamete quality and spawning in captive Murray cod broodstock* / B.A. Ingram, H.K. Ho, G.M. Turchini, M. Holland // *Fisheries. Victoria Research Report Series.* – 2012. – N 58. – 69 p.
12. *Mylonas C.C., Zohar Y. Promoting oocytematuration, ovulation and spawning in farmed fish* // *In The Fish Oocyte.* – Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2007. – P. 437–474. – https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6235-3_15.
13. *Description of the annual reproductive cycle of wreckfish Polyprion americanus in captivity* / M. Papadaki, J.B. Peleteiro, B. Alvarez-Blázquez [et al.] // *Fishes.* – 2018. – Vol. 3 (4). – P. 43. – <https://doi.org/10.3390/fishes3040043>.
14. *Effective components in cuttlefish meal and raw kri II for improvement of quality of red sea bream Pagrus major eggs* / T. Watanabe, M. Lee, J. Mizutani [et al.] // *Nippon Suisan Gakkaishi.* – 1991. – Vol. 519917(4) – P. 681–694.
15. *Izquierdo M.S., Fernández-Palacios H. Nutritional requirements of marine fish larvae and broodstock* // *Cahiers OPTIONS Méditerranéennes.* – 1997. – N. 22. – P. 243–264.
16. *Efrizal E., Rusnam R. The Influence of dietary vitamin E on the gonad development of blue swimming crab, Portunus pelagicus (Linnaeus, 1758)* // *Australian Journal of Basic and Applied Sciences.* – 2017. – Vol. 11 (1). – P. 7–15.
17. *El-Sayed A.M., Izquierdo M., The importance of vitamin E for farmed fish-a review* // *Reviews in Aquaculture.* – 2021. – P. 1–16. – <https://doi.org/10.1111/raq.12619>.
18. *Effect of a krill meal supplementation in soft-selects on spawning and quality of egg of yellow-tail* / V. Verakunpiriya, K. Watanabe, K. Mushiake [et al.] // *Fisheries Science.* – 1997. – Vol. 63 (3) – P. 433–439.
19. *Использование препаратов селена при выращивании жеребят и телят* / С.А. Шевченко, А.И., Шевченко, О.А. Багно [и др.] // *Вестник НГАУ.* – 2017. – № 3 (44). – С. 104–114.
20. *Combined effect of dietary α -tocopherol and n-3 HUFA on egg quality of gilthead seabream broodstock (Sparus aurata)* / H. Fernández-Palacios, M.S. Izquierdo, M. Gonzalez [et al.] // *Aquaculture.* – 1998. – Vol. 161. – P. 475–476.
21. *Antioxidant capacity is correlated with steroidogenic status of the corpus luteum during bovine estrous cycle* / R. Rapoport, D. Sklan D. Wolfenson [et al.] // *Biochem. Biophys. Acta.* – 1998. – Vol. 1380. – P. 133–140.
22. *Watanabe T., Kirov V., Satoh S. Trace minerals in fish nutrition* // *Aquaculture.* – 1997. – Vol. 151. – N. 1–4. – P. 185–207.
23. *Rayman M.P. The importance of selenium to human health* // *The Lancet.* – 2000. – Vol. 356 (9225). – P. 233–241. – [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(00\)02490-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(00)02490-9).
24. *Lobanov A.V., Hatfield D.L., Gladyshev V.N. Eukaryotic selenoproteins and selenoproteomes* // *Biochimica Et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects.* – 2009. – Vol. 1790 (11). – P. 1424–1428. – <https://doi.org/10.1016/j.bbagen.2009.05.014>.

25. *Effects of nanoSelenium supplementation in plant protein-rich diet on reproductive performance and egg and larval quality of female Arabian yellowfin sea bream (Acanthopagrus arabicus) / S. Saffari, S. Keyvanshokoo, M. Torfi Mozanzadeh, A. Shahriari // Aquaculture Nutrition. – 2021. – 27. – P. 1–13. – <https://doi.org/10.1111/anu.13332>.*
26. *Deng D.-F., Hung, S.S., Teh, S.J. Selenium depuration: Residual effects of dietary selenium on Sacramento splittail (Pogonichthys macrolepidotus) // Science of the Total Environment. – 2007. – Vol. 377 (2–3). – P. 224–232. – <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.02.025>.*
27. *The pathology of selenium deficiency in Cyprinus carpio L. / K. Wang, C. Peng, J. Huang [et al.] // Journal of Fish Diseases. – 2013. – Vol. 36 (7). – P. 609–615. – <https://doi.org/10.1111/jfd.12030>.*
28. *Safe limits of selenomethionine and selenite supplementation to plant-based Atlantic salmon feeds / M. H.G.Berntssen, M. Betancor, M. J. Caballero [et al.] // Aquaculture. – 2018. – Vol. 495 (1). – P. 617–630. – <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.06.041>.*
29. *Optimum selenium levels in diets high in plant-based feedstuffs for gilthead sea bream (Sparus aurata) fingerlings / D. Domínguez, Z. Sehnine, P. Castro [et al.] // Aquaculture Nutrition. – 2020. – Vol. 26 (2). – P. 579–589. – <https://doi.org/10.1111/anu.13019>.*
30. *An overview of the ongoing insights in selenium research and its role in fish nutrition and fish health / K.U. Khan, A. Zuberi, J.B.K. Fernandes [et al.] // Fish Physiology and Biochemistry. – 2017. – Vol. 43 (6). – P. 1689–1705. – <https://doi.org/10.1007/s10695-017-0402-z>.*
31. *Влияние препарата Е-селен на рост и физиологические показатели гибрида русский осётр х ленский осётр / Г.Ф. Металлов, В.А. Григорьев, А.В. Ковалёва [и др.] // Вестник Южного научного центра. – 2013. – Т. 9, № 2. – С. 57–67.*
32. *Effects of Dietary Lipid Sources on Flavour Volatile Compounds of Brown Trout (Salmo trutta L.) / G.M. Turchini, T. Mentasti, F. Caprino [et al.] // Fillet. J. Appl. Ichthyol. – 2010. – Vol. 20 (1). – P. 71–75. – <https://doi.org/10.1046/j.0175-8659.2003.00522.x>.*
33. *Influence of Different Dietary Lipid Sources on the Growth, Tissue Fatty Acid Composition, Histological Changes and Peroxisome Proliferator-Activated Receptor γ Gene Expression in Large Yellow Croaker (Pseudosciaena Crocea R.) / X.X. Wang, Y.J. Li, C.L. Hou [et al.] // Aquac. Res. – 2012. – Vol. 43 (2). – P. 281–291. – <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2011.02826.x>.*
34. *Optimizing Dietary Levels of Menhaden and Soybean Oils and Soybean Lecithin for Pre-Gonadal Somatic Growth in Juveniles of the Sea Urchin Lytechinus Variegatus / V.K. Gibbs, L.E. Heflin, W.T. Jones [et al.] // Aquaculture. – 2015. – Vol. 446 (1). – P. 198–205. – <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.05.013>.*
35. *Трусов В.З. Метод определения степени зрелости половых желез самок осетровых // Рыбное хозяйство. – 1964. – № 1. – С. 26–28.*
36. *Филиппович Ю.Б., Егорова Т.А., Севастьянова Г.А. Практикум по общей биохимии. – М.: Просвещение, 1975. – 318 с.*
37. *Burstein M., Samaille J. Determination of serum betalipoproteins after selective precipitation of heparin // La Presse Medicale. – 1958. – Vol. 66. – P. 974–975.*
38. *Инструкция по физиолого-биологическим анализам рыбы / В.В. Лиманский, А.А. Яржомбек, Е.Н. Бекина, С.Б. Андронников. – М.: ВНИИПРХ, 1984. – 53 с.*
39. *Van Kampen E.J., Zijlstra W.G. Standardization of hemoglobin metry. II. The hemoglobin cyanide method // Clin. Chim. Acta. – 1961. – Vol. 6. – P. 538.*
40. *Лакин Г.Ф. Биометрия. – М.: Высш. шк., 1990. – 293 с.*
41. *Лукьяненко В.И., Дубинин В.И., Сухопарова А.Д. Влияние экстремальных условий приплотинной зоны реки на осетровых рыб. – Рыбинск: Изд-во ИБВВ АН СССР им. И.Д. Папанина, 1990. – 272 с.*
42. *Лукьяненко В.И. Общая ихтиотоксикология. – М.: Лег. и пищ. пром-сть, 1983. – 320 с.*
43. *Гаркави Л.Х., Квакина Е.Б., Уколова М.А. Адаптационные реакции и резистентность организма. – Ростов-н/Д: Изд-во РГУ, 1990. – 224 с.*
44. *Экологические мониторинговые исследования на лицензионном участке «Северный» ООО «Лукойл-Нижеволжскнефть» (1997–2006 гг.): [монография] / Д.Н. Катунин [и др.]*

- отв. ред. Г.А. Судаков, Д.Н. Катунин, Р.П. Ходороевская. – Астрахань: Изд-во КаспНИРХ, 2007. – 431 с.
45. Физиолого-биохимические закономерности созревания самок осетровых рыб / П.П. Гераскин, Г.Ф. Металлов, В.А. Григорьев, М.В. Яицкая // Аквакультура: мировой опыт и российские разработки: материалы всерос. науч. конф. (г. Ростов-на-Дону, 13–16 декабря 2017 г.). – Ростов-н/Д: Изд-во ЮНЦ РАН, 2017. – С. 493–496.
 46. Строев Е.А. Биологическая химия. – М.: Высшая школа, 1986. – 479 с.
 47. Гераскин П.П., Металлов Г.Ф., Аксенов В.П. Физиолого-биохимическая характеристика самок севрюги, используемых для искусственного воспроизводства // Осетровое хозяйство водоемов СССР. – Астрахань: Изд-во ЦНИИ осетрового хоз-ва, 1984. – С. 81–83.
 48. Features of Changes in the Functional State of Sturgeon during Maturation in Closed Water-Supply Installations / E.N. Ponomareva, P.P. Geraskin, G.F. Metallov [et al.] // Inland Water Biology. – 2021. – Vol. 14, N 1. – P. 87–93. – <https://doi.org/10.31857/S0320965221010113>.
 49. Оценка физиологической подготовленности к репродуктивной функции domestцированных самок белуги и выращенных от икры в искусственных условиях / П.П. Гераскин, А.В. Ковалева, В.А. Григорьев [и др.] // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. – 2019. – № 4. – С. 95–103. – <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2019-4-95-103>.
 50. Уровень кортизола и показателей цитогенетического гомеостаза в организме рыб на фоне пробиотика споротермина / Е.М. Романова, Е.В. Спирина, В.В. Романов, Л.А. Шадыева // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. – № 1 (49). – С. 79–84. – <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2020-1-79-84>.
 51. Selenium and/or vitamin E upregulate the antioxidant gene expression and parameters in broilers / F. Elgendey, F. Wakeel, R. Hemeda [et al.] // BMC Veterinary Research. – 2022. – Vol. 18 (1). – P. 310. – <https://doi.org/10.1186/s12917-022-03411-4>.
 52. Vitamin nutrition in salmonid aquaculture: From avoiding deficiencies to enhancing functionalities / A. Liu, V.P.T H. To, E. Santigosa [et al.] // Aquaculture. – 2022. – Vol. 561 (738). – P. 738654. – <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738654>.

REFERENCES

1. Brooks S., Tyler C., Sumpter J., Brooks S., Tyler C.R., Sumpter J.P., Egg quality in fish: what makes a good egg?, *Rev Fish Biol and Fish*, 1997, Vol. 7, pp. 387–416.
2. Izquierdo M., Fernandez-Palacios H., Tacon A., Effect of brood stock nutrition on reproductive performance of fish, *Aquaculture*, 2001, Vol. 197, pp. 25–42.
3. Bobe J., Labbe C., Egg and sperm quality in fish. *Gen Comp Endocrinol, General and comparative endocrinology*, 2009, Vol. 165, pp. 535–548.
4. Wanke T., Brämick U., Mehner T., High stock density impairs growth, female condition and fecundity, but not quality of early reproductive stages in vendace (*Coregonus albula*), *Fisheries Research*, 2017, Vol. 186, pp. 159–167.
5. Sui L.Y., Wu X.G., Wille M., Cheng Y.X., Sorgeloos P., Effect of Dietary Soybean Lecithin on Reproductive Performance of Chinese Mitten Crab *Eriocheir Sinensis* (H. Milne-Edwards) Broodstock, *Aquacult. Int*, 2009, Vol. 17 (1), pp. 45–56.
6. Tercero J.F., Rosas C., Mascaro M., Poot G., Gallardo P., Effects of Parental Diets Supplemented With Different Lipid Sources on Octopus Maya Embryo and Hatching Quality, *Aquaculture*, 2015, Vol. 448, pp. 234–242.
7. Yıldız M., Ekici A., Yamaner G., Ofori-Mensah S., Arslan M., Tacer Ş., Korkmaz F., Baltacı M.A., Effects of different dietary oils on egg quality and reproductive performance in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*, *Animal Reproduction Science*, 2020, Vol. 221, pp. 106545.
8. Yıldız M., Ofori-Mensah S., Arslan M., Yamaner G., Ekici A., Baltacı M., Korkmaz F., Tacer T., Şeyda., Effects of different dietary lipid resources on sperm quality and reproductive success in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), *Aquaculture Research*, 2021, Vol. 52, pp. 15226.
9. Volkoff H., London S., Nutrition and reproduction in fish, *Encycl. Reprod.*, 2018, Vol. 9, pp. 743–748.

10. Bromage N.R., Roberts R.J., Brood management and egg and larval quality, *Blackwell Science Oxford OX2 OEL*, 1995, 424 pp.
11. Ingram B.A., Ho H.K., Turchini G.M., Holland M., Gamete quality and spawning in captive Murray cod broodstock. *Fisheries, Victoria Research Report Series*, 2012, No. 58, 69 p.
12. Mylonas C.C., Zohar Y., Promoting oocytematuration, ovulation and spawning in farmed fish, *In The Fish Oocyte*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2007, pp. 437–474, https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6235-3_15.
13. Papadaki M., Peleteiro J.B., Alvarez-Blázquez B., Villanueva J.L.R., Linares F., Vilar A., Rial E.P., Lluch N., Fakriadis I., Sigelaki I., Mylonas C.C., Description of the annual reproductive cycle of wreckfish *Polypriion americanus* in captivity, *Fishes*, 2018, Vol. 3, pp. 43.
14. Watanabe T., Lee M., Mizutani J., Yamada T., Satoh S., Takeuchi T., Yoshida N., Kitada T., Arakawa T., Effective components in cuttlefish meal and raw krill for improvement of quality of red sea bream *Pagrus major* eggs., *Nippon Suisan Gakkaishi*, 1991, Vol. 57(4), pp. 681–694.
15. Izquierdo M., Fernández-Palacios H., Nutritional requirements of marine fish larvae and broodstock Cah, *Options Mediterr.*, 1997, No. 22, pp. 243–264.
16. Efrizal E., Rusnam R., The Influence of dietary vitamin E on the gonad development of blue swimming crab, *Portunus pelagicus* (Linnaeus, 1758), *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 2017, Vol. 11(1), pp. 7–15.
17. El-Sayed A.M., Izquierdo M., The importance of vitamin E for farmed fish—a review, *Reviews in Aquaculture*, 2021, pp. 1–16.
18. Verakunpiriya V., Watanabe K., Mushiake K., Kawan O.K., Kobayashi T., Hasegawa I., Kiron V., Satoh S., Watanabe T., Effect of a krill meal supplementation in soft - elects on spawning and quality of egg of yellowtail, *Fisheries Science*, 1997, Vol. 63 (3), pp. 433–439.
19. Shevchenko S.A., Shevchenko A.I., Bagno O.A., Prokhorov O.N., Osipova M.A., Dyadichina T.V., *Vestnik NGAU*, 2017, No. 3 (44), pp. 104–114. (In Russ.)
20. Fernández-Palacios H., Izquierdo M.S., Gonzalez M., Robaina L., Valencia A., Combined effect of dietary α -tocopherol and n–3 HUFA on egg quality of gilthead seabream broodstock (*Sparus aurata*), *Aquaculture*, 1998, Vol. 161, pp. 475–476.
21. Rapoport R., Sklan D., Wolfenson D., Shaham-Albalancy A., Hanukoglu I., Antioxidant capacity is correlated with steroidogenic status of the corpus luteum during bovine estrous cycle, *Biochem. Biophys. Acta*, 1998, Vol. 1380, pp. 133–140.
22. Watanabe T., Kirov V., Satoh S., Trace minerals in fish nutrition, *Aquaculture*, 1997, Vol. 151, No. 1–4, pp. 185–207.
23. Rayman M.P., The importance of selenium to human health, *The Lancet*, 2000, Vol. 356 (9225), pp. 233–241.
24. Lobanov A.V., Hatfield D.L., Gladyshev V.N., Eukaryotic selenoproteins and selenoproteomes, *Biochimica Et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects*, 2009, Vol. 1790 (11), pp. 1424–1428.
25. Saffari S., Keyvanshokoo S., Torfi Mozanzadeh M., Shahriari A., Effects of nanoSelenium supplementation in plant protein-rich diet on reproductive performance and egg and larval quality of female Arabian yellowfin sea bream (*Acanthopagrus arabicus*), *Aquaculture Nutrition*, 2021, 27, pp. 1–13.
26. Deng D.-F., Hung S.S., Teh S.J., Selenium depuration: Residual effects of dietary selenium on Sacramento splittail (*Pogonichthys macrolepidotus*), *Science of the Total Environment*, 2007, Vol. 377 (2–3), pp. 224–232.
27. Wang K., Peng C., Huang J., Huang Y., Jin M., Geng Y., The pathology of selenium deficiency in *Cyprinus carpio* L., *Journal of Fish Diseases*, 2013, Vol. 36 (7), pp. 609–615.
28. Berntssen M.H., Betancor M., Caballero M.J., Hillestad M., Rasinger J., Hamre K., Sele V., Amund H., Ørnstrud R., Safe limits of selenomethionine and selenite supplementation to plant-based Atlantic salmon feeds, *Aquaculture*, 2018, Vol. 495, pp. 617–630.
29. Domínguez D., Sehnine Z., Castro P., Robaina L., Fontanillas R., Prabhu P.A.J., Izquierdo M., Optimum selenium levels in diets high in plant-based feedstuffs for gilthead sea bream (*Sparus aurata*) fingerlings, *Aquaculture Nutrition*, 2020, Vol. 26 (2), pp. 579–589.

30. Khan K.U., Zuberi A., Fernandes J.B.K., Ullah I., Sarwar H., An overview of the ongoing insights in selenium research and its role in fish nutrition and fish health, *Fish Physiology and Biochemistry*, 2017, Vol. 43 (6), pp. 1689–1705.
31. Metallov G.F., Grigor'ev V.A., Kovaleva A.V., Levina O.A., Sorokina M.N., *Vestnik yuzhnogo nauchnogo tsentra*, 2013, Vol. 9, No. 2, pp. 57–67. (In Russ.)
32. Turchini G.M., Mentasti T., Caprino F., Panseri S., Moretti V.M., Valfr F., Effects of Dietary Lipid Sources on Flavour Volatile Compounds of Brown Trout (*Salmo Trutta L.*), *Fillet. J. Appl. Ichthyol.*, 2010, Vol. 20 (1), pp. 71–75.
33. Wang X.X., Li Y.J., Hou C.L., Gao Y., Wang Y.Z., Influence of Different Dietary Lipid Sources on the Growth, Tissue Fatty Acid Composition, Histological Changes and Peroxisome Proliferator-Activated Receptor γ Gene Expression in Large Yellow Croaker (*Pseudosciaena Crocea R.*), *Aquac. Res.*, 2012, Vol. 43 (2), pp. 281–291.
34. Gibbs V.K., Heflin L.E., Jones W.T., Powell M.L., Lawrence A.L., Makowsky R., Watts S.A., Optimizing Dietary Levels of Menhaden and Soybean Oils and Soybean Lecithin for Pre-Gonadal Somatic Growth in Juveniles of the Sea Urchin *Lytechinus Variegatus*, *Aquaculture*, 2015, Vol. 446 (1), pp. 198–205.
35. Trusov V.Z., *Rybnoe khozyaistvo*, 1964, No. 1, pp. 26–28. (In Russ.)
36. Filippovich Yu.B., Egorova T.A., Sevast'yanova G.A., *Praktikum po obshchei biokhimii* (Workshop on General Biochemistry), Moscow: Prosveshchenie, 1975, 318 p.
37. Burstein M., Samaille J., Determination of serum betalipoproteins after selective precipitation of heparin, *La Presse Medicale*, 1958, Vol. 66, pp. 974–975.
38. Limanskii V.V., Yarzombek A.A., Bekina E.N., Andronnikov S.B., *Instruktsiya po fiziologo-biologicheskim analizam ryby* (Instructions for the physiological and biological analyzes of fish), Moscow: VNIIPRKh, 1984, 53 p.
39. Van Kampen E.J., Zijlstra W.G., Standardization of hemoglobin metry. II. The hemoglobin cyanide method, *Clin. Chim. Acta.*, 1961, Vol. 6, pp. 538.
40. Lakin G.F., *Biometriya* (Biometrics), Moscow: Vyssh. shk., 1990, 293 p.
41. Luk'yanenko V.I., Dubinin V.I., Sukhoparova A.D., *Vliyaniye ekstremal'nykh uslovii priplotinnoi zony reki na osetrovyykh ryb* (Influence of extreme conditions of the river's dam zone on sturgeon fish), Rybinsk: izd-vo IBVV AN SSSR im. I.D. Papanina, 1990, 272 p.
42. Luk'yanenko V.I., *Obshchaya ikhtiotoxikologiya* (General ichthyotoxicology), Moscow: Legkaya i pishchevaya prom-st', 1983, 320 p.
43. Garkavi L.Kh., Kvakina E.B., Ukolova M.A., *Adaptatsionnye reaktsii i rezistentnost' organizma* (Adaptive reactions and resistance of the body), Rostov-on-Don: izd-vo RGU, 1990, 224 p.
44. *Ekologicheskie monitoringovye issledovaniya na litsenzionnom uchastke "Severnyi" OOO "Lukoil-Nizhnevolzhskneft" (1997-2006 gg.)* (Environmental monitoring studies at the Severny license area of Lukoil-Nizhnevolzhskneft LLC (1997-2006), Astrakhan: Izd-vo KaspNIRKh, 2007, 431 p.
45. Geraskin P.P., Metallov G.F., Grigor'ev V.A., Yaitskaya M.V., *Akvakul'tura: mirovoi opyt i rossiiskie razrabotki* (Aquaculture: world experience and Russian developments), Proceeding of the All-Russian scientific conference (Rostov-on-Don, December 13–16, 2017) / [gl. red. akad. G.G. Matishov], Rostov-on-Don: Izd-vo YuNTs RAN, 2017, pp. 493–496. (In Russ.)
46. Stroev E.A., *Biologicheskaya khimiya* (Biological chemistry), Moscow: Vysshaya shkola, 1986, 479 p.
47. Geraskin P.P., Metallov G.F., Aksenov V.P., *Osetrovoye khozyaistvo vodoemov SSSR* (Sturgeon farming in water bodies of the USSR), Astrakhan: Publishing House of the Central Research Institute of Sturgeon Farming, 1984, pp. 81–83. (In Russ.)
48. Ponomareva E.N., Geraskin P.P., Metallov G.F., Nevalennyi A.N., Grigoryev V.A., Sorokina M.N., Fedorovykh Yu.V., Features of Changes in the Functional State of Sturgeon during Maturation in Closed Water-Supply Installations, *Inland Water Biology*, 2021, Vol. 14, No. 1, pp. 87–93.
49. Geraskin P.P., Kovaleva A.V., Grigor'ev V.A., Firsova A.V., Yaitskaya M.V., Vetrova V.Zh., *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Rybnoe khozyaistvo*, 2019, No 4, pp. 95. (In Russ.)

50. Romanova E.M., Spirina E.V., Romanov V.V., Shadyeva L.A., *Vestnik Ul'yanovskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii*, 2020, No. 1 (49), pp. 79–84. (In Russ.)
51. Elgendey F., Wakeel R., Hemeda S., Elshawash A., Fadl S., Abdelazim A., Alhujaily M., Khalifa O., Selenium and/or vitamin E upregulate the antioxidant gene expression and parameters in broilers, *BMC Veterinary Research*, 2022, Vol. 18 (1), pp. 310.
52. Liu A., To V.P.T H., Santigosa E., Dumas A., Hernandez J.M., Vitamin nutrition in salmonid aquaculture: From avoiding deficiencies to enhancing functionalities, *Aquaculture*, 2022, Vol. 561 (738), pp. 738654.