

Keywords:

Whitefish, fish nursery, experimental feeds, imported feeds, high temperature, vitamin C, polyunsaturated fatty acids, liver index, haemoglobin, weakening of the antioxidant system



Влияние повышенной температуры на физиологическое состояние сиговых рыб (*Coregonidae*) при выращивании их в условиях аквакультуры

DOI

Доктор биологических наук, профессор **И.Н. Остроумова** – главный научный сотрудник; кандидат биологических наук **В.В. Костюничев** – заведующий лабораторией; кандидат биологических наук **А.А. Лютиков** – старший научный сотрудник; кандидат биологических наук **А.К. Шумилина** – ведущий научный сотрудник; **М.М. Вылка** – ведущий специалист – Лаборатория аквакультуры, Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ «ВНИРО» (ГосНИОРХ им. Л. С. Берга)

@ irinaostroum@yandex.ru;
aqualab2007@yandex.ru

Ключевые слова:

сиговые рыбы, экспериментальные корма, импортные корма, высокая температура, витамин С, полиненасыщенные жирные кислоты, индекс печени, гемоглобин, ослабление антиоксидантной системы

THE EFFECT OF INCREASED TEMPERATURE ON PHYSIOLOGICAL STATE OF WHITEFISH CULTIVATED IN AQUA-CULTURE

Doctor of Biological Sciences, Professor, **I.N. Ostroumova** - Chief Researcher; Candidate of Biological Sciences **V.V. Kostyunichev** - Head of the laboratory; Candidate of Biological Sciences **A.A. Lyutikov** - Senior Researcher; Candidate of Biological Sciences **A.K. Shumilina** - leading researcher; **M.M. Vylka** is a leading specialist in the Aquaculture Laboratory, St. Petersburg Branch of VNIRO State Research University (L. S. Berg State Re-search Institute).

The cultivation of muksun at a high temperature (exceeding the normal temperature for the whitefish) caused deviations in physiology, however did not significantly affect the growth and survival. The content of vitamin C and long-chain polyunsaturated fatty acids of the omega 3 type sharply decreased. Two-year-old whitefish showed accumulation of fat in the liver and an increased hepatosomatic index; the haemoglobin content decreased. In some fish, the latter indicator decreased to 20-30 g/L, bearing in mind the normal range of 70-110 g/L. Such deviations observed in the physiology of the fish receiving both experimental and imported feeds indicate stimulation of lipid peroxidation at an increased temperature and weakening of antioxidant system.

При выращивании рыб в промышленных условиях основное внимание обращают обычно на рыбоводные показатели – интенсивность роста, выживаемость, общую биомассу, кормовой коэффициент. Между тем, не менее важным является оценка культивируемых объектов по физиологическому состоянию, которое может определять, как биологические особенности рыб, в зависимо-

сти от условий содержания и кормления, так и пищевую ценность получаемой рыбной продукции.

В статье рассматриваются рыбоводно-биологические и физиологические параметры сеголеток и двухлеток сиговых в экспериментах, которые были проведены в особых аномальных климатических условиях 2021 г. – чрезвычайно высокая температура.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Опыты были поставлены на базе садкового рыбноводного хозяйства ООО «Форват» (рис. 1), расположенного на оз. Суходольское Вуоксинской озерно-речной системы (Ленинградская обл.).

Здесь в садках содержатся производственные стада нескольких видов сиговых рыб (пелядь, муксун, чир, нельма, сиги), сформированные по технологии ГосНИОРХ [1]. Наличие маточных стад сиговых позволяет использовать в экспериментах рыб разных видов и возраста. В работе 2021 г. опыты проводили с сеголетками и двухлетками муксуна *Coregonus muksun*. Для каждого возраста рыб были разработаны по семь рецептов кормов со сходным уровнем белка и жира. Часть рыбьего жира заменяли на липиды растительного и животного происхождения. Корма изготавливались методом экструзии в Отделе кормов и кормовых компонентов ВНИРО.

Сеголетки средней массой 1,9 г были рассажены по 500 экз. в экспериментальные садки размером 2,0×2,0×2,5 метров. Годовики массой 25,8 г посажены по 150 экз. в садки 2,5×2,5×3,0 метров. Продолжительность опытов для сеголеток составила 77 сут. – с 30 июля по 15 октября, для годовиков (двухлеток) 138 сут. – с 27 мая по 16 октября.

Уход за рыбой и кормление осуществляли по рекомендациям ГосНИОРХ [2]. Корма выдавали с 8 утра до 10 ч. вечера вручную. В семи садках сеголетки и годовики получали экспериментальные корма, в восьмом для сравнения – импортные, ведущих западных фирм. Сеголеткам давали датский корм БиоМар (Inicio plus 901), годовикам – финский Райсоагро (Royal 1,7).

Для наблюдения за ростом и для корректировки суточных норм кормления периодически проводили контрольные обловы и взвешивания небольшой выборки рыб из каждого садка. При завершении опытов просчитывали и взвешивали всю рыбу и отбирали пробы для физиологических анализов.

Анализ жира проводили методом Фолча с двумя растворителями. Витамин С определяли по методу В.И. Бунина в модификации Л.М. Князевой [3]. Гемоглобин крови – по Сали, мазки крови окрашивали по методу Паппенгейма красителем-фиксатором Май-Грюнвальда с последующим докрасиванием азури-эозином по Романовскому. Число незрелых эритроцитов, отражающих интенсивность кроветворения, определяли при подсчете 200 клеток красной крови, с вычислением процента встретившихся незрелых форм. Лейкоцитарную формулу – при подсчете 200 лейкоцитов с вычислением процента различных форм клеток белой крови (лимфоциты, полиморфноядерные лейкоциты, моноциты). О количестве лейкоцитов судили по числу клеток белой крови, обнаруженных при подсчете 500 эритроцитов. Такой способ используется в современных исследованиях по гематологии рыб [4].

Анализы жирнокислотного состава липидов сеголеток и двухлеток выполнены по заказу ГосНИОРХ в ООО «АМТ» (аналитика, материалы,

Выращивание муксуна при высокой температуре, превышающей допустимую для сиговых рыб, вызвало отклонения в физиологии, не отразившись еще существенно на росте и выживаемости. Резко снизилось содержание витамина С и длинноцепочных полиненасыщенных жирных кислот типа омега 3. У двухлеток повысились накопление жира в печени и гептосоматический индекс, снизилось содержание гемоглобина. У отдельных рыб он упал до 20-30 г/л при норме 70-110 г/л. Подобные отклонения в физиологии рыб, получавших как экспериментальные, так и импортные корма, свидетельствуют о стимуляции перекисного окисления липидов в их организме при повышенной температуре и ослаблении антиоксидантной функции.



Рисунок 1. Садки рыбноводного хозяйства ООО «Форват», озеро Суходольское

Figure 1. Cages of fish farming LLC "Forvat", Lake Sukhodolskoye

технология) методом газо-жидкостной хроматографии.

Особенностью климатических условий 2021 г. была исключительно высокая температура воды. Оптимальная температура для сиговых – 17-18°C, допустимая – 20°C [2; 5]. В течение летнего периода проведения опытов, длительный период она держалась не только выше оптимальной, но и более месяца превышала допустимую для сиговых, достигая 24-25°C (рис. 2).

Для сохранения холодолюбивых рыб, при увеличении температуры воды выше оптимальной и допустимой, суточные дозы корма значительно уменьшали, следя за реакцией рыбы, а при резком повышении температуры воды вообще прекращали кормление и контрольные обловы. При нормализации температуры воды суточные дозы корма повышали до нормы, а в случае хорошей поедаемости и выше нормы.

Таблица 1. Рыбоводно-биологические показатели сеголеток муксуна, получавших экспериментальные и импортные корма / **Table 1.** Fish-breeding and biological indicators of muktun fingerlings receiving experimental and imported feed

Корма	Масса индивид., г	Суточный прирост, %	Общая биомасса, кг	Выживаемость, %	Кормовой коэффициент
Сеголетки					
Экспериментальные	20,4-26,3	3,1-3,4	8,2-9,8	62-89	0,9-1,1
БиоМар	25,7	3,4	9,2	71	1,1
Двухлетки					
Экспериментальные	180-209	1,3-1,5	20,7-25,1	72-94	1,3-1,6
Райсиоагро	204	1,4	28,1	92	1,1

Таблица 2. Содержание витамина С у сеголеток и двухлеток при завершении опыта / **Table 2.** Vitamin C content in yearlings and two-year-olds at the end of the experiment

Корм	Сеголетки		Корм	Двухлетки	
	Витамин С в теле, мкг/г	Витамин С в печени, мкг/г		Витамин С в мышцах, мкг/г	Витамин С в печени, мкг/г
No1	7,1	23,1	No8	9,3	29,0
No2	6,8	20,4	No9	10,4	36,6
No3	6,7	20,3	No10	9,8	29,5
No4	7,3	20,9	No11	11,7	29,0
No5	7,1	22,1	No12	12,0	36,9
No6	7,1	17,8	No13	10,1	38,9
No7	6,9	15,0	No14	9,7	33,8
БиоМар	6,8	20,0	Райсиоагро	9,4	32,3
Референсные значения	40-100	80-120	Референсные значения	40-100	80-120

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Изменение режима кормления, в связи с необычайно высокой температурой, позволило сохранить основную массу подопытной холодолюбивой рыбы и получить неплохие рыбоводно-биологические показатели на всех кормах (табл. 1). К концу вегетационного периода сеголетки муксуна достигли массы 20 г и выше, двухлетки – около 200 г и выше. Практически во всех вариантах результаты выращивания сеголеток и двухлеток муксуна были сходны и совпадали с результатами на импортных кормах по интенсивности роста, выживаемости, кормовым коэффициентам.

Вместе с тем физиологическое состояние рыб существенно отклонялось от нормы. Причем это отмечалось у рыб, получавших как экспериментальные, так и импортные корма. При повышенной температуре воды у сеголеток и двухлеток муксуна резко (в несколько раз ниже нормы для сиговых) сократилось содержание витамина С (табл. 2), который является, как известно, важным элементом антиоксидантной системы.

Существенные изменения произошли в полиненасыщенных жирных кислотах (ПНЖК) семейства омега 3 у сеголеток и двухлеток муксуна. Содержание длинноцепочечных высоконепредельных жирных кислот эйкозапентаеновой 20:5n-3 (ЭПК) и докозагексаеновой 22:6n-3 (ДГК) оказались очень низкими у рыб как на экспериментальных, так и на импортных кормах (табл. 3). Это ухуд-

шило качество товарной рыбы, так как именно рыбная продукция является основным источником ЭПК и ДГК, необходимых для нормальной жизнедеятельности человека. В последнее время уделяется самое пристальное внимание повышению этих соединений у рыб, производимых в аквакультуре [6].

Следует отметить, что в 2019 г., при благоприятных температурных условиях (температура воды в период проведения опытов в 2019 г. составляла в среднем 17-18°C), ЭПК и ДГК липи-

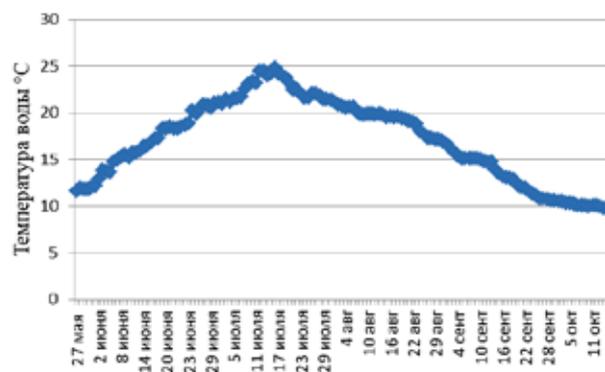


Рисунок 2. Температура воды в период проведения экспериментов в 2021 году
Figure 2. Water temperature during the experiments in 2021

дов у рыб были в несколько раз выше. Так, у сеголеток муксуна на опытных кормах ЭПК колебалось в пределах 3,6-4,0%, на корме БиоМар – 5,8% от суммы всех жирных кислот. У двухлеток на экспериментальном корме, сходном по составу с кормами 2021г, ЭПК составляла 2,6, на райсиоагро – 2,9%. ДГК на экспериментальном корме – 15,9, на райсиоагро – 21,4%. То есть, при благоприятном температурном режиме, уровень ПНЖК был наиболее высоким у рыб, получавших импортные корма. При этом у всех рыб и остальные исследуемые показатели в 2019 г. не отклонялись от нормы.

В опытах 2021 г. у сеголеток и двухлеток на импортных кормах и в ряде вариантов – на экспериментальных повысилось содержание жира в печени. У двухлеток в большинстве случаев индекс печени превысил референсные значения (табл. 4), что свидетельствовало о возможном начале жировой дегенерации печени. Накопление липидов в печени может быть связано с дефицитом ПНЖК, необходимых для синтеза фосфолипидов, участвующих в липотропной функции [7] – выведение жира из печени.

Показатели крови у сеголеток не отклонялись от нормы. Уровень гемоглобина и содержание незрелых эритроцитов колебались в пределах референсных значений (табл. 5). У двухлеток содержа-

ние гемоглобина было в среднем либо нормальным (выше 70 г/л), либо несколько пониженным (59-65 г/л). При нормальном уровне гемоглобина, основная масса клеток красной крови была представлена обычными для рыб продолговатыми эритроцитами с небольшим плотным ядром и окрашиваемой в розовый цвет цитоплазмой (рис. 3А). В небольшом количестве (5-10%) встречались эритроциты на разной стадии созревания округлой и продолговатой формы с прозрачной цитоплазмой.

Но необходимо отметить, что во всех восьми садках, среди 10 исследованных, в каждом садке двухлеток появились отдельные особи с резко выраженной анемией. У таких рыб содержание гемоглобина составляло 20-30 г/л вместо 70-110 г/л по норме. На мазках крови (рис. 3Б) наблюдалось выбрасывание в русло крови огромного (до 80-90% от всей массы клеток красной крови) количества патологических незрелых эритроцитов разных размеров округлой и продолговатой формы с большим ядром и прозрачной цитоплазмой, что указывало на отсутствие в них гемоглобина.

Количество лейкоцитов и лейкоцитарная формула не имели четкой разницы у сеголеток и двухлеток на разных кормах и колебались в пределах нормы.

Комплекс физиологических изменений в организме рыб в опытах 2021 г.: падение витамина С,

Таблица 3. Жирные кислоты липидов сеголеток и двухлеток муксуна, получавших экспериментальные и импортные корма, % от суммы / **Table 3.** Fatty acids of lipids of yearlings and two-year-olds of muksun, who received experimental and imported feed, % of the amount

Корма	НЖК ¹	МНЖК ²	n-3	n-6	ЭПК ³ 20:5n-3	ДГК ⁴ 22:6n-3
Тело сеголеток						
Экспериментальные	17,2 - 32,1	28,0 - 40,3	15,3 - 23,1	10,8-27,4	0,6-1,7	0,6 - 6,0
БиоМар	20,8	43,4	14,4	15,3	1,0	2,2
Мышцы двухлеток						
Экспериментальные	21,1-29,8	19,8 - 30,4	15,2 -22,6	7,2-19,2	0,4 -1,9	1,1 -5,7
Райсиоагро	20,7	49,8	12,0	9,3	2,7	0,5

НЖК¹ – насыщенные жирные кислоты, МНЖК² – мононенасыщенные жирные кислоты, ЭПК³ – эйкозопентаеновая кислота, ДГК⁴ – докозагексаеновая кислота

Таблица 4. Содержание жира и индекс печени у сеголеток и двухлеток муксуна / **Table 4.** Fat content and liver index in muksun yearlings and two-year-olds

Сеголетки				Двухлетки		
Корм	Жир в теле, %	Жир в печени, %	Индекс печени, %	Корм	Жир в печени, %	Индекс печени, %
No1	11,0	5,9	1,3±0,04	No8	6,9	1,5±0,06
No2	10,6	7,9	1,3±0,04	No9	6,7	1,6±0,08
No3	10,9	6,8	1,3±0,06	No10	6,4	1,5±0,08
No4	10,7	7,0	1,3±0,08	No11	7,0	1,6±0,05
No5	10,7	6,9	1,5±0,06	No12	7,5	1,7±0,17
No6	10,6	7,0	1,4±0,05	No13	9,1	1,6±0,04
No7	9,1	8,3	1,3±0,03	No14	8,4	1,6±0,07
БиоМар	10,1	7,8	1,3±0,02	Райсиоагро	9,3	1,6±0,10
Референсные значения	8-12	3-7	1,1-1,5	Референсные значения	3-7	1,1-1,5

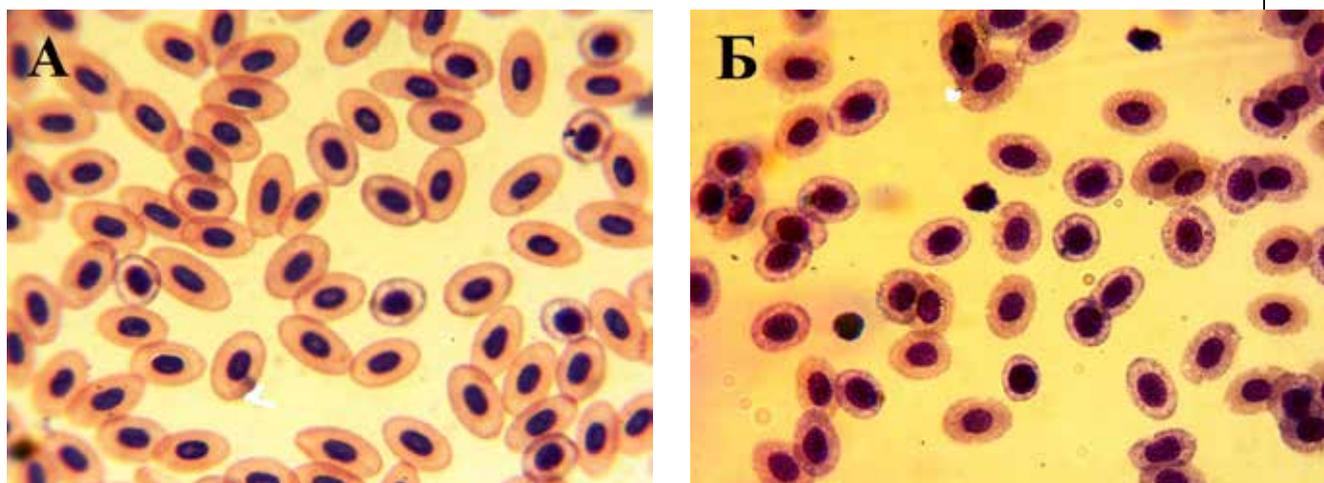


Рисунок 3. Кровь двухлеток муксуна: А – норма, гемоглобин 80 г/л; Б – анемия, гемоглобин 20г/л. Увеличение x 90

Figure 3. Blood of two-year-olds of muksun: A - norm, hemoglobin 80 g/l; B - anemia, hemoglobin 20 g/l. Magnification x 90

Таблица 5. Физиологические показатели сеголеток муксуна при завершении опыта /
Table 5. Physiological indicators of muksun fingerlings at the end of the experiment

Корм	Сеголетки		Корм	Двухлетки	
	Нб, г/л	Незрелые эритроциты, %		Нб, г/л	Незрелые эритроциты, %
No1	80,8±2,81	7,8±0,51	No8	72,6±2,58	7,0±0,76
No2	76,4±1,23	6,5±0,71	No9	59,4±3,57	13,2±0,99
No3	74,6±1,30	7,6±0,7	No10	59,6±5,34	19,1±8,05
No4	77,4±0,96	7,0±0,54	No11	80,6±1,16	9,2±1,24
No5	78,4±1,07	7,9±0,50	No12	61±4,78	15,1±3,47
No6	80,0±1,13	7,7±0,68	No13	74,8±3,97	10,8±1,66
No7	82,8±2,15	7,1±0,53	No14	71,2±4,58	9,8±0,94
БиоМар	85,6±2,04	6,3±0,39	Райсиоагро	65,6±7,03	22,1±7,65
Референсные значения	60-80	5-15	Референсные значения	70-110	5-15

резкое снижение ПНЖК, признаки липоидной дегенерации печени, появление особей с сильно выраженной анемией – свидетельствуют о стимуляции перекисного окисления липидов при ослаблении антиоксидантной системы. Развитие окислительного стресса в аквакультуре чаще всего объясняется использованием недоброкачественных по составу кормов или окисленных кормов с просроченным сроком хранения [8]. В естественных условиях перекисное окисление липидов связывают с загрязнением водной среды [9; 10], которое вызывает образование активных форм кислорода, негативно влияющих на жирнокислотный состав, и другие физиолого-биохимические параметры рыб. Отметим, что и в естественных условиях, при загрязнении водоемов, причиной окислительного стресса рыб может быть тоже некачественный рацион, так как рыбы питаются организмами из той же загрязненной среды, где липиды этих кормовых объектов также подвергались перекисному окислению с утратой витаминов, каротиноидов и других необходимых для рыб экзогенных антиоксидантов. Такие потери у беспозвоночных из неблагоприятных водоемов неоднократно отмечались в литературе.

В наших опытах сроки хранения кормов не нарушались, а интенсивный рост рыб, при нормализации температуры, подтверждает полноценность рационов по питательным веществам. В состав импортных кормов, в отличие от наших, входит стабилизированная форма витамина С, которая отличается высокой устойчивостью и, таким образом, защищает корма от быстрого окисления. Но, попадая в организм, стабилизированная форма быстро расщепляется уже в стенках кишечника [11] и превращается в обычный, легко окисляемый витамин С. Полученные данные о сходстве отклонений в физиологии рыб, содержащихся на экспериментальных и импортных кормах, свидетельствуют о влиянии общего фактора. В нашем случае это была аномально высокая температура, стимулирующая перекисное окисление липидов в пойкилотермном организме рыб, о чем свидетельствуют отклонения физиологических параметров от нормы у рыб на всех кормах. Кроме того, пониженные суточные дозы, а иногда и полное прекращение кормления в этих условиях, уменьшило поступление в организм рыб предназначенного количества противокислительных элемен-

тов (витаминов, каротиноидов), что не могло не отразиться на антиоксидантной системе рыб.

Близкая картина изменений некоторых физиологических показателей, при повышенной температуре воды, была получена китайскими исследователями для теплолюбивой рыбы *Terapon jarbua* [12]. При увеличении температуры с 28-32°C до 36°C отмечали снижение длинноцепочных полиненасыщенных жирных кислот, повышение индекса печени, увеличение уровня малонового диальдегида (продукта перекисного окисления липидов), что указывало на развитие окислительного стресса. На корме с более высоким содержанием витамина С (400 мг/кг вместо 80 мг/кг) признаки увеличения перекисного окисления липидов, при повышенной температуре, не были обнаружены. В предыдущей работе этих авторов [13] было установлено, что потребность в аскорбиновой кислоте у этой теплолюбивой рыбы, с повышением температуры воды, увеличивается. Добавление витамина С в рацион в этих условиях снижало смертность рыб.

В наших, ранее проведенных исследованиях [14], в условиях нормальной температуры, опрыскивание длительно хранящихся кормов раствором витамина С (1г/кг), по методу Л.М. Князевой [3], даже в течение 10 дней повышало содержание витамина С в мышцах двухлеток сиговых и предохраняло их от потери ЭПК и ДГК.

Полученные данные свидетельствуют о необходимости дальнейших исследований по отработке дозировки и времени применения витамина С для предохранения холодолюбивых рыб от перекисного окисления липидов в условиях критических температур.

ВЫВОДЫ

1. В условиях аквакультуры повышенная температура, также как недоброкачественные окисленные корма, вызывает у сиговых рыб стимуляцию перекисного окисления липидов и ослабление антиоксидантной системы.

2. Физиологическими показателями дефицита противокислительной защиты и развития окислительного стресса у сиговых рыб, при повышенной температуре, является резкое снижение витамина С; длинноцепочных полиненасыщенных жирных кислот типа омега 3 (ЭПК и ДГК); накопление жира в печени, при увеличении гепатосплетического индекса; появление рыб с сильной анемией.

3. Необходимы исследования по отработке методов, дозы и времени обогащения кормов антиоксидантами (в том числе витамином С), предохраняющими рыб от продуктов перекисного окисления липидов, в условиях повышенных температур.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

1. Костюничев В.В. Технология выращивания и формирования маточных стад сиговых в промышленных условиях: Сборник науч. трудов / СПб.: ГосНИОРХ, 2005, Вып. 333. – С. 3-18.

1. Kostyunichev V.V. Technology of cultivation and formation of brood herds of whitefish in industrial conditions: Collection of scientific works / St. Petersburg: GosNIORH, 2005, Issue 333. – Pp. 3-18.

2. Сборник методических рекомендаций по промышленному выращиванию сиговых рыб для целей воспроизводства и товарной аквакультуры [Под ред. А.К. Шумилиной]. СПб.: ГосНИОРХ, 2012. – 289 с.

2. Collection of methodological recommendations on the industrial cultivation of whitefish for reproduction and commercial aquaculture [Edited by A.K. Shumilina]. St. Petersburg: GosNIORH, 2012. – 289 p.

3. Князева Л.М. Рекомендации по увеличению сроков хранения гранулированного корма для молоди форели путем опрыскивания его водным раствором витамина С. – Л.: ГосНИОРХ, 1979. – 12 с.

3. Knyazeva L.M. Recommendations for increasing the shelf life of granular feed for juvenile trout by spraying it with an aqueous solution of vitamin C. – L.: State Research Institute, 1979. – 12 p.

4. Житенева А.Д. Основы ихтиогематологии (в сравнительном аспекте). / А.Д. Житенева, Э.В. Макаров, О.А. Рудницкая, А.В. Мирзоян. – Ростов на Дону: АзНИИРХ, 2012. – 320 с.

4. Zhiteneva A.D. Fundamentals of ichthyohematology (in a comparative aspect). / A.D. Zhiteneva, E.V. Makarov, O.A. Rudnitskaya, A.V. Mirzoyan. – Rostov-on-Don: AzNIIRKH, 2012. – 320 p.

5. Голованов В.К. Температурные критерии жизнедеятельности пресноводных рыб. – М.: Полиграф-плюс, 2013. – 301с.

5. Golovanov V.K. Temperature criteria for the vital activity of freshwater fish. – M.: Polygraph-plus, 2013. – 301c.

6. Гладышев М.И. Незаменимые источники полиненасыщенных жирных кислот для аквакультуры // Вопросы ихтиологии. – 2021. – том 61. – № 4. – С. 471-485. DOI: 10.31857/S0042875221030048

6. Gladyshev M.I. Irreplaceable sources of polyunsaturated fatty acids for aquaculture // Questions of ichthyology. – 2021. – volume 61. – No. 4. – Pp. 471-485. DOI: 10.31857/S0042875221030048

7. Tocher D.R., Bendiksen E.A., Campbell E.A., Bell J.G. The role of phospholipids in nutrition and metabolism of teleost fish // Aquaculture. – 2008. – v. 280. – Pp. 21-34.

8. Остроумова И.Н. Симптомы дефицита биоантиоксидантов у рыб при неполноценном питании // Экологическая физиология и биохимия осетровых рыб. Материалы международного симпозиума. 1997, С. 94-96.

8. Ostroumova I.N. Symptoms of bioantioxidant deficiencies in fish with malnutrition // Ecological physiology and biochemistry of sturgeon fish. Materials of the international symposium. 1997. – Pp. 94-96.

9. Livingstone D.R. Contaminant reactive oxygen species production and oxidative damage in aquatic organisms // Mar. Pollut. Bull. – 2001. – Vol.42. – Pp. 656-666.

10. Лукина Ю. Н. Проблемы здоровья рыб в водных экосистемах Европейско-Сибирской области Палеарктики. Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2014. 37 с.

10. Lukina Yu. N. Problems of fish health in aquatic ecosystems of the European Siberian region of the Palearctic. Autoref. dis. ... doct. biol. sciences. Petrozavodsk: Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2014. 37 p.

11. Miyasaki T. Metabolism and physiological activity of ascorbyl-2-phosphate in fish // J. of Shimonoseki University of fisheries. 1995. – 43 (2). – Pp. 45-107.

12. Chien L.-T., Hwang D.-F. Effect of thermal stress and vitamin C on lipid peroxidation and fatty acid composition in the liver of thornfish *Terapon jarbua*. // Comparative Biochemistry and Physiology. Part B 128. – 2001. – Pp. 91-97.

13. Chien, L.T., Hwang, D.F., Jeng, S.S., Effect of thermal stress on dietary requirement of vitamin C in thornfish *Terapon jarbua*. // Fish. Sci. – 1999. – 65. – Pp. 731-735.

14. Остроумова И.Н. Влияние витамина С на жирнокислотный состав печени и мышц двухлеток сиговых рыб (*Coregonidae*), выращиваемых в условиях аквакультуры. / И.Н. Остроумова, В.В. Костюничев, А.А. Лютиков, А.К. Шумилина, Т.А. Филатова // Вопросы рыболовства. – 2020. – Том 21. – №3. – С. 343-352.

14. Ostroumova I.N. The effect of vitamin C on the fatty acid composition of liver and muscle yearlings coregonines (*Coregonidae*) that is grown in aquaculture. / I. N. Ostroumova, V. V. Rostunichev, A. A. Lyutikov A. K. Shumilina, T.A. Filatova // Problems of fisheries. – 2020. – Volume 21. – No. 3. – Pp. 343-352.