

ЭКОЛОГИЯ

Научная статья
УДК 597.551.2-1.05.03(262.54)
doi: 10.17223/19988591/57/7

Физиолого-биохимические адаптационные показатели азовской тарани *Rutilus rutilus* (L.) на разных этапах жизненного цикла

Светлана Григорьевна Сергеева¹, Леонид Анатольевич Бугаев²,
Анна Владимировна Войкина³, Марина Анатольевна Цыбульская⁴

^{1, 2, 3, 4} Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства
и океанографии, Азово-Черноморский филиал, Ростов-на-Дону, Россия

¹ sgs1301@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0001-5685-8709>

² bugaev_l_a@azniirkh.ru, <http://orcid.org/0000-0002-4440-0845>

³ voykina_a_v@azniirkh.ru, <http://orcid.org/0000-0001-8953-8154>

⁴ tsybulskaya_m_a@azniirkh.ru, <http://orcid.org/0000-0002-0134-0934>

Аннотация. Обобщены результаты многолетних исследований по изучению ряда показателей, используемых для оценки физиологического состояния популяции азовской тарани *Rutilus rutilus* (L., 1758). Определены среднегодовалые значения и референсный диапазон изменений, так называемый «коридор нормы», содержания влаги, белка и общих липидов в тканях и органах тарани, белка, холестерина и липидов, веществ, характеризующих трофическую составляющую крови. Показано, что многие из этих показателей имеют определенную сезонную динамику и зависят от пола рыб и стадии зрелости гонад. Результаты исследований состояния азовской тарани на основании изучения ее биохимического статуса позволили определить физиологическую норму для этого объекта в современных условиях. Снижение жирности мышц (< 3%) и печени (<8%) в преднерестовый период сказывается на обеспечении нормального процесса созревания рыб и в дальнейшем благополучного хода эмбриогенеза. Содержание белка в мышцах тарани – достаточно стабильный показатель, оптимальные значения его составляют 130–170 мг/г. В сыворотке крови уровень белка ниже 30 г/л, холестерина ниже 2,6 ммоль/л (100 мг%), липидов ниже 0,50 г/л является сигналом неблагоприятных условий обитания. Оптимальные значения содержания белка в зрелой икре самок тарани находятся в интервале 150–250 мг/г, а жира – не менее 7–8%.

Ключевые слова: тарань *Rutilus rutilus*, жизненный цикл, белок, влага, липиды, холестерин, гонады, стадия зрелости

Для цитирования: Сергеева С.Г., Бугаев Л.А., Войкина А.В., Цыбульская М.А. Физиолого-биохимические адаптационные показатели азовской тарани *Rutilus rutilus* (L.) на разных этапах жизненного цикла // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2022. № 57. С. 131–157. doi: 10.17223/19988591/57/7

Original article

doi: 10.17223/19988591/57/7

**Physiological and biochemical adaptation indicators of the Azov sea roach
Rutilus rutilus (L.) at various stages of its life cycle**

Svetlana G. Sergeeva¹, Leonid A. Bugaev², Anna V. Voykina³,
Marina A. Tsybul'skaya⁴

^{1, 2, 4} Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography,
Azov-Black Sea Branch, Rostov-on-Don, Russian Federation

¹ sgs1301@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0001-5685-8709>

² bugaev_1_a@azniirkh.ru, <http://orcid.org/0000-0002-4440-0845>

³ voykina_a_v@azniirkh.ru, <http://orcid.org/0000-0001-8953-8154>

⁴ tsybul'skaya_m_a@azniirkh.ru, <http://orcid.org/0000-0002-0134-0934>

Summary. The roach, inhabiting the Azov Sea, is a semi-anadromous form of the species *Rutilus rutilus* (L., 1758) that holds major commercial importance. This study has been aimed at the investigation of long-term dynamics exhibited by some characteristics of metabolic activity in roach.

The samples for various stages of its life cycle, including spawning, fattening, and wintering states, have been collected during sea trips, through catches of coastal stationary seines in various areas of the Azov Sea, and upon the breeders approaching to the spawning and rearing farms (hatcheries) of the Azov-Kuban Region. Around 3000 matured roach individuals aged 3-5 years have been investigated. Average long-term and reference intervals have been established, which limited 80% of the sample; the content of moisture, protein and total lipids in the tissues and organs of roach, as well as protein, cholesterol and lipids in blood, and the elements indicating its trophic quality has been identified. Table 1 shows the results obtained for determining the content of protein and lipids in gonads, liver and muscles, protein, cholesterol and lipids in blood serum. The data are presented in the form of a mean and a mean error ($M \pm m_M$).

We found out that the investigated characteristics have high variability showing seasonal dynamics and associated with metabolic features of fish individuals with the gonad differing in maturity. During the fattening season that covers the end of spring, summer and autumn, the synthesis of lipids and protein and their deposition in muscle tissue and liver is taking place, their content in blood serum increases, and after this, a relatively fast gonadogenesis begins. Wintering starts with the developed reproductive products at the 4th maturity stage in females and at the 3rd-4th maturity stage in males. After winter depletion of depot fat used for maintaining catabolism and formative processes, their further reduction ensues. After spawning, content of these elements drops to their minimum. In female gonads, in the course of oocyte maturation from the 2nd to the 4th maturity stage, considerable accumulation of fat and protein takes place. Protein content in muscles is normally maintained at a constant level. The dynamics of the studied indicators is shown in Figures 2-8.

Results of the investigation of the physiological status of the Azov Sea roach have made it possible to determine a physiological norm for this fish species for the present time. The fat content varies by season from 5.7 to 10.2% in muscles, and from 10.2 to 50.4% in liver. Its decrease during pre-spawning (down to less than 3% in muscles and less than 8% in liver) affects the normal course of fish maturation and, later on, interferes with successful embryogenesis. The protein content in roach muscles is relatively stable; its optimal values lie within the range 130-170 mg/L. The protein content in muscles that is lower than 100 mg/g is considered critical. Optimal values of the protein content in ripe eggs of roach females range between 150 and 250 mg/g, and for the fat content they are no lower than 7-8%. High content of protein

(58-100 g/L), lipids (2.0-3.8 g/L) and cholesterol (5.9-15.9 mmol/L) is recorded in blood serum during fattening; in the pre-spawning season, their amount decreases. Total protein content in the blood serum of roach females being higher than 80 g/L during the pre-spawning season indicates the beginning of resorption processes in reproductive products, which is supported by the data collected during histological surveys. The content of protein lower than 30 g/L, of lipids lower than 0.50 g/L, and cholesterol lower than 2.6 mmol/L is indicative of emaciation in fish, and attests to the unfavorable environment.

The paper contains 8 Figures, 1 Table and 61 References.

Keywords: Azov roach *Rutilus rutilus*, life cycle, protein, moisture, lipids, cholesterol, gonads, maturity stage

For citation: Sergeeva SG, Bugaev LA, Voykina AV, Tsybul'skaya MA. Physiological and biochemical adaptation indicators of the Azov sea roach *Rutilus rutilus* (L.) at various stages of its life cycle. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya = Tomsk State University Journal of Biology*. 2022;57:131-157. doi: 10.17223/19988591/57/7

Введение

Каждый период жизненного цикла рыб характеризуется специфическими особенностями метаболизма, без которых невозможно нормальное осуществление жизненных процессов в популяции [1]. Метаболические процессы являются одним из инструментов реализации адаптационных возможностей организма на абиотические (температура, гидрохимические особенности водоема) и биотические (качество и доступность кормовой базы, наличие тех или иных инвазий) факторы среды. Наиболее распространенными биохимическими тестами функционального состояния рыб в аспекте реализации адаптационного потенциала особи на разных этапах цикла являются определения таких биологических параметров, как содержание влаги, белка и липидов в тканях и органах. Биологическая ценность и информативность этих показателей подтверждены большим количеством теоретических и экспериментальных работ [2–6]. Достаточно информативными являются и индексы жизненно важных органов рыб, динамика которых порой зависит от зрелости гонад и сезонных изменений метаболизма [7].

Для диагностики состояния организма особую важность приобретает знание нормы, диапазона значений исследуемых показателей, характеризующих эту «норму», позволяющих нормальному протеканию всех жизненно важных процессов организма, связанных с репродукцией и поддержанием жизнеспособности организма в изменяющихся условиях среды [8, 9].

Тарань представляет собой полупроходную форму плотвы *Rutilus rutilus* (L, 1758), которая эволюционно возникла в условиях относительно пресного Азовского моря. Это важный промысловый вид Азовского моря, основные нерестилища тарани находятся в Азово-Кубанском и Азово-Донском районах. Распространение азовской популяции тарани в морской части ареала неравномерно и зависит от солености воды и продуктивности кормовых площадей [10]. В настоящее время ареал тарани занимает прибрежную зону восточной и северо-восточной части Азовского

моря. Распределение тарани в прибрежной зоне моря ограничивается глубинами 4–8 м. Изогалина 11‰ – это верхняя граница оптимальной солёности для тарани. В результате зарегулирования стока Азовского моря в середине 1970-х гг. солёность вод увеличилась до критических значений и составила в среднем 13,8‰. В этот период было отмечено снижение численности и ухудшение качества рыб в популяции азовской тарани [11]. В 1990-е гг. солёность вод менялась от 10,6 до 11‰, т.е. была сопоставимой с величинами, отмечавшимися в годы естественного режима стока рек бассейна [12]. В дальнейшем отмечалось незначительное снижение солёности, к 2006 г. она достигла 9,3‰. Период 2000–2013 гг. характеризовался распреснением Азовского моря до значений, свойственных естественным условиям [13]. С 2013 г. вследствие климатических и антропогенных преобразований материкового стока в Азовское море, особенно стока р. Дон, отмечена тенденция роста этого показателя. В 2018 г. значение среднегодовой солёности незначительно превысило 13,8‰, а в 2020 г. значения этого показателя достигли максимальных значений для периода наблюдений 1960–2019 гг. и составили 14,5‰ [14]. Таким образом, до 2018 г. солёность Азовского моря была на оптимальном для популяции тарани уровне. Все описанные гидрохимические флуктуации оказывали существенное влияние на динамику тарани, так как в значительных пределах изменялась площадь нагульной части ареала как для взрослых особей, так и для молоди. В ответ на снижение благоприятности среды обитания отмечались общее уменьшение размерно-массовых характеристик производителей, идущих на нерест, уменьшение на один год сроков первого созревания особей [15]. Все это находит отражение в изменении показателей метаболизма рыб.

Результаты мониторинга физиологического состояния нерестовой части популяции тарани в разные периоды жизненного цикла, проводимого нами с 1991 г., позволяют определить количественные границы содержания запасных и лабильных веществ в организме рыб, характерные для современного (благополучного для тарани) состояния экосистемы Азовского моря. В дальнейшем такие данные должны учитываться при оценке «нормальности» или «ненормальности» состояния организма в изменяющихся условиях среды [9].

Цель данного исследования – анализ многолетних данных по динамике содержания белка и общих липидов в мышцах, печени и гонадах тарани, общего белка, альбуминов, глобулинов, холестерина и липидов сыворотки крови, индекса печени, определение референсных диапазонов этих показателей.

Материалы и методики исследования

Представленные нами материалы получены за более чем двадцатипятилетний период исследования (с 1991 по 2020 г.) современного состояния популяции азовской тарани. В разные периоды жизненного цикла, включающие нерестовое, нагульное и зимовальное состояние, проводился сбор проб в морских рейсах, из уловов береговых ставников в разных районах

Азовского моря, а также в период подходов производителей к нерестово-выростным хозяйствам (НВХ) Азово-Кубанского района. Ежегодно в каждый сезон для анализа отбирали по 20 самок и 10 самцов. Исследовано более 3 000 половозрелых особей в возрасте 3–5 лет. Сбор материала осуществляли согласно стандартной методике И.Ф. Правдина (1966) [16]. Каждую особь измеряли с точностью до 0,1 см и взвешивали с точностью до 0,05 г. Для определения возраста использовали чешую. По внешнему виду гонад определяли половую принадлежность и стадию зрелости половых продуктов в соответствии со шкалой зрелости, предложенной В.А. Мейен (1940) [17]. Пробы мышц вырезали из большой боковой мышцы тела рыбы выше боковой линии. Кровь собирали из каудальной вены с помощью стерильного пластикового шприца объемом 2 см³, помещали в сухую пластиковую пробирку Эппендорфа (Eppendorf Russia & CIS). Отделение жидкой части (сыворотки) от клеток крови осуществляли методом центрифугирования с использованием центрифуги СМ-12-08 (Россия) в течение 10 мин при 4 500 об/мин. Полученную сыворотку хранили при –18 °С [18]. После забора крови рыбу вскрывали, выделяли печень, взвешивали с точностью до 0,001 г для расчета гепатосоматического индекса ($M_{\text{печени}} / M_{\text{тела}} \times 100$). Затем каждую рыбу осматривали для выявления внешних и внутренних аномалий или поражений.

Определение влаги проведено весовым методом [19]. Для определения массовой доли липидов в образцах ткани осуществляли непрерывную экстракцию по методу Сокслета [19] с использованием полуавтоматического анализатора содержания жиров FA-46 (Bioevopeak Co., Ltd, China). Метод основан на экстракции жира органическим растворителем (эфир диэтиловый) из сухой навески и последующим определении его массы взвешиванием. Содержание белка в тканях определяли по методике Лоури [20] с использованием бычьего сывороточного альбумина в качестве стандарта.

Сыворотка крови без следов гемолиза использована для определения количества общего белка, альбумина и глобулинов, холестерина и липидов. Анализ состава сыворотки крови проведен с помощью автоматического биохимического анализатора Stat Fax 4500 (Awareness Technology, USA) наборами реагентов компании Абрис+ (Санкт-Петербург, Россия).

Массив данных обрабатывали статистически с использованием *t*-критерия Стьюдента, отличия считались статистически значимыми при $p < 0,05$. Для установления референсных значений использовали интердильный размах, содержащий в себе центральные 80% наблюдений, т.е. те наблюдения, которые располагаются между 10-м и 90-м перцентилями. Для количественной оценки тесноты связи между исследованными показателями использовали коэффициент корреляции *CR*. Данные в таблице и на рисунках представлены в виде средней и ошибки средней ($M \pm m_M$). Статистическая обработка полученных данных и построение графических изображений (гистограммы) осуществлялись с использованием стандартного пакета программ Microsoft Office Excel 2010, StatSoft Statistica 12 for Windows.

Результаты исследования и обсуждение

У тарани в соответствии с периодами жизненного цикла происходят изменения яичников и семенников, которые связаны с присутствием в них определенных комплексов половых клеток, находящихся на разных фазах развития. Стадия II у половозрелых особей начинается после окончания VI стадии (посленерестовый период), т.е. с мая, и продолжается по июнь–июль. Этот процесс может продолжаться до 1,5 месяца. Продолжительность созревания гонад III стадии длится 1–1,5 месяца (до конца августа). Это период активного нагула тарани (летний и осенний нагул). Стадия зрелости IV у самок тарани наступает с октября и продолжается до марта–апреля. Всю зиму яичники находятся в IV стадии зрелости (зимовальный период). Гонады самцов в этот период менее зрелые (стадии III–IV). Ранней весной переход гонад из IV (преднерестовый период) в V стадию совершается быстро, в течение нескольких дней. Затем наступает нерест.

Анализ многолетней динамики физиологических показателей тарани свидетельствует об их высокой зависимости от периода жизненного цикла и, соответственно, от стадий зрелости половых продуктов. Средние величины некоторых показателей и их референсные значения приведены в таблице.

Многолетние данные по физиологическим показателям тарани в разные периоды цикла

[Long-term data on the physiological parameters of roach in different periods of the cycle], $M \pm m_M$

Показатель [Indicator]	Летний нагульный период [Summer feeding period]		Осенний нагульный период [Autumn feeding period]		Зимовальный период [Wintering period]		Нерестовый период [Spawning period]	
	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂
Липиды гонад [Gonadal lipids], % *	61,3±1,5	56,7±1,	16,1±0,8	41,2±2,8	9,9±0,5	18,5±0,5	8,6±0,4	21,4±0,4
Референсные значения, [The reference values], % *	42–75	40–69	6–30	28–60	6–14	8–27	5–4	9–35
Липиды печени [Liver lipids], % *	50,4±1,3	50,2±1,1	29,3±2,4	33,7±3,2	19,7±3,6	19,9±5,2	10,1±0,5	10,9±0,8
Референсные значения [The reference values], % *	40–61	43–56	20–50	20–55	11–24	10–32	5–16	5–17
Липиды мышц [Muscle lipids], % *	7,1±1,1	9,2±0,8	8,1±0,5	10,2±0,7	6,3±0,4	9,3±0,6	5,7±0,2	6,0±0,4
Референсные значения [The reference values], % *	5–20	5–13	5–12	7–16	4–11	4–14	3,5–11	4–14

Продолжение таблицы [Table (continue)]

Показатель [Indicator]	Летний нагульный период [Summer feeding period]		Осенний нагульный период [Autumn feeding period]		Зимовальный период [Wintering period]		Нерестовый период [Spawning period]	
	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂
Белок гонад, мг/г [Gonadal protein, mg/g]	115±6	64±3	202±7	82±4	217±8	80±5	203±4	84±5
Референсные значения, мг/г [The reference values, mg/g]	65–166	48–104	140–264	59–104	151–284	56–118	131–270	68–121
Белок печени, мг/г [Liver protein, mg/g]	161±6	166±6	156±6	136±8	124±8	149±4	148±3	132±7
Референсные значения, мг/г [The reference values, mg/g]	112–211	127– 206	105–206	92–180	92–136	104–157	104–213	91–173
Белок мышц, мг/г [Muscle protein, mg/g]	154±4	148±7	157±5	161±6	156±5	148±6	142±3	144±4
Референсные значения, мг/г [The reference values, mg/g]	119–189	114– 183	118–195	122–199	111–200	107–189	102–187	100–189
Количество исследованных рыб, экз. [The number of fish studied, pcs.]	360	270	220	180	180	150	530	380
Белок сыворот- ки крови, г/л [Blood serum protein, g/l]	–	–	81,1±5,5	82,0±7,8	–	–	65,7±1,4	63,9±1,9
Референсные значения [The reference values, g/l]	–	–	58,5– 110,0	64,1– 99,7	–	–	45,1– 87,2	36,4– 87,1
Холестерин сыворотки крови [Blood serum cholesterol], mmol/l	–	–	10,7±1,3	13,4±1,4	–	–	9,0±0,5	8,8±0,6
Референсные значения, г/л [The reference values, mmol/l]	–	–	5,9–13,1	10,1– 15,9	–	–	5,4–11,9	4,0–12,1

Окончание таблицы [Table (end)]

Показатель [Indicator]	Летний нагульный период [Summer feeding period]		Осенний нагульный период [Autumn feeding period]		Зимовальный период [Wintering period]		Нерестовый период [Spawning period]	
	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂
Липиды сыворотки крови, г/л [Blood serum lipids, g/l]	–	–	2,2±0,1	2,6±0,0,3	–	–	1,8±0,3	2,0±0,1
Референсные значения, г/л [The reference values, g/l]	–	–	1,8–3,2	2,0–3,8	–	–	0,8–2,4	1,1–2,5
Количество исследованных рыб, экз. [The number of fish studied, pcs.]	–	–	250	180	–	–	320	270

* Содержание жира на сухое вещество [* Fat content per dry substance].

Печень – один из ведущих органов в процессах метаболизма, поэтому кроме показателей обмена мы использовали и такой показатель, как индекс печени. В значительной мере состояние печени определяется экологическим качеством внешней среды, однако эти проблемы в рамках данной статьи не рассматриваются. Важная функция этого органа – синтез и депонирование запасных веществ (белков, липидов, углеводов в виде гликогенов) [2]. Поэтому от количества накопления этих резервных веществ в гепатоцитах зависят и размеры органа. В период нагула у рыб с гонадами II–III стадии зрелости индекс печени максимальный, так как идет активное питание рыб (1,66% у самок и 1,61% у самцов), различия по полу отсутствуют ($p = 0,63$). В конце осеннего периода, когда происходят значительные траты на созревание гонад (IV стадия зрелости у самок и III стадия зрелости у самцов), индекс печени уменьшается до 1,21% у самок и 1,29% у самцов, причем здесь не наблюдалось статистически значимых различий в зависимости от пола ($p = 0,69$). В период зимовки относительные размеры печени минимальные – 1,07% как у самок, так и самцов. Весной перед нерестом отмечается увеличение индекса до 1,36 у самок и 1,39 у самцов, что свидетельствует об активизации деятельности печени (различия по полу отсутствуют, $p = 0,22$). После нереста, когда тарань начинает питаться, относительные размеры печени увеличиваются. Таким образом, изменения этого показателя не зависят от пола, а определяются периодом жизненного цикла, достигая максимального значения в период активного нагула (рис. 1).

Ресурсы, поступающие в организм, идут, с одной стороны, на соматический рост, поддерживающий обмен, и на формирование репродуктивных тканей. Важное место в этом процессе занимают липиды (суммарный жир). У рыб липиды могут находиться в печени, в мышцах, висцеральной

жировой ткани; места хранения, так называемые жировые депо, зависят от вида рыб [21, 22]. Содержание липидов у представителей разных видов рыб значительно изменяется по сезонам [23–26]. Особенности и периодичность липидного обмена в значительной степени определяют характер созревания рыб и время вступления их в процесс нереста [27, 28]. Особенно активно используются липиды на заключительной стадии созревания ооцитов [25], а также в период нерестовых миграций [27, 29].

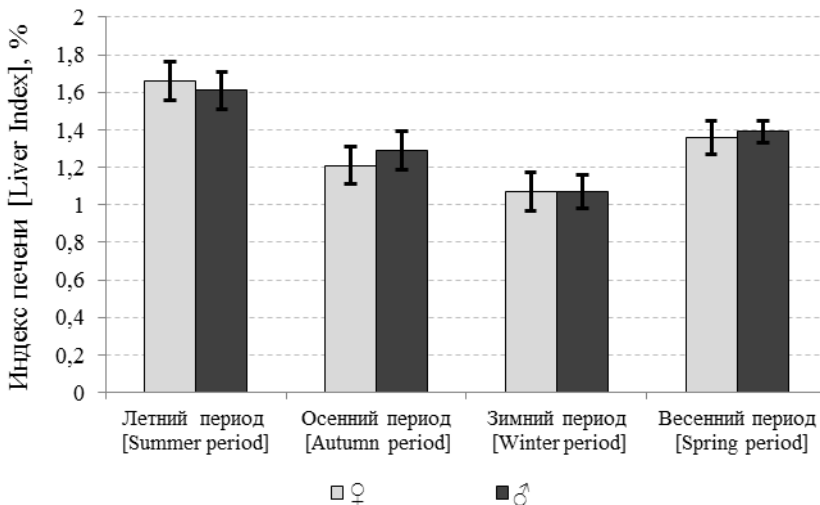


Рис. 1. Индекс печени (%) самок и самцов тарани в разные периоды
 [Fig. 1. Liver Index (%) of female and male roach in different periods] ($M \pm m_M$)

Известно, что у особей одного поколения, в организме которых не достигнут определенный уровень содержания резервных органических веществ, ооциты протоплазматического роста (II стадия зрелости) не переходят в период трофоплазматического роста (III стадия зрелости) [30]. При дефиците липидов созревание рыб не только замедляется, в критических ситуациях их половые продукты резорбируются [31–33].

У половозрелой тарани в нагульный период, который охватывает конец весны, лето и осень, происходит интенсивное накопление липидов, и только после этого начинается довольно быстрый гонадогенез. В зиму тарань уходит со сформированными половыми продуктами IV стадии зрелости. Основная часть жировых запасов у тарани сосредоточена в так называемом висцеральном жире, в том числе на поверхности гонад. Жир буквально обволакивает гонады как самок, так и самцов. В нагульный летний период различия в содержании общих липидов в гонадах у самок и самцов невысокие ($p < 0,05$). По многолетним данным, количество липидов гонад достигает у самок 61,3%, у самцов 56,7%. В конце осеннего периода, когда у самок уже сформированы зрелые гонады (IV незавершенная стадия зрелости), содержание общих липидов снижается до 16,1%. У самцов, у которых в этот период гонады III стадии зрелости, их содержание остается еще вы-

соким – 41,1% (различия по полу статистически значимые, $p < 0,0001$). В зимний период содержание общих липидов в гонадах снижается до 9,9% у самок и 18,5% у самцов ($p < 0,0001$). Самое большое падение количества общих липидов отмечается в нерестовый период, когда его запасы у самок истощены (рис. 2). В это время определяется только жир, содержащийся непосредственно в зрелой икре в виде жировой капли (среднемноголетнее значение 8,6%). Референсный диапазон содержания общих липидов в зрелых гонадах самок перед нерестом составляет 5–14%, содержание общих липидов ниже 4% для самок является критическим. У самцов в гонадах содержание липидов высокое (до 21,4%), жир рассредоточен в строме семенников в виде жировых вакуолей. Различия по полу статистически значимые, $p < 0,0001$. Такие различия являются следствием более высокого темпа накопления в яйцеклетках нелипидных веществ (прежде всего, белков), что сильно увеличивает общее содержание сухих веществ в гонадах, достигающее почти 50% у самок и 25% у самцов. При сравнении содержания общих липидов в гонадах в сезонном аспекте отмечены различия между всеми сезонами. К примеру, для самок по оси «зима–лето» $p < 0,0001$, «весна–лето» $p < 0,0001$. Таким образом, различия по содержанию липидов в гонадах тарани зависят как от пола, так и от сезона.

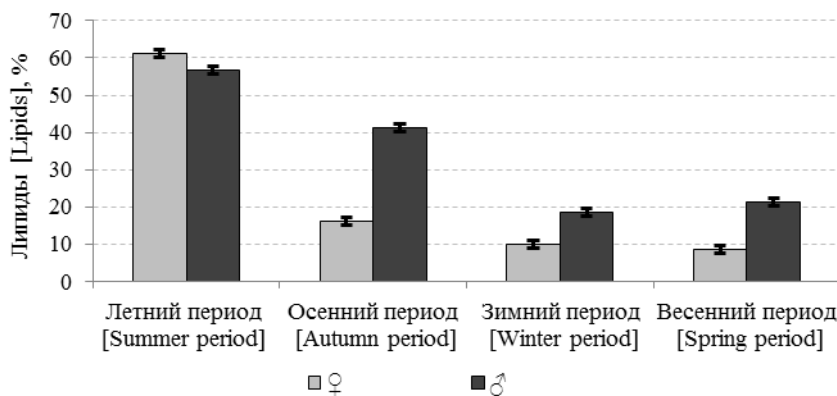


Рис. 2. Содержание общих липидов в гонадах самок и самцов тарани в разные периоды [Fig. 2. The content of total lipids in the gonads of female and male roach in different periods] ($M \pm m_M$)

Физиолого-биохимические сдвиги в организме созревающих рыб сказываются на состоянии печени, занимающей главное место в промежуточном обмене веществ. Во время зимовки липиды, запасенные в печени, используются на поддержание энергетического обмена и на формообразовательные процессы [28]. Максимальное содержание липидов в печени отмечается в период летнего нагула и осенью и составляет в среднем 50,4% у самок и 50,2% у самцов (различия по полу отсутствуют, $p = 0,907$). Перед зимовкой у самок со зрелыми гонадами IV стадии зрелости содержание липидов снижается до 29,3%, у самцов (III стадия) – до 33,7% (при более высоких значениях у самцов, $p < 0,05$). В зимний период отмечается сни-

жение содержания общих липидов в печени, различия по полу отсутствуют ($p = 0,898$). Минимальные значения этого показателя отмечаются в нерестовый период и в среднем составляют 10,1% у самок и 10,9% у самцов ($p = 0,340$). Референсный диапазон для производителей в преднерестовый период составляет 5–17%, содержание липидов в печени ниже 4% свидетельствует об истощенности рыб. По содержанию общих липидов в печени отмечаются статистически значимые различия в зависимости от сезона как у самок, так и у самцов («зима–весна» $p < 0,0001$; «весна–лето» $p < 0,00001$) (рис. 3).

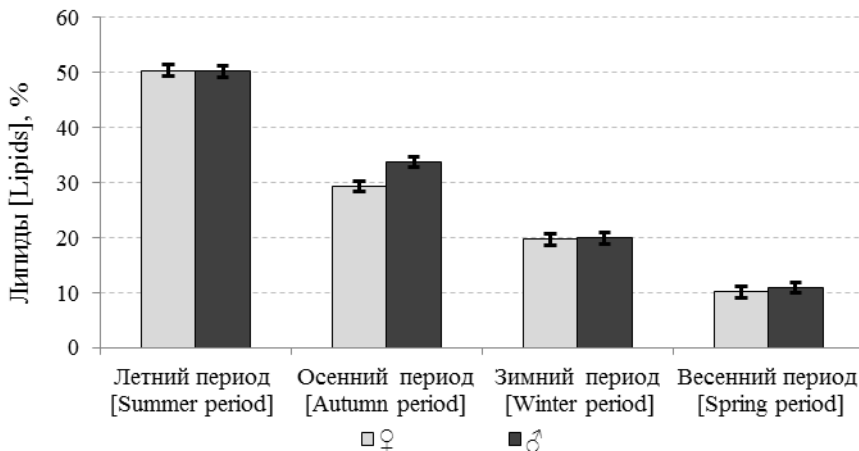


Рис. 3. Содержание общих липидов в печени самок и самцов тарани в разные периоды [Fig. 3. The content of total lipids in the liver of female and male roach in different periods] ($M \pm m_M$)

Тарань по содержанию общих липидов в мышцах относят к группе среднежирных рыб. Динамика содержания жира в мышцах половозрелой тарани имеет такую же направленность, как в гонадах и печени, однако его количество в мышечной ткани гораздо ниже. Если для гонад и печени содержание липидов от максимальных значений в нагульный период до минимальных в нерестовый снижается в 5–6 раз, то для мышц эта величина изменяется на 20–30%. При сравнении зависимости количества общих липидов в мышцах от пола рыб отдельно во все исследованные периоды были отмечены статистически значимые различия в летний, осенний и зимовальный период ($p < 0,05$, $p < 0,005$ и $p < 0,0002$). Перед нерестом значения этого показателя у самок и самцов близкие. Более существенные различия для самок и самцов были отмечены при сезонном сравнении ($p < 0,005$). В период интенсивного нагула среднееголетние значения содержания общих липидов составляют для самок 8,1% (референсные значения 5–12%), для самцов 10,2% (референсные значения 7–16%), в нерестовый период их количество снижается до 5,7% (референсные значения 3,5–11%) и 6,0% (референсные значения 4–14%) соответственно (рис. 4).

В последние годы у азовской тарани отмечается значительное снижение содержания общих липидов в тканях. Так, в 2019 г. по результатам обследова-

дования производителей тарани из нерестово-выростных хозяйств, относящихся в ФГБУ «Бейсугское НВХ», в нерестовый период содержание общих липидов в мышцах рыб всех возрастов варьировало от 2,4 до 8,2% (среднее значение 5,0%) у самок и от 5,3 до 7,6% (среднее значение 6,5%) у самцов. Причем доля самок с критически низкими значениями этого показателя (менее 3,5%) составляла 20%. Наибольшее снижение содержания липидов отмечено в 2020 и 2021 гг. Содержание общих липидов в мышцах самок (3,2%) и самцов (2,8%) перед нерестом ниже среднееголетних значений для этого периода ($p < 0,001$). В печени самок их содержание составляло 8,7%, самцов – 8,9%, что также гораздо ниже среднееголетних значений (10,1% для самок и 10,5% для самцов).

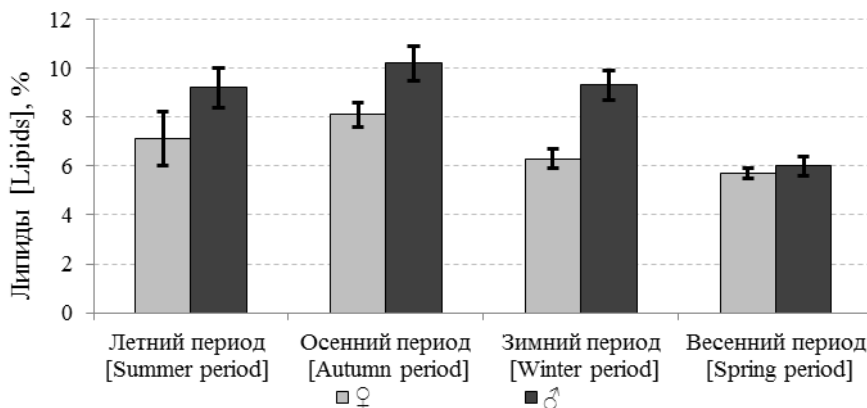


Рис. 4. Содержание общих липидов в мышцах самок и самцов тарани в разные периоды [Fig. 4. The content of total lipids in the muscles of female and male roach in different periods] ($M \pm m_M$)

Аналогичная картина отмечается и для воблы Волжского бассейна. Уровень общих липидов в мышцах воблы в последние годы был настолько низким, что большую часть производителей можно отнести к категории истощенных рыб [34, 35]. По сравнению с началом 2000-х гг. содержание липидов в мышцах в осенний период снизилось в 2,5–4,0 раза, в гонадах – в 3–4 раза [33]. Расход липидов за зимовку и при переходе в нерестовое состояние у каспийской воблы достигает в среднем 50%, поэтому снижение показателей нагула влияет на качество нерестовых мигрантов. По оценкам исследователей, в период нереста отмечается до 40% рыб с дефицитом общих липидов в мышцах [31, 35, 36].

Для азовской тарани одной из причин существенного снижения жирности мышц является катастрофическое повышение солености азовоморских вод, наблюдаемое с 2018 г. [14]. В ряде работ по изучению влияния солености на обмен веществ у рыб отмечается, что с увеличением солености воды в мышцах рыб содержание белка увеличивается, а содержание общих липидов снижается. Изменение минерализации воды сопровождается изменением нагрузки на системы обеспечения осмотического, ионного и кислотно-щелочного баланса организма [37–39]. На содержание жира в

мышечной ткани рыб влияет и такой важный фактор, как кормовые ресурсы [40–42]. Увеличение солености существенно изменило видовой и количественный состав животного планктона и бентоса Азовского моря и Таганрогского залива, в том числе видов, являющихся основными кормовыми организмами для тарани [43, 44]. Этот вопрос требует особого внимания и будет рассмотрен авторами в дальнейших публикациях.

Содержание белка в гонадах самок тарани зависит от стадии зрелости. Наименьшее его количество (30–40 мг/г) отмечается после нереста, когда в гонадах II стадии зрелости присутствуют только ооциты протоплазматического роста (резервный фонд). В летний период по достижении гонадами III стадии зрелости (фаза первоначального накопления желтка) содержание белка увеличивается более чем в два раза (среднегодовое значение 115 мг/г). Перед зимовкой у тарани в гонадах IV незавершенной стадии зрелости (фаза накопления желтка) количество белка в среднем достигает 200 мг/г, т.е. отмечается двукратное увеличение по сравнению с гонадами III стадии зрелости ($p < 0,0001$). В зимний период и до начала нереста, когда гонады имеют IV завершенную и IV–V стадии зрелости, содержание белка в икре практически не изменяется ($p = 0,874$) (рис. 5). Референсные значения содержания белка в зрелой икре находятся в интервале 131–270 мг/г. Количество белка ниже 100 мг/г свидетельствует о низком качестве икры.

У самцов содержание белка в гонадах невысокое и по сезонам изменяется незначительно. Сразу после нереста белок в гонадах практически не определяется. В период летнего нагула, когда семенники имеют II стадию зрелости, количество белка достигает 64 мг/г, а затем оно увеличивается, к периоду нереста (IV стадия) составляет в среднем 84 мг/г (референсные значения 68–121 мг/г) (рис. 6).

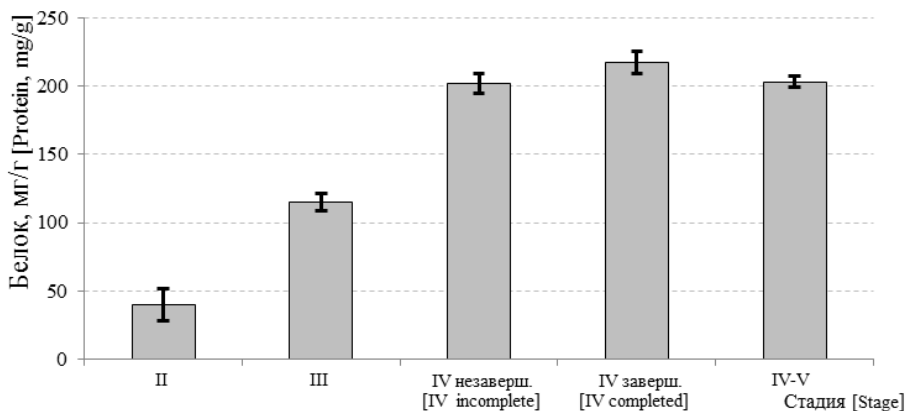


Рис. 5. Содержание белка в гонадах самок тарани разной стадии зрелости
 [Fig. 5. The protein content in the gonads of female roach at different stages of maturity] ($M \pm m_M$)

Содержание белка в печени самок и самцов в меньшей степени зависит от стадии зрелости гонад. Наибольшее количество белка отмечается летом

и осенью в период активного нагула, в зимний период у самок отмечается достаточно резкое (до 20%) снижение количества белка ($p < 0,005$) (рис. 7), что происходит на фоне увеличения количества белка в гонадах (см. рис. 5).

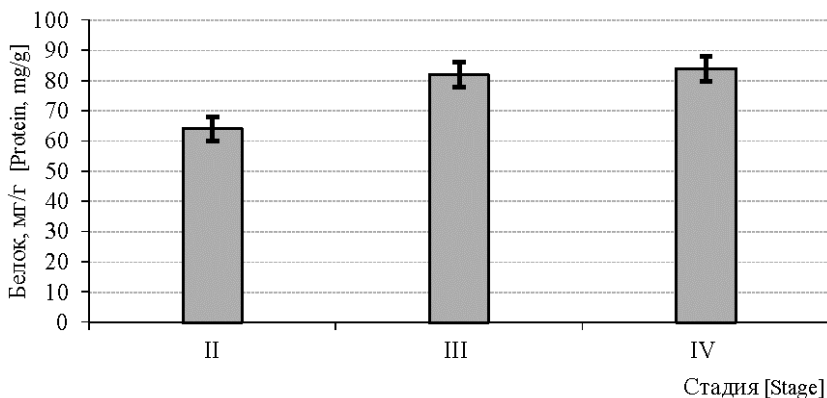


Рис. 6. Содержание белка в гонадах самцов тарани разной стадии зрелости [Fig. 6. The protein content in the gonads of male roach different stages of maturity] ($M \pm m_M$)

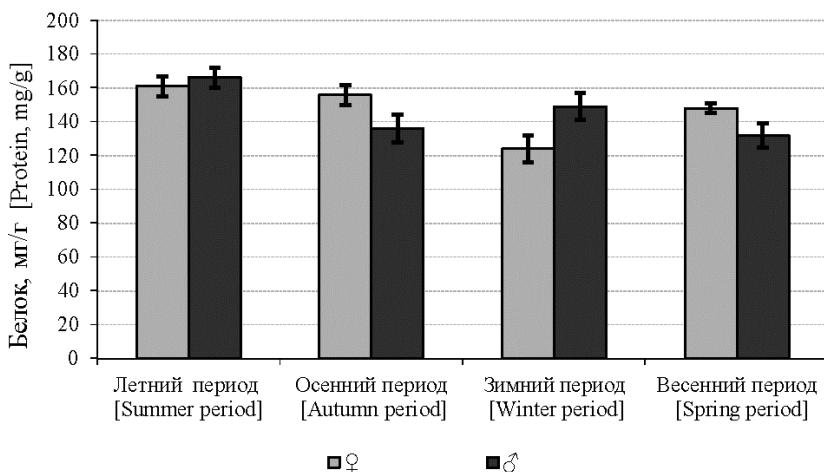


Рис. 7. Содержание белка в печени самок и самцов тарани в разные периоды [Fig. 7. The protein content in the liver female and male of roach in different periods] ($M \pm m_M$)

Содержание белка в мышцах в течение года характеризуется близкими значениями как у самок, так и у самцов. Лишь в нерестовый период отмечается незначительное снижение его количества, которое коррелирует с содержанием жира ($CR = -0,528$). В конце нагульного периода содержание белка в мышцах самок составляет 157 мг/г, самцов – 161 мг/г, а к началу нереста – 142 (референсные значения 102–187) и 144 (референсные значения 100–189) мг/г соответственно (рис. 8). Такая динамика содержания белка в мышцах характерна и для других видов рыб [9, 29, 36]. Потери белка во время зимовки и созревания половых продуктов у представителей

рода *Rutilus*, как правило, не превышают 10–30% от их количества осенью [45, 46]. Снижение уровня белка мышц является результатом неудовлетворительного состояния рыбы в период формирования и созревания половых продуктов. Мышечные белки являются структурными веществами и входят в качестве важнейших компонентов в состав тканевых оболочек, клеточных и субклеточных мембран, отсюда ясно значение поддержания белка в организме на постоянном уровне [1]. Ориентируясь на референсные значения этого показателя (коридор нормы) в разные сезоны жизненного цикла самок и самцов тарани, мы можем говорить о том, что содержание белка в мышцах ниже 100 мг/г может свидетельствовать об ухудшении физиологического состояния особей.

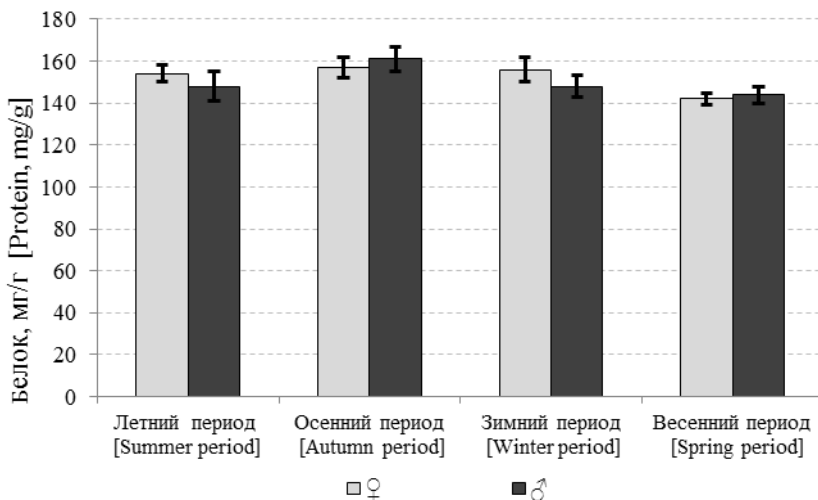


Рис. 8. Содержание белка в мышцах самок и самцов тарани в разные периоды
[Fig. 8. The protein content in the muscles female and male of roach in different periods] ($M \pm m_M$)

Информативным индикатором состояния организма является кровь, биохимический состав которой чутко реагирует на воздействие факторов среды [47]. Показатели белково-липидного комплекса сыворотки крови отражают такие биологические процессы, как степень нагула, истощение, процессы, связанные с созреванием или дегенерацией икры [48]. Достаточно важный показатель физиологического состояния рыб – содержание белка в сыворотке крови. Снижение его уровня отмечается при истощении, которое может быть биологически нормальным, обусловленным созреванием гонад, или быть вызванным неблагоприятными условиями обитания. В преднерестовый период и во время нереста содержание белка в сыворотке крови составляет у самок в среднем 65,7 г/л (референсные значения 45,1–87,2 г/л), у самцов – 63,9 г/л (референсные значения 36,4–87,1 г/л) (различия по полу отсутствуют, $p = 0,418$). После нереста (стадии зрелости VI–II) содержание сывороточного белка снижается до 35–45 г/л, а затем к лету оно увеличивается. Максимальных величин значения этого показателя достигают в конце нагульного периода (гонады IV стадии зрелости).

Для тарани нормой содержания белка считаются величины порядка 60–100 г/л, среднее значение для самок составляет 81,1 г/л, для самцов – 82,0 г/л ($p = 0,0382$). То есть содержание белка в крови тесно связано со стадией развития гонад и не зависит от пола.

Под термином «общий белок» понимают суммарную концентрацию альбумина и глобулинов, находящихся в сыворотке крови. Для тарани характерно незначительное преобладание альбуминовой фракции. У тарани соотношение количества альбумина к количеству глобулинов, или белковый коэффициент, варьирует от 1,2 в нагульный период до 1,07 в преднерестовый период. Снижение количества альбумина связано как с усилением катаболизма, так и со снижением его синтеза, что зависит от его расходования на пластические и энергетические нужды при созревании половых продуктов [47, 49]. Достоверное повышение уровней белка и, в частности, альбумина у тарани согласуется с результатами, полученными у других видов рыб [50–52].

Содержание общего белка в преднерестовый период 80 г/л и выше свидетельствует о начинающихся процессах резорбции половых продуктов, что подтверждается нашими данными гистологических исследований [32]. Снижение этого показателя в стадии зрелости IV до 20–30 г/л говорит об истощенности организма. Наши многолетние наблюдения показали, что доля рыб в составе нерестовой части популяции тарани с высоким содержанием белка в сыворотке крови не превышает 10%, что укладывается в норму реакции. Однако количество рыб с изменением уровня суммарного количества сывороточного белка в сторону гипопроотеинемии по годам изменяется значительно – от 0 до 20%, что является следствием неудовлетворительных условий нагула, зимовки и, в том числе, нестабильной экологической обстановки.

Характерной особенностью рыб считается высокое содержание липидов в крови, изменение их содержания происходит в зависимости от физиологических потребностей организма [53]. Резкое увеличение содержания липидов, в частности, фосфолипидов, холестерина и его производных, в сыворотке самок многих видов рыб происходит в период созревания половых продуктов [54–56]. Это объясняется тем, что в процессе генеративного синтеза происходит физиологическая перестройка организма, что находит выражение в усилении транспорта кровью липидных компонентов [57].

Направленность метаболизма общих липидов крови тарани в процессе созревания идентична белковому обмену. Перед нерестом содержание общих липидов невысокое и в среднем составляет 1,8 г/л (референсные значения 0,8–2,4 г/л) у самок и 2,0 г/л (референсные значения 1,1–3,0 г/л) у самцов. После нереста содержание липидов в крови тарани составляет 0,5–1,0 г/л. В осенний период после длительного нагула содержание общих липидов сыворотки крови тарани значительно увеличивается и составляет в среднем у самок 2,2 г/л (референсные значения 1,8–3,2 г/л), у самцов – 2,6 г/л (референсные значения 2,0–3,8 г/л). Отмеченные различия по полу ($p < 0,05$) можно объяснить тем, что у самок идет более интенсивный рас-

ход липидов, так как для формирования икры в процессе онтогенеза требуется гораздо больше энергетических и пластических веществ, чем при сперматогенезе [57]. Для тарани, имеющей в этот период уже сформированные половые продукты, это нормальный процесс. Еще один фактор, который влияет на уровень липидов в крови, связан с тем, что в зимний период падает интенсивность питания, а перед нерестом большинство производителей тарани не питается.

Холестерин, как и фосфолипиды, относится к мембранным компонентам и является наиболее распространенным стероидным метаболитом. Расходуется холестерин в разные периоды жизни рыб по-разному. У взрослых рыб холестерин главным образом используется на пищеварительные и репродуктивные процессы (метаболический фонд), приблизительно 8% его содержания в организме приходится на кровь, выполняющую транспортную роль при переносе холестерина [58]. Значительная часть холестерина, поступающего из печени, расходуется для синтеза половых гормонов (андрогенов и эстрогенов), а также кортикостероидов, которые выбрасываются в кровь при различных стрессовых состояниях организма [57]. К концу созревания гонад у тарани, как и у большинства рыб, количество холестерина в сыворотке крови значительно снижается. В осенний период, когда гонады уже сформированы (IV стадия зрелости), количество холестерина в сыворотке крови самок тарани составляет в среднем 10,7 ммоль/л (референсные значения 5,9–13,1 ммоль/л), а непосредственно перед нерестом, когда процессы созревания ооцитов уже завершены, его содержание снижается в среднем до 9,0 ммоль/л (референсные значения 5,4–11,9 ммоль/л) ($p < 0,05$). У самцов значения этого показателя осенью (гонады III стадии зрелости) составляют в среднем 13,4 ммоль/л (референсные значения 10,1–15,9 ммоль/л), а весной перед нерестом они существенно снижаются – 8,8 ммоль/л (4,0–12,1 мг%) ($p < 0,001$). Это может быть связано с тем, что созревание половых продуктов у самцов – достаточно быстрый процесс, и расход холестерина на выработку андрогенов происходит к моменту созревания. Содержание холестерина в сыворотке крови может увеличиться при нарушении жирового обмена. Отмечено, что при длительном пребывании рыб в неблагоприятных условиях происходит дегенерация гонад, в результате чего увеличивается не только содержание холестерина, но и белка и липидов в сыворотке крови [59]. Большая роль отводится холестерину в регуляции обмена при понижении температуры воды. Как правило, в такой ситуации происходит увеличение содержания холестерина в сыворотке крови. Увеличение содержания холестерина относительно общих липидов сигнализирует о неудовлетворительных условиях обитания рыб [59].

Разнокачественность физиологического состояния тарани определяет различный темп созревания. Первыми созревают рыбы с повышенной интенсивностью обменных процессов. Поскольку белок и липиды в преднерестовый период интенсивно расходуются на генеративный синтез, при отсутствии достоверных различий по накоплению запасных веществ у раз-

новозрастных производителей можно говорить о высоком качестве нагула тарани и хорошей подготовленности к нересту. Различия по содержанию общих липидов и белка в сезонном аспекте определяются температурным режимом [39, 60]. Именно температура определяет сезонные колебания метаболизма, сказывается на кормовой базе рыб, на их пищевой активности и, соответственно, на изменении скорости и направлении реакций метаболизма [39]. Механизм таких изменений довольно сложен, но известно, что важную роль в процессах тепловой адаптации играют липидные и белковые компоненты клеток [61]. В отдельные годы у тарани на фоне аномально теплой зимовки отмечались максимальные траты резервных веществ, в результате чего зрелые рыбы всех возрастных групп весной характеризовались крайне низкими показателями резервных веществ по сравнению с благоприятными годами. В такой ситуации отмечался очень слабый и растянутый ход производителей тарани на нерест. При низких зимних температурах, когда обмен замедлен, наблюдается обратная реакция.

Заключение

Для азовской тарани наблюдаются четко выраженные сезонные колебания запасных питательных веществ. После зимнего снижения жировых запасов происходит их дальнейшее уменьшение за счет развития половых продуктов, после нереста содержание этих веществ падает до минимума. В период нагула происходит синтез и депонирование жира в мышечных тканях, печени. У незрелых рыб содержание общих липидов в мышцах в среднем в полтора-два раза выше, чем у рыб в четвертой стадии зрелости.

Анализ результатов исследований позволил определить физиологическую норму для этого объекта в современных условиях. Снижение жирности мышц (менее 3%) и печени (менее 8%) в преднерестовый период сказывается на обеспечении нормального процесса созревания рыб и в дальнейшем благополучного хода эмбриогенеза. Содержание белка в мышцах тарани – достаточно стабильный показатель, оптимальные значения его составляют 130–170 мг/г. В сыворотке крови уровень белка ниже 30 г/л, холестерина ниже 1,3 ммоль/л, липидов ниже 0,50 г/л является сигналом неблагоприятных условий обитания. Оптимальные значения содержания белка в зрелой икре самок тарани должны находиться в интервале 150–250 мг/г, а жира – не менее 7–8%.

Список источников

1. Шульман Г.Е. Принципы физиолого-биохимических исследований годовых циклов рыб // Биология моря. 1978. Вып. 46. С. 90–99.
2. Шульман Г.Е. Физиолого-биохимические особенности годовых циклов рыб. М. : Пищ. пром-сть, 1972. 368 с.
3. Шатуновский М.И. Экологические закономерности обмена веществ морских рыб. М., 1980. 288 с.
4. Кривобок М.Н., Тарковская О.И. Определение сроков нерестовых миграций салаки на основании изучения ее жирового обмена // Тр. ВНИРО. М., 1960. Т. XLII. С. 171–188.

5. Сторожук А.Я. Морфофизиологические и биохимические особенности созревания сайды (*Pollachius virens* L.) Северного моря // Тр. ВНИРО. М., 1977. Т. СХХI. С. 58–65.
6. Сидоров В.С. Экологическая биохимия рыб. Липиды. Л. : Наука, 1983. 240 с.
7. Шихшабеков М.М., Рабазанов Н.И., Федоненко Е.В., Абдулаева Н.М., Маренков О.Н. Особенности воспроизводства рыб на примере рода *Rutilus* в водоемах южных широт // Біологічний вісник МДПУ. 2013. № 13. С. 203–221.
8. Пронина Г.И., Корягина Н.Ю. Референсные значения физиолого-иммунологических показателей гидробионтов разных видов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2015. № 4. С. 103–108.
9. Бугаев Л.А., Войкина А.В., Ружинская Л.П., Ложичевская Т.В. Референсные значения некоторых показателей пиленгаса иленгаса *Liza haematocheilus* (Temminck & Schlegel, 1845) Азово-Черноморского бассейна на разных этапах репродуктивного цикла // Водные биоресурсы и среда обитания. 2019. Т. 2, № 1. С. 27–46.
10. Чередников С.Ю., Власенко Е.С., Жердев Н.А., Кузнецова И.Д., Лукьянов С.В. Лимитирующие факторы абиотической среды и биологические особенности важнейших промысловых мигрантов Азовского моря // Водные биоресурсы и среда обитания. 2020. Т. 3, № 1. С. 2–41.
11. Агапов С.А. Тенденции изменения численности популяции азовской тарани // VI Всерос. конф. по проблемам промыслового прогнозирования : материалы науч. конф. 1995. Мурманск : Из-во ПИНРО, 1995. С. 6–7.
12. Куропаткин А.П. Изменение солености и вертикальной устойчивости вод Азовского моря в современных условиях // Основные проблемы рыбного хозяйства и охраны рыбохозяйственных водоемов Азово-Черноморского бассейна : сб. науч. тр. АЗНИИРХ. Ростов н/Д : Изд-во АЗНИИРХ, Полиграф, 1998. С. 23–30.
13. Матишов Г.Г., Гаргопа Ю.М., Бердников С.В., Дженюк С.Л. Закономерности экосистемных процессов в Азовском море. М. : Наука, 2006. 304 с.
14. Жукова С.В., Шишкин В.М., Карманов В.Г., Подмарева Т.И., Безрукавая Е.А., Бурлачко Д.С., Лутынская Л.А., Фоменко И.Ф. Новые рекорды солёности Азовского моря // Актуальные проблемы изучения черноморских экосистем : тез. докл. Всероссийской онлайн-конф., 19–22 октября 2020 г. Севастополь : ФИЦ ИнБЮМ, 2020. С. 104.
15. Куцын Д.Н. Структура нерестового стада и темпы роста азовской тарани (*Rutilus rutilus heckeli* Nordman, 1840) восточной части Таганрогского залива // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2013. № 3. С. 46–54.
16. Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб. М. : Пищевая промышленность, 1966. 267 с.
17. Мейен В.А. Годовой цикл изменений яичников воблы Северного Каспия // Тр. ВНИРО. 1940. Т. XI, ч. II. С. 99–114.
18. Биохимические методы исследования в клинике / под ред. А.А. Покровского. М. : Медицина, 1969. 652 с.
19. ГОСТ 7636–85. Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа. М. : Стандартинформ, 2010. С. 38–123.
20. Lowry O., Rosebrough N., Farr A., Randall R. Protein measurement with the folin phenol reagent // J. Biol. Chem. 1951. Vol. 193. PP. 265–270.
21. Corraze G., Kaushik S. Les lipids des poissons marins et d'eau douce / OCL: Oleagineux, corps gras. lipides. 1999. Vol. 6, № 1. PP. 111–115. doi: [10.1051/ocf.2010.0322](https://doi.org/10.1051/ocf.2010.0322)
22. Sheridan M.A. Lipid dynamics in fish: aspects of absorption, transportation, deposition and mobilization // Comp. Biochem. Physiol. 1988. Vol. 90 B, № 4. PP. 679–690. doi: [10.1051/ocf.2010.0322](https://doi.org/10.1051/ocf.2010.0322)
23. Jensen B.H., Taylor M.H. Lipid transport in female *Fundulus heteroclitus* during the reproductive season // Fish Physiol. and Biochem. 2002. Vol. 25. PP. 141–151. doi: [10.1046/j.1365-2621.2002.00604.x](https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.2002.00604.x)
24. Grigorakis K., Alexis M.N., Taylor K.D.A., Hole M. Comparison of wild and cultured gilthead sea bream (*Sparus aurata*); composition, appearance and seasonal variations //

- International Journal of Food Science and Technology. 2002. Vol. 37. PP. 477–484. doi: [10.1046/j.1365-2621.2002.00604.x](https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.2002.00604.x)
25. Grigorakis K., Alexis M.N., Taylor K.D.A., Hole M. Comparison of wild and cultured gilthead sea bream (*Sparus aurata*); composition, appearance and seasonal variations // International Journal of Food Science and Technology. 2002. Vol. 37. PP. 477–484. doi: [10.1046/j.1365-2621.2002.00604.x](https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.2002.00604.x)
 26. Gandotra R., Sharma M., Kumari R. Studies on the seasonal variations in proximate composition of *Labeo boga* // International Journal of Scientific Research and Modern Education (IJSRME). 2017. Vol. 2, № 2. PP. 1269–1278. doi: [10.13140/rg.2.2.22736.81926](https://doi.org/10.13140/rg.2.2.22736.81926)
 27. Yeganeh S., Shabanpour B., Hosseini H., Imanpour M. R., Shabani A. Comparison of farmed and wild common carp (*Cyprinus carpio*): Seasonal variations in chemical composition and fatty acid profile // CJFS. 2012. Vol. 30, №. 6. PP. 503–511. doi: [10.17221/455/2011-CJFS](https://doi.org/10.17221/455/2011-CJFS)
 28. Venkatesan V., Gandhi V., Zacharia P.U. Observations on the utilization of the biochemical constituents during maturation of the butterfish *Scatophagus argus* (L. 1766) from Palk Bay, south east coast of India // Ind. J. Marine Sci. 2013. Vol. 42, №. 1. PP. 75–81. doi: [10.15406/jamb.2015.02.00041](https://doi.org/10.15406/jamb.2015.02.00041)
 29. Kurita Y. Energetics of reproduction and spawning migration for Pacific saury (*Cololabis saira*) // Fish Physiol. and Biochem. 2003. Vol. 28. PP. 271–272. doi: [10.1023/B:FISH.0000030550.48016.37](https://doi.org/10.1023/B:FISH.0000030550.48016.37)
 30. Шатуновский М.И., Белянина Т.Н. Созревание и плодовитость рыб в пределах поколения в связи с их физиологической неоднородностью // Обмен веществ и биохимия рыб. М. : Наука, 1967. С. 38–44.
 31. Матишов Г.Г., Балыкин П.А., Гераскин П.П. Результаты ихтиологических исследований на Нижней Волге / под ред. Г.Г. Матишова. Ростов н/Д : Изд-во ЮНЦ РАН, 2015. 72 с.
 32. Сергеева С.Г., Корниенко Г.Г. Морфофизиологические особенности созревания азовской тарани *Rutilus rutilus* L. // Ветеринарная патология. 2016. № 3 (57). С. 71–79.
 33. Корниенко Г.Г., Бугаев Л.А., Сергеева С.Г., Ружинская Л.П., Дудкин С.И., Цема Н.И., Войкина А.В. Физиологические аспекты роста, полового цикла и созревания пиленгаса (*Liza haematocheilus*, Temminck & Shlegel) в Азово-Черноморском бассейне // Ветеринарная патология. 2020. № 1 (71). С. 78–90. doi: [10.25690/VET_PET.2020.1.71.011](https://doi.org/10.25690/VET_PET.2020.1.71.011)
 34. Металлов Г.Ф., Гераскин П.П., Кушнаренко А.И., Аксенов В.П., Ветлугина Т.А., Файзулина Д.Р. Многолетняя динамика липидного и белкового обменов у каспийской воibly // Комплексный подход к проблеме сохранения и восстановления биоресурсов Каспийского бассейна: материалы докл. междунар. практич. конф. Астрахань : Изд-во КаспНИИРХ, 2008. С. 244–247.
 35. Гераскин П.П., Файзулина Д.Р., Металлов Г.Ф., Дубовская А.В., Аксенов В.П., Галлактинова М.Л. Особенности физиологического состояния воibly (*Rutilus rutilus caspicus*) Волго-Каспийского бассейна в период нерестовой миграции // Сборник тезисов Международной конференции «Экологические исследования Казахского сектора Каспийского моря и прибрежной зоны». Казахстан, Алмааты : Изд-во ТОО «КАПЭ», 2011. С. 40–45.
 36. Файзулина Д.Р., Гераскин П.П. Физиолого-биохимическая характеристика воibly (*Rutilus rutilus caspicus*) и леща (*Abramis brama*) в современных экологических условиях Волго-Каспийского бассейна // Вопросы рыболовства. 2011. Т. 12, № 3 (47). С. 535–542.
 37. Усламин Д.В., Алешина О.А. Структура популяции, физиологические и биохимические показатели *Carassius auratus gibelio* (Bloch, 1782) в градиенте солености воды // Вестник Тюменского государственного университета: Медико-биологические науки. 2013. № 6. С. 71–78.
 38. Кириллов В.Н. Особенности липидного обмена в организме рыб в условиях повышенной минерализации воды // Вестник АГТУ. Сер. : Рыбное хозяйство. 2009. № 1. С. 132–133.

39. Номова Н.Н., Мещерякова О.В., Лысенко Л.А., Фокина Н.Н. Оценка состояния водных организмов по биохимическому статусу // Тр. КарНЦ РАН, 2014. № 5. С. 18–29.
40. Сидоров В.С. Сравнительная биохимия рыб и их гельминтов. Липиды, ферменты, белки. Петрозаводск : Карел. филиал АН СССР, 1977. 160 с.
41. Костылева А.А., Флёрова Е.А. Особенности химического состава мышечной ткани леща *Abramis brama* Горьковского водохранилища // Вопросы рыболовства. 2015. Т. 16, № 4. С. 412–418.
42. Kalay M., Sangün M.K., Ayas D. et al. Chemical composition and some trace element levels of thinlip mullet, *Liza ramada* caught from mersin gulf // Ekoloji. 2008. Vol. 17, № 68. PP. 11–16. doi: [10.5053/ekoloji.2008.682](https://doi.org/10.5053/ekoloji.2008.682)
43. Корпакова И.Г., Афанасьев Д.Ф., Барабашин Т.О., Бычкова М.В., Жукова С.В., Налетова Л.Ю., Воловик С.П. Осолонение вод Азовского моря как одна из возможных причин трансформации сообществ планктона и бентоса в 2007–2014 гг. // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2015. № 11. С. 16–20.
44. Афанасьев Д.Ф., Мирзоян З.А., Сафронова Л.М., Фроленко Л.Н., Живоглядова Л.А. Планктон и бентос Азовского моря. Многолетняя динамика // Труды IX Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU-2020)». 2020. С. 132–134.
45. Лапина Н.Н. К оценке масштабов некоторых обменных процессов плотвы Можайского водохранилища в течение годового цикла // Биологические науки. 1979. Т. 2. С. 28–32.
46. Шихшабеков М.М. Влияние изменения условий на репродуктивные циклы у рыб южных широт // Особенности репродуктивных циклов у рыб в водоемах южных широт. М., 1985. С. 134–148.
47. Гулиев Р.А., Мелякина Э.И. Некоторые биохимические показатели крови рыб дельты Волги // Вестник АГТУ. Сер.: Рыбное хозяйство. 2014. № 2. С. 85–91.
48. Корниенко Г.Г., Кожин А.А., Воловик С.П., Макаров Э.В. Экологические аспекты биологии и репродукции. Ростов н/Д : Эверест, 1998. 238 с.
49. Yousefian M., Sheikholeslami M., Amiri M., Hedayatifard A.A, Dehpour H., Fazli M., Ghiaci S.V, Najafpour S.H. Serum biochemical parameter of male and female rainbow trout cultured in Haraz River, Iran // World Journal of Fish & Marine Sciences. 2010. Vol. 2, № 6. PP. 513–518. doi: [10.13140/RG.2.1.4718.0962](https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4718.0962)
50. Bani A. Vayghan A.H. Temporal variations in haematological and biochemical indices of the *Caspian kutum*, *Rutilus frisii kutum* // Ichthyol. Res. 2011. Vol. 58. PP. 126–133. doi: [10.1007/s10228-010-0199-6](https://doi.org/10.1007/s10228-010-0199-6)
51. De Pedro N., Guijarro A.I., Lo'pez-Patino M.A., Marti'nez-ALlvarez R., Delgado M.J. Daily and seasonal variations in haematological and blood biochemical parameters in the tench, *Tinca tinca* Linnaeus, 1758. // Aquac. Res. 2005. Vol. 36. PP. 1185–1196. doi: [10.1111/j.1365-2109.2005.01338.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2005.01338.x)
52. Folmart L.C., Moody T., Bonomelli S., Gibson J. Annual cycle of blood chemistry parameters in striped mullet (*Mugil cephalus* L.) and pinfish (*Lagodon rhomboids* L.) from the Gulf of Mexico // J. Fish Biol. 1992. Vol. 41. PP. 999–1011. doi: [10.1111/jai.12584](https://doi.org/10.1111/jai.12584)
53. Zhang L., Zhang T., Zhuang P., Zhao F., Wang B., Feng G.P., Song C., Wang Y., Xu S.J. Discriminant analysis of blood biochemical parameters at different developmental gonad stages and gender identification for controlled breeding of Amur sturgeon (*Acipenser schrenckii*, Brandt, 1869) // J. Appl Ichthyol. 2014. Vol. 30. PP. 1207–1211. doi: [10.4236/cm.2012.33020](https://doi.org/10.4236/cm.2012.33020)
54. Persin F. Serum biochemical profiles of captive and wild northern bluefin tuna (*Thunus thumus* L., 1758) in the Eastern Mediterranean // Aquaculture Research, 2008. Vol. 39. PP. 945–953. doi: [10.1111/j.1365-2109.2008.01954.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2008.01954.x)
55. Лизенко Е.И., Сидоров В.С., Лукьяненко В.И., Регеранд Т.И., Гурьянова С.Д., Васильева Т.С., Такшеев С.А. Общая характеристика липидного состава липопротеидов сыворотки крови осетровых (*Acipenseridae*) // Вопр. ихтиологии. 1995. Т. 35, № 4. С. 553–557.

56. Wallaert Ch., Babin P.K.J. Age-related, sex-related and seasonal changes of plasma lipoprotein in trout // J. of Lipid Res. 1994. Vol. 35. PP. 1619–1633. doi.org/10.1016/S0022-2275(20)41160-5
57. Регеранд Т.И., Лизенко М.В., Лизенко Е.И. Роль различных факторов в формировании липидного состава липопротеидов рыб // Матер. междунар. конф. Петрозаводск : КарНЦ РАН, 2009. С. 659.
58. Гурин В.Н. Обмен липидов при гипотермии, гипертермии и лихорадке. Минск : Беларусь, 1986. С. 190.
59. Попова Л.В. Некоторые показатели липидного обмена у полупроходной волжской стерляди // Информационный бюллетень № 60. Л. : Наука. 1983. С. 59–61.
60. Озернюк Н.Д. Феноменология и механизмы адаптационных процессов. М. : Изд-во МГУ, 2003. 215 с.
61. Смирнов Л.П., Богдан В.В. Липиды в физиолого-биохимических адаптациях экотермных организмов к абиотическим и биотическим факторам среды. М. : Наука, 2007. 184 с.

References

1. Shul'man GE. Printsipy fiziologo-biokhimicheskikh issledovaniy godovykh tsiklov ryb [Principles of physiological and biochemical studies of the annual cycles of fish development]. *Biologiya morya*. 1978;46:90-99. In Russian
2. Shul'man GE. Fiziologo-biokhimicheskie osobennosti godovykh tsiklov ryb [Physiological and biochemical studies of the annual cycles of fish]. Moscow: Pishchevaya promyshlennost Publ.; 1972. 368 p. In Russian
3. Shatunovskiy MI. Ekologicheskie zakonomernosti obmena veshchestv morskikh ryb [Ecological regularities in sea fish metabolism]. Moscow: Nauka Publ.; 1980. 288 p. In Russian
4. Krivobok MN, Tarkovskaya OI. Opredelenie srokov nerestovykh migratsiy salaki na osnovanii izucheniya ee zhirovogo obmena [Determination of timing of spawning migrations in herring based on the study of their fat metabolism]. *Trudy VNIRO*. 1960;XLII:171-188. In Russian
5. Storozhuk AYа. Morfofiziologicheskie i biokhimicheskie osobennosti sozrevaniya saydy (*Pollachius virens* L.) Severnogo morya [Morphophysiological and biochemical features of *Pollachius virens* L. maturation in the North Sea]. *Trudy VNIRO*. 1977;CXXI:58-65. In Russian
6. Sidorov VS. Ekologicheskaya biokhimiya ryb. Lipidy [Ecological biochemistry of fish. Lipids]. Leningrad: Nauka Publ.; 1983. 240 p. In Russian
7. Shikhshabekov MM, Rabazanov NI, Fedonenko EV, Abdulaeva NM, Marenkov ON. Fish reproduction in water bodies of the equatorial latitudes (the case of the genus *Rutilus*). *Biologichnyy visnik MDPU = Biological Bulletin of Bogdan Chmel'nitsky Melitopol State Pedagogical University*. 2013;13:203-221. In Russian
8. Pronina GI, Koryagina NYu. Reference values of physiological and immunological indicators of hydrobionts of different species. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Rybnoe khozyaystvo = Vestnic of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry*. 2015;4:103-108. In Russian
9. Bugaev LA, Voikina AV, Ruzhinskaya LP, Lozhichevskaya TV. Reference values of some indicators of the so-iuy mullet *Liza haematocheilus* (Temminck & Schlegel, 1845) from the Azov and Black seas basin at different stages of reproductive cycle. *Vodnye bioresursy i sreda obitaniya = Aquatic Bioresources & Environment*. 2019;2(1):27-46. In Russian
10. Cherednikov SYu, Vlasenko ES, Zherdev NA, Kuznetsova ID, Lukyanov SV. Limiting factors of the abiotic environment and biological characteristics of important commercial migratory fish species of the Azov Sea. *Vodnye bioresursy i sreda obitaniya = Aquatic Bioresources & Environment*. 2020;3(1):27-41. In Russian

11. Agapov SA. Tendentsii izmeneniya chislennosti populyatsii azovskoy tarani [Trends in the population of the Azov roach].In: VI Vseros. konf. po problemam promyslovogo prognozirovaniya. Materialy nauch. konf. [VI Russian national conf. on the problems of fishing forecasting. Proc. of the Sci. Conf. (Murmansk, Russia, 4-6 October, 1995)]. Murmansk: PINRO Publ. 1995. pp. 6-7. In Russian
12. Kuropatkin AP. Izmenenie solenosti i vertikal'noy ustoychivosti vod Azovskogo morya v sovremennykh usloviyakh [Changes in salinity and vertical stability of the waters of the Sea of Azov in modern conditions]. In: *Osnovnye problemy rybnogo khozyaystva i okhrany rybokhozyaystvennykh vodoemov Azovo-Chernomorskogo basseyna* [The main problems of fisheries and protection of waterbodies with fisheries in the Azov and Black Sea Basin. Proceedings]. Makarov EV, editor. Rostov-on-Don: AzNIIRKH Publ., Poligraf [Polygraph], 1998. pp. 23-30. In Russian
13. Matishov GG, Gargopa YuM, Berdnikov SV, Dzhenyuk SL. Patterns of ecosystem processes in the Sea of Azov. Moscow: Nauka Publ.; 2006. 304 p. In Russian
14. Zhukova SV, Shishkin VM, Karmanov VG, Podmareva TI, Bezrukavaya EA, Burlachko D, Lutynskaya LA, Fomenko IF. Novye rekordy solenosti Azovskogo morya [New record events in the salinity of the Sea of Azov]. In: *Aktual'nye problemy izucheniya chernomorskiikh ekosistem* [Current problems of studying the Black Sea ecosystems. Thesis of reports of All-Russian Online Conf. (Sevastopol, Russia, October 19-22, 2020)]. Sevastopol: Federal Research Center "Institute of Biology of the Southern Seas named after A.O. Kovalevsky RAS"; 2020. p. 104. doi: [10.21072/978-5-6044865-4-2](https://doi.org/10.21072/978-5-6044865-4-2) In Russian
15. Kutsyn DN. Structure of the spawning flock and the growth rates of the Azov Sea roach (*Rutilus rutilus heckeli* Nordman, 1840) in the eastern part of the Taganrog Bay. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Rybnoe khozyaystvo = Vestnic of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry.* 2013;3:46-54. In Russian
16. Pravdin IF. Rukovodstvo po izucheniyu ryb [Manual on Fish Study]. Moscow: Pishchevaya promyshlennost Publ.; 1966. 267 p. In Russian
17. Meyen VA. Godovoy tsikl izmeneniy yaichnikov voblyi Severnogo Kaspiya [The annual cycle of changes in the ovaries of roach in the Northern Caspian]. *Trudy VNIRO.* 1940;XI:99-114. In Russian
18. *Biokhimicheskie metody issledovaniya v klinike* [Biochemical methods of clinical studies]. Pokrovskiy AA, editor. Moscow: Meditsina Publ.; 1969. 652 p. In Russian
19. *GOST 7636-85.* Ryba, morskie mlekopitayushchie, morskie bespozvonochnye i produkty ikh pererabotki. Metody analiza [State Standard 7636-85. Fish, marine mammals, invertebrates and products of their processing. Methods for analysis]. Moscow: Standartinform [Russian Scientific and Technical Centre for Information on Standardization, Metrology and Conformity Assessment] Publ.; 2010:38-123. In Russian
20. Lowry O, Rosebrough N, Farr A, Randall R. Protein measurement with the folin phenol reagent. *J. Biol.Chem.* 1951;193:265-270.
21. Corraze G., Kaushik S. Les lipids des poissons marins et d'eau douce. OCL: Oleagineux, corps gras. lipides. 1999;1:111-115. doi: [10.1051/ocl.2010.0322](https://doi.org/10.1051/ocl.2010.0322)
22. Sheridan MA. Lipid dynamics in fish: aspects of absorption, transportation, deposition and mobilization. *Comp. Biochem. Physiol.* 1988;4:679-690. doi: [10.1684/ocl.2010.0322](https://doi.org/10.1684/ocl.2010.0322)
23. Jensen BH, Taylor MH. Lipid transport in female *Fundulus heteroclitus* during the reproductive season. *Fish Physiol. and Biochem.* 2002;25:141-151. doi: [10.1023/A:1020564121935](https://doi.org/10.1023/A:1020564121935)
24. Çelik M, Diler A, Kücükgülmez A. A comparison of the proximate compositions and fatty acid profiles of zander (*Sander lucioperca*) from two different regions and climatic condition. *Food Chemistry.* 2005;92:637-641. doi: [10.1016/j.foodchem.2004.08.026](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.08.026)
25. Grigorakis K, Alexis MN, Taylor KDA, Hole M. Comparison of wild and cultured gilthead sea bream (*Sparus aurata*); composition, appearance and seasonal variations. *International Journal of Food Science and Technology.* 2002;37:477-484. doi: [10.1046/j.1365-2621.2002.00604.x](https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.2002.00604.x)

26. Gandotra R, Sharma M, Kumari R. Studies on the seasonal variations in proximate composition of *Labeo boga*. *International Journal of Scientific Research and Modern Education (IJSRME)*. 2017;2:1269-1278. doi: [10.13140/rg.2.2.22736.81926](https://doi.org/10.13140/rg.2.2.22736.81926)
27. Yeganeh S, Shabanpour B, Hosseini H, Imanpour MR, Shabani A. Comparison of farmed and wild common carp (*Cyprinus carpio*): Seasonal variations in chemical composition and fatty acid profile. *CJFS*. 2012;0 (6):503-511. doi: [10.17221/455/2011-CJFS](https://doi.org/10.17221/455/2011-CJFS)
28. Venkatesan V, Gandhi V, Zacharia PU. Observations on the utilization of the biochemical constituents during maturation of the butterfish *Scatophagus argus* (L. 1766) from Palk Bay, south east coast of India. *Ind. J. Marine Sci.* 2013;42(1):75-81. doi: [10.15406/jamb.2015.02.00041](https://doi.org/10.15406/jamb.2015.02.00041)
29. Kurita Y. Energetics of reproduction and spawning migration for Pacific saury (*Cololabis saira*). *Fish Physiol. and Biochem.* 2003;28:271-272. doi: [10.1023/B:FISH.0000030550.48016.37](https://doi.org/10.1023/B:FISH.0000030550.48016.37)
30. Shatunovskiy MI, Belyanina TN. Sozrevanie i plodovitost' ryb v predelakh pokoleniya v svyazi s ikh fiziologicheskoy neodnorodnost'yu [Maturation and fecundity of fish within a generation in regard to their physiological heterogeneity]. In: *Obmen veshchestv i biokhimiya ryb* [Metabolism and biochemistry of fish]. Moscow: Nauka Publ.; 1967. pp. 38-44. In Russian
31. Matishov GG, Balykin PA, Geraskin PP. Rezul'taty ikhtiologicheskikh issledovaniy na Nizhney Volge [Results of ichthyological studies on the Lower Volga]. Matishov GG, editor. Rostov-on-Don: Southern Scientific Center of RAS Publ.; 2015. p. 72 In Russian
32. Sergeeva SG, Kornienko GG. Morphophysiological specificities of maturation of the Azov roach *Rutilus rutilus* L. *Veterinarnaya patologiya = Veterinary Pathology*. 2016;3(57):71-79. In Russian
33. Kornienko GG, Bugaev LA, Sergeeva SG, Ruzhinskaya LP, Dudkin SI, Tsema NI, Voykina AV. Physiological aspects of growth, sexual cycle and ripening of so-iyu mullet (*Liza haematocheilus*, Temminck & Shlegel) in the Azov-Black Sea basin. *Veterinarnaya patologiya = Veterinary Pathology*. 2020;1(71):78-90. doi: [10.25690/VETPET.2020.1.71.011](https://doi.org/10.25690/VETPET.2020.1.71.011). In Russian
34. Metallov GF, Geraskin PP, Kushnarenko AI, Aksenov VP, Vetlugina TA, Fayzulina DR. Mnogoletnyaya dinamika lipidnogo i belkovogo obmenov u kaspiskoy vobly [Long-term dynamics of lipid and protein metabolism in the Caspian roach]. In: *Kompleksnyy podkhod k probleme sokhraneniya i vosstanovleniya bioresurov Kaspiskogo basseyna* [An integrated approach to the problem of conservation and restoration of biological resources of the Caspian basin. Proc. of the Sci. Conf.]. Astrakhan': CaspNIIRKh Publ.; 2008. pp. 244-247. In Russian
35. Geraskin PP, Fayzulina DR, Metallov GF, Dubovskaya AV, Aksenov VP, Galaktionova ML. Osobennosti fiziologicheskogo sostoyaniya vobly (*Rutilus rutilus caspicus*) Volgo-Kaspiskogo basseyna v period nerestovoy migratsii [Features of physiological state of the roach *Rutilus rutilus caspicus* during their spawning migration in the Volga-Caspian basin]. In: *Ekologicheskie issledovaniya Kazakhskogo sektora Kaspiskogo morya i pribrezhnoy zony*. [Ecological studies of the Kazakh sector of the Caspian Sea and its coastal zone. Proc. of the Sci. Conf.]. Kazakhstan, Almaaty: Publishing house of "KAPE"; 2011. pp. 40-45. In Russian
36. Fayzulina DR, Geraskin PP. Physiological and biochemical characteristics of roach (*Rutilus rutilus caspicus*) and bream (*Abramis brama*) under the present ecological conditions of the Volga-Caspian basin. *Voprosy rybolovstva = Problems of Fisheries*. 2011;3(47):535-542. In Russian
37. Us lamin DV, Aleshina OA. Struktura populyatsii, fiziologicheskie i biokhicheskie pokazateli *Carassius auratus gibelio* (Bloch, 1782) v gradiente solenosti vody [Population structure, physiological and biochemical parameters of *Carassius auratus gibelio* (Bloch, 1782) vs. the water salinity]. *Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta: Mediko-biologicheskie nauki = Tyumen State University Journal: Medical and Biological Sciences*. 2013;6:71-78. In Russian

38. Kirillov VN. Osobennosti lipidnogo obmena v organizme ryb v usloviyakh povyshennoy mineralizatsii [Lipid metabolism of fish under conditions of increased water mineralization]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Rybnoe khozyaystvo = Vestnic of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry*. 2009;1:132-133. In Russian
39. Nemova NN, Meshcheryakova OV, Lysenko LA, Fokina NN. The assessment of the fitness of aquatic organisms relying on the biochemical status. *Transactions of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences*. 2014;5:18-29. In Russian
40. Sidorov VS. Sravnitel'naya biokhimiya ryb i ikh gel'mintov. Lipidy, fermenty, belki [Comparative biochemistry of fish and their helminths. Lipids, enzymes, proteins]. Petrozavodsk: Petrozavodsk Karel. Branch of the USSR Academy of Sciences Publ.; 1977. p. 160. In Russian
41. Kostyleva AA, Flerova EA. Features of chemical composition of muscle tissue of the bream *Abramis brama* of Gorky water reservoir. *Voprosy rybolovstva = Problems of Fisheries*. 2015;4:412-418. In Russian
42. Kalay M, Sangün MK, Ayas D, Göçer M. Chemical composition and some trace element levels of thinlip mullet, *Liza ramada* caught from mersin gulf. *Ekoloji*. 2008;17(68):11-16.
43. Korpakova IG, Afanas'ev DF, Barabashin TO, Bychkova MV, Zhukova SV, Naletova LYu, Volovik SP. The Sea of Azov salinization as one of the possible causes of plankton and benthos communities transformation in 2007-2014. *Zashchita okruzhayushchey sredy v neftegazovom komplekse = Environmental Protection in the Oil and Gas Complex*. 2015;11:16-20. In Russian
44. Afanas'ev DF, Mirzoyan ZA, Saffronova LM, Frolenko LN, Zhivoglyadova LA. Plankton i bentos Azovskogo morya. Mnogoletnyaya dinamika [Plankton and benthos of the Sea of Azov. Long-term dynamics]. In: *Morskie issledovaniya i obrazovanie (MARESEDU-2020)* [Marine Research and Education (MARESEDU-2020)]. Proc. of the IX International conf. (Moscow, Russia, 26-30 October, 2020)]. Tver: PoliPRESS; 2020. pp. 132-134. In Russian
45. Lapina NN. K otsenke masshtabov nekotorykh obmennykh protsessov plotvy Mozhayskogo vodokhranilishcha v techenie godovogo tsikla [On the assessment of some metabolic processes in the Mozhaisk reservoir roach during their annual cycle development]. *Biologicheskie nauki*. 1979;2:28-32. In Russian
46. Shikhshabekov MM. Vliyanie izmeneniya usloviy na reproduktivnye tsikly u ryb yuzhnykh shirot [Influence of changed conditions on the reproductive cycles of fish from the southern regions]. In: *Osobennosti reproduktivnykh tsiklov u ryb v vodoemakh yuzhnykh shirot* [Features of reproductive cycles in fish in the waterbodies of southern latitudes]. Moscow: Nauka Publ.; 1985. pp. 134-148. In Russian
47. Guliev RA, Melyakina EI. Some biochemical parameters of blood of Volga Delta fish. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Rybnoe khozyaystvo = Vestnic of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry*. 2014;2:85-91. In Russian
48. Kornienko GG, Kozhin AA, Volovik SP, Makarov EV. Ekologicheskie aspekty biologii i reproduksii [Ecological aspects of biology and reproduction]. Rostov-on-Don: Everest Publ.; 1998. 238 p. In Russian
49. Yousefian M, Sheikholeslami M, Amiri M, Hedayatifard AA, Dehpour H, Fazli M, Ghiaci SV, Najafpour SH. Serum biochemical parameter of male and female rainbow trout cultured in Haraz River, Iran. *World Journal of Fish & Marine Sciences*. 2010;2(6):513-518. doi: [10.13140/RG.2.1.4718.0962](https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4718.0962)
50. Bani A, Vayghan AH. Temporal variations in haematological and biochemical indices of the *Caspian kutum*, *Rutilus frisii kutum*. *Ichthyol. Res*. 2011;58:126-133. doi: [10.1007/s10228-010-0199-6](https://doi.org/10.1007/s10228-010-0199-6)
51. De Pedro N, Guijarro AI, Lo'pez-Patino MA, Marti'nez-AŁlvarez R, Delgado MJ. Daily and seasonal variations in haematological and blood biochemical parameters in the tench, *Tinca tinca* Linnaeus, 1758. *Aquac. Res*. 2005;36:1185-1196. doi: [10.1111/j.1365-2109.2005.01338.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2005.01338.x)

52. Folmart LC, Moody T, Bonomelli S, Gibson J. Annual cycle of blood chemistry parameters in striped mullet (*Mugil cephalus* L.) and pinfish (*Lagodon rhomboids* L.) from the Gulf of Mexico. *J. Fish Biol.* 1992;41:999-1011. doi: [10.1111/jai.12584](https://doi.org/10.1111/jai.12584)
53. Zhang L, Zhang T, Zhuang P, Zhao F, Wang B, Feng GP, Song C, Wang Y, Xu SJ. Discriminant analysis of blood biochemical parameters at different developmental gonad stages and gender identification for controlled breeding of Amur sturgeon (*Acipenser schrenckii*, Brandt, 1869). *J. Appl Ichthyol.* 2014;30:1207-1211. doi: [10.4236/cm.2012.33020](https://doi.org/10.4236/cm.2012.33020)
54. Persin F. Serum biochemical profiles of captive and wild northern bluefin tuna (*Thunus thunus* L. 1758) in the Eastern Mediterranean. *Aquaculture Research.* 2008;39:945-953. doi: [10.1111/j.1365-2109.2008.01954.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2008.01954.x)
55. Lizenko EI, Sidorov VS, Luk'yanenko VI, Regerand TI, Gur'yanova SD, Vasil'eva TS, Taksheev SA. Obshchaya kharakteristika lipidnogo sostava lipoproteidov syvorotki krovi osetrovyykh (*Acipenceridae*) [General characteristics of lipid composition of sturgeon serum lipoproteins (*Acipenceridae*)]. *Vopr. Ichthyology = Journal of Ichthyology.* 1995;35(4):553-557. In Russian
56. Wallaert Ch, Babin PKJ. Age-related, sex-related and seasonal changes of plasma lipoprotein in trout. *J. of Lipid Res.* 1994;35:1619-1633. doi: [10.1016/S0022-2275\(20\)41160-5](https://doi.org/10.1016/S0022-2275(20)41160-5)
57. Regerand TI, Lizenko MV, Lizenko EI. Rol' razlichnykh faktorov v formirovaniy lipidnogo sostava lipoproteidov ryb [The role of various factors in the formation of the lipid composition of fish lipoproteins]. In: *Biologicheskije resursy Belogo morya i vnutrennikh vodoemov Evropeyskogo Severa* [Biological resources of the White Sea and inland waters of European North. Proc. of the XXVIII Intern. Conf. (Petrozavodsk, Republic of Karelia, Russia, 5-8 October, 2009)]. Petrozavodsk: Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences; 2009. p. 659. In Russian
58. Gurin VN. Obmen lipidov pri gipotermii, gipertermii i likhoradke [Lipid metabolism in hypothermia, hyperthermia and fever]. Minsk: Belarus, 1986 p. 190. In Russian
59. Popova LV. Nekotorye pokazateli lipidnogo obmena u poluprokhodnoy volzhskoy sterlyadi [Some indicators of lipid metabolism in the semi-migratory Volga sterlet]. *Informatsionnyy byulleten' № 60* [Newsletter № 60]. Leningrad: Nauka Publ.; 1983. pp. 59-61. In Russian
60. Ozernyuk ND. Fenomenologiya i mekhanizmy adaptatsionnykh protsessov [Phenomenology and mechanisms of adaptation processes]. Moscow: Moscow State University Publ.; 2003. 215 p. In Russian
61. Smirnov LP, Bogdan VV. Lipidy v fiziologo-biokhimicheskikh adaptatsiyakh ektotermnykh organizmov k abioticheskim i bioticheskim faktoram sredy [Lipids in physiological and biochemical adaptations of ectothermic organisms to abiotic and biotic environmental factors]. Moscow: Nauka Publ.; 2007. 184 p. In Russian

Информация об авторах:

Сергеева Светлана Григорьевна, канд. биол. наук, в.н.с. сект. физиологии и биохимии, Азово-Черноморский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (Россия, 344002, г. Ростов-на-Дону, ул. Береговая, д. 21 В).

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0001-5685-8709>

E-mail: sgs1301@yandex.ru

Бугаев Леонид Анатольевич, канд. биол. наук, доцент, зав. лаб. молекулярной генетики, физиологии и болезней рыб, Азово-Черноморский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (Россия, 344002, г. Ростов-на-Дону, ул. Береговая, д. 21 В).

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0002-4440-0845>

E-mail: bugaev_1_a@azniir.kh.ru

Войкина Анна Владимировна, канд. биол. наук; зав. сект. физиологии и биохимии, Азово-Черноморский филиал Всероссийского научно-исследовательского института

рыбного хозяйства и океанографии (Россия, 344002, г. Ростов-на-Дону, ул. Береговая, д. 21 В).

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0001-8953-8154>

E-mail: voykina_a_v@azniirrh.ru

Цыбульская Марина Анатольевна, гл. спец., сект. физиологии и биохимии, Азово-Черноморский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (Россия, 344002, г. Ростов-на-Дону, ул. Береговая, д. 21 В).

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0002-0134-0934>

E-mail: tsybulskaya_m_a@azniirrh.ru

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about the authors:

Sergeeva Svetlana G, Cand. Sci (Biol), Leading Researcher, Sector of Physiology and Biochemistry, Azov-Black Sea Branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, 21 B Beregovaya Str., Rostov-on-Don 344002, Russian Federation

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0001-5685-8709>

E-mail: sgs1301@yandex.ru

Bugaev Leonid A, Cand. Sci (Biol), Senior Researcher, Head of the Laboratory of Molecular Genetics, Physiology and Diseases of Fish, Azov-Black Sea Branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, 21 B Beregovaya Str., Rostov-on-Don 344002, Russian Federation

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0002-4440-0845>

E-mail: bugaev_l_a@azniirrh.ru

Voikina Anna V, Cand. Sci (Biol), Head of the Sector of Physiology and Biochemistry, Azov-Black Sea Branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, 21 B Beregovaya Str., Rostov-on-Don 344002, Russian Federation

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0001-8953-8154>

E-mail: voykina_a_v@azniirrh.ru

Tsybulskaya Marina A, Head of the Special Sector of Physiology and Biochemistry, Azov-Black Sea Branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, 21 B Beregovaya Str., Rostov-on-Don 344002, Russian Federation

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0002-0134-0934>

E-mail: tsybulskaya_m_a@azniirrh.ru

The Authors declare no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 29.03.2021 г.; повторно 13.07.2021 г.; принята 17.02.2022 г.; опубликована 20.05.2022 г.

Received 29 March 2021; Revised 13 July 2021; Accepted 17 February 2022; Published 20 May 2022.