

Научная статья
УДК 639.3.07
<https://doi.org/10.24143/2073-5529-2023-4-98-107>
EDN JOJXVA

Влияние зимовки на морфофизиологические и химические показатели судака *Sander lucioperca*

Анатолий Анатольевич Лютиков[✉],
Алла Константиновна Шумилина, Александр Евгеньевич Королев
Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
рыбного хозяйства и океанографии»,
Санкт-Петербург, Россия, tokmo@mail.ru[✉]

Аннотация. В период зимовки у судаков из естественной среды обитания и выращенных в заводских условиях происходят изменения в морфофизиологическом и химическом статусе, обусловленные расходом энергетических резервов организма и перераспределением питательных веществ в мышцах и печени. Это выражается в значительном снижении содержания полостного жира в теле диких и заводских особей (на 45 и 16 % соответственно), жирности мышц (на 26 % у диких особей) и печени (на 59 % у диких и 16 % у заводских рыб), витамина С в мышцах (на 56 и 23 % соответственно). При этом в мышцах и печени многократно повышается содержание безазотистых экстрактивных веществ – в 2,1 и 2,8 раза соответственно у диких особей и в 1,5 и 1,4 раза у судаков, выращенных в садках. В липидах мышц судаков в зимний период существенно повышается доля мононенасыщенных жирных кислот и снижается доля полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК), особенно эйкозапентаеновой (ЭПК), докозагексаеновой (ДГК) и арахидоновой, на фоне повышения уровня этих кислот в печени. С точки зрения качества мяса, оцененного по содержанию длинноцепочечных ПНЖК, за период зимовки происходит значительное снижение пищевой ценности выловленных и выращенных рыб, что выражается в 2-3-кратном снижении ЭПК + ДГК в мышцах. Подобные изменения являются адаптацией рыб к холодным температурным условиям в период длительной зимовки и связаны с половым созреванием.

Ключевые слова: судак, дикие и заводские рыбы, зимовка, коэффициент упитанности, мышцы, печень, полостной жир, жирные кислоты, жирнокислотный состав, питательная ценность

Для цитирования: Лютиков А. А., Шумилина А. К., Королев А. Е. Влияние зимовки на морфофизиологические и химические показатели судака *Sander lucioperca* // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2023. № 4. С. 98–107. <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2023-4-98-107>. EDN JOJXVA.

Original article

Influence of wintering on morphophysiological and chemical indicators of pikeperch *Sander lucioperca*

Anatoliy A. Lyutikov[✉], Alla K. Shumilina, Alexander E. Korolev
Saint-Petersburg Branch Russian Federal “Research Institute of Fisheries and Oceanography”,
Saint-Petersburg, Russia, tokmo@mail.ru[✉]

Abstract. During the wintering period, sander from their natural habitat and grown in farm conditions undergo changes in morphophysiological and chemical status due to the expenditure of energy reserves of the body and the redistribution of nutrients in the muscles and liver. This is expressed in a significant decrease in the content of abdominal fat in the body of wild and factory individuals (by 45 and 16%, respectively), muscle fat content (by 26% in wild individuals) and liver (by 59% in wild and 16% in farm fish), vitamin C in muscles (by 56 and 23%, respectively). At the same time, the content of nitrogen-free extractives in the muscles and liver increases many times – by 47 and 31%, respectively, in wild individuals and by 31 and 29% in sander raised in cages. The proportion of monounsaturated fatty acids in the lipids of sander muscles in winter significantly increases and the proportion of polyunsaturated fatty acids (PUFA) decreases, especially eicosapentaenoic (EPA), docosahexaenoic (DHA) and arachidonic, against the background of an increase in the level of these acids in the liver. From the point of view of meat quality, estimated by the content of long-chain PUFA, during the wintering period there is a significant decrease in the nutritional value of caught and raised fish, which is expressed in a 2-3-fold decrease in EPA + DHA in fillets. Such changes are the adaptation of fish to cold temperature conditions during prolonged wintering and are associated with puberty.

Keywords: pike perch, wild and farm fish, wintering, fatness coefficient, muscles, liver, abdominal fat, fatty acids, fatty acid composition, nutritional value

For citation: Lyutikov A. A., Shumilina A. K., Korolev A. E. Influence of wintering on morphophysiological and chemical indicators of pikeperch *Sander lucioperca*. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing industry*. 2023;4:98-107. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2023-4-98-107>. EDN JOJXVA.

Введение

В условиях современного состояния мирового промысла рыбы аквакультура рассматривается в качестве альтернативного поставщика высококачественной рыбной продукции. В России, с ее огромным фондом рек и озер, более развито пресноводное рыбоводство, в котором в качестве объектов выращивания преобладают лососевые, карповые и осетровые виды. В рамках экспериментальных исследований разрабатываются технологии выращивания окуневых рыб, среди которых судак является наиболее традиционным и экономически выгодным видом. Первые сведения о разведении судака в России относятся к 1880-м гг. и связаны с деятельностью Никольского рыбоводного завода [1]. В работе не указана технология культивирования, однако следует полагать, что она была основана на прудовом разведении судака с последующим зарыблением озер. Подобный метод разведения судака использовали в нашей стране до недавнего времени, пока с развитием современных форм индустриального рыбоводства судака не начали выращивать садковым или бассейновым способом, в том числе в установках замкнутого водоснабжения (УЗВ) [2, 3].

Введение судака в индустриальную аквакультуру имеет сложности, не решенные по настоящее время и связанные с отсутствием на рынке специализированных кормов (форелевые или осетровые корма приводят к ожирению окуневых рыб) и нехваткой знаний о физиологических особенностях судака при содержании в неволе. Например, в УЗВ созревание судака проходит с отклонениями, что обусловлено отсутствием возможности воспроизвести в заводских условиях комплекс абиотических факторов, соответствующих природным, в том числе условиям зимовки [4, 5]. Известно, что содержание объектов выращивания в зимний период является одним из проблемных мест рыбоводного процесса, которое, в силу физиологических и химических изменений в организме, может сопровождаться

массовой гибелью рыб, особенно при нерациональном летнем кормлении. Таким образом, развитие технологии культивирования судака индустриальным способом должно основываться на расширении знаний о его биологии и физиологии в различные периоды рыбоводного цикла.

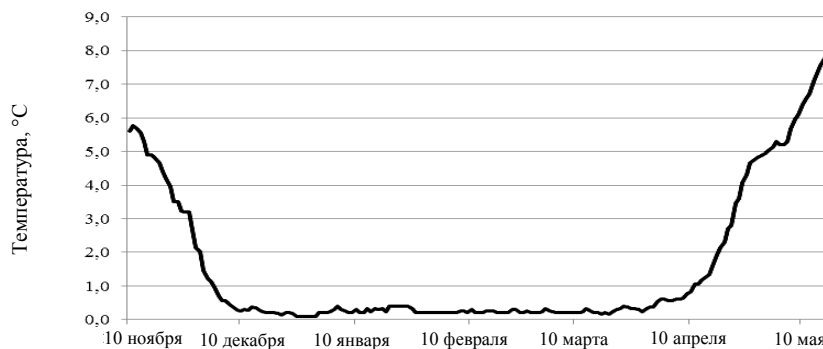
Помимо биологических параметров, особый интерес представляет исследование питательной ценности рыб в зависимости от сезона выращивания, что может способствовать рациональному ведению рыбного хозяйства и получению рыбной продукции более высокого качества.

В связи с вышесказанным целью настоящей работы явилось исследование морфофизиологических и биохимических параметров диких и искусственно выращенных судаков до и после зимовки.

Материал и методы

Объектом исследования служили неполовозрелые судаки (четырёхлетки и четырёхгодовики) из оз. Суходольское и соразмерные с дикими рыбами искусственно выращенные особи (трехлетки и трехгодовики). Последние получены из ремонтно-маточного стада, содержащегося в садках рыбоводного хозяйства ООО «Форват» (Приозерский р-н, Ленинградская обл.), садки которого установлены в оз. Суходольское. Дикие и заводские особи имеют общее происхождение – маточное стадо сформировано из потомства, полученного от рыб, обитающих в естественном водоеме.

В «летний» сезон (с мая по октябрь) судаки в садках получали искусственные корма Биомар Еfico Sigma 840 (Дания). В зимний период (с конца октября по май) судака в садках не кормили. Рыб из озера для исследований отлавливали 15–17 октября 2021 г. и 10–15 мая 2022 г., из садков – 25 октября 2021 г. и 15 мая 2022 г. Температурный режим воды в период зимовки судаков в озере (и, соответственно, в садках) приведен на графике (рис.).



Динамика температуры воды во время зимовки судака в садках и оз. Суходольское (2021–2022 гг.)

Dynamics of water temperature during the wintering of sander in cages and Lake Sukhodolskoye (2021-2022)

Аналитическую работу проводили в лаборатории аквакультуры Санкт-Петербургского филиала Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии, жирнокислотный состав мышц и печени рыб определяли в ООО «МИП-АМТ» (г. Санкт-Петербург). Количество исследованных рыб из каждой группы для морфофизиологического анализа составляло по 15 экз., для химического анализа – по 10 экз., для жирнокислотного анализа состава мышц и печени – по 5 экз.

Длину рыб определяли до конца чешуйного покрова, индексы внутренних органов (печени, гонад, сердца, селезенки, желудочно-кишечного тракта (ЖКТ)) и полостного жира определяли как процентное отношение их массы к массе целой рыбы. Коэффициент упитанности рассчитывали как отношение массы к длине тела рыбы до конца чешуйного покрова, возведенной в куб.

Методами химического анализа определяли относительное содержание влаги, сухого вещества, липидов (по методу Фолча), белка (по методу Кьельдаля), минеральных веществ (золы) – методом сжигания пробы в муфельной печи при температуре 550 °С до постоянной массы золы, безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ) – расчетным мето-

дом, витамина С – модифицированным методом титрования экстракта витамина в соляной кислоте реактивом Тильманса [6]. Для определения данных показателей из нескольких образцов рыб готовили интегральную пробу. Анализ жирнокислотного состава тела судаков проводили методом газожидкостной хроматографии.

Статистическая обработка данных была выполнена с помощью программного пакета Statistica 6.0. В таблицах приведены среднеарифметические значения (M), стандартная ошибка среднего (m), коэффициент варибельности признака (Cv). Для определения различий между группами использовали t -критерий Стьюдента, нормальность распределения определяли по критерию Пирсона.

Результаты исследования

Размерно-весовые характеристики судаков, обитающих в природном водоеме и содержащихся в садках рыбоводного хозяйства, за период зимовки достоверно не изменились. Тем не менее и у диких, и у заводских рыб произошло значимое снижение коэффициента упитанности – на 7 и 11 % соответственно (табл. 1).

Таблица 1

Table 1

Размерно-весовые показатели и индексы внутренних органов «диких» и «заводских» судаков до и после зимовки

Size and weight indicators and indices of internal organs of “wild” and farm sander before and after wintering

Показатель	Дикие особи				Заводские особи			
	Осень	Cv	Весна	Cv	Осень	Cv	Весна	Cv
Длина, см	27,6 ± 0,4	4,2	28,5 ± 0,5	2,71	26,2 ± 0,5	6,22	28,8 ± 0,6	6,31
Масса, г	278,4 ± 14,0	11,8	284,0 ± 11,0	8,70	242,1 ± 16,2	21,20	264,8 ± 19,2	22,93
Коэффициент упитанности	1,33 ± 0,03	6,50	1,23 ± 0,03*	2,57	1,25 ± 0,01	3,79	1,11 ± 0,01*	4,39
Индекс, %								
Полостного жира	1,87 ± 0,25	42,07	1,04 ± 0,18*	39,19	8,61 ± 0,29	10,75	7,24 ± 0,37*	15,97
Печени	1,42 ± 0,10	21,39	1,51 ± 0,10	14,31	3,68 ± 0,21	17,80	3,49 ± 0,12	10,88
Сердца	0,20 ± 0,02	27,56	0,20 ± 0,01	24,50	0,15 ± 0,01	19,24	0,14 ± 0,01	22,58
Селезенки	0,11 ± 0,01	21,14	0,09 ± 0,01	12,38	0,09 ± 0,01	26,58	0,11 ± 0,01	42,89
Гонадосоматический	0,15 ± 0,04	78,87	0,35 ± 0,11*	70,93	0,73 ± 0,21	88,82	1,14 ± 0,09*	58,88
ЖКТ	4,29 ± 0,40	29,44	3,89 ± 0,17*	9,76	2,82 ± 0,14	15,29	2,78 ± 0,10	11,51

* Достоверные различия признаков в каждой группе при уровне значимости $p \leq 0,05$.

За зимовку у судаков достоверно снизились индексы полостного жира – на 45 % у диких рыб и на 16 % у заводских, повысились гонадосоматические индексы (ГСИ) – в среднем на 47 %, и на 9 % снизился индекс ЖКТ у судаков из естественных условий обитания.

Изменения химического состава у диких рыб за зимний период заключались в достоверном сниже-

нии липидов в мышцах и печени на 26 и 59 % соответственно, белка в печени на 17 %, витамина С в мышцах на 56 %, а также в повышении БЭВ в мышцах и печени на 47 и 31 % соответственно и золы в печени на 15 % (табл. 2).

Таблица 2

Table 2

Химический состав мышц и печени «диких» и «заводских» судаков до и после зимовки
 (липиды, белок, зола и БЭВ определены в сыром веществе), %
 Chemical composition of muscles and liver of “wild” and farm sander before and after wintering
 (lipids, protein, ash and NFES are determined in raw matter), %

Компонент	Дикие особи				Заводские особи			
	Осень	С _у	Весна	С _у	Осень	С _у	Весна	С _у
Мышцы								
Влага	77,78 ± 0,21	0,47	76,73 ± 0,08	0,18	75,39 ± 0,20	0,46	75,90 ± 0,10	0,29
Сухое вещество	22,22 ± 0,21	1,65	23,27 ± 0,08	0,60	24,61 ± 0,20	1,41	24,10 ± 0,10	0,91
Липиды	0,84 ± 0,18	60,3	0,62 ± 0,02*	5,63	0,85 ± 0,04	8,64	0,91 ± 0,05	12,47
Белок	19,00 ± 0,47	4,26	19,15 ± 0,19	1,70	21,01 ± 0,21	1,75	19,87 ± 0,13	1,46
Зола	1,30 ± 0,03	3,86	1,21 ± 0,01	0,48	1,42 ± 0,01	0,70	1,38 ± 0,02	2,73
БЭВ	1,08 ± 0,22	34,65	2,29 ± 0,09*	6,81	1,33 ± 0,03	4,15	1,94 ± 0,09*	10,51
Витамин С, мкг/г	28,43 ± 0,18	1,07	21,60 ± 0,23*	1,85	39,33 ± 1,44	6,36	30,42 ± 0,48*	3,54
Печень								
Влага	69,26 ± 1,08	2,71	71,76 ± 0,48	1,16	51,72 ± 2,39	7,99	51,49 ± 1,58	6,87
Сухое вещество	30,74 ± 1,08	6,12	28,24 ± 0,48	2,94	48,28 ± 2,39	8,56	48,51 ± 1,58	7,30
Липиды	11,09 ± 1,10	17,21	4,49 ± 0,22*	8,35	26,58 ± 1,98	12,90	22,31 ± 1,48*	14,83
Белок	16,63 ± 1,38	14,41	13,75 ± 0,51*	6,40	11,21 ± 0,24	3,70	11,53 ± 0,36	7,04
Зола	1,11 ± 0,04	5,98	1,31 ± 0,08*	11,10	0,85 ± 0,04	7,98	1,10 ± 0,03*	6,20
БЭВ	3,14 ± 0,17	9,59	8,69 ± 0,33*	6,56	9,64 ± 1,09	19,54	13,57 ± 0,57*	9,43
Витамин С, мкг/г	87,90 ± 2,77	5,46	86,50 ± 0,72	1,45	67,50 ± 9,20	23,61	66,92 ± 4,02	13,42

* Достоверные различия признаков в каждой группе при уровне значимости $p \leq 0,05$.

У заводских рыб также достоверно снизилось содержание липидов в печени (на 16 %) и витамина С в мышцах (на 23 %) и увеличилась зольность печени (на 23 %) и БЭВ в мышцах и печени (на 31 и 29 %) соответственно.

У диких рыб наибольшей вариабельностью в осенний и весенний период отличается индекс полостного жира (около 40 %), содержание липидов в мышцах в осенний период (60 %) и ГСИ (не менее 70 %) (см. табл. 1, 2). Судакам из садков также свойственна значительная вариабельность ГСИ, которая несколько снижается по мере созревания рыб – от 89 % осенью до 59 % весной (см. табл. 1).

Жирнокислотный состав липидов мышц у судаков из озера и садков после зимовки характеризовался снижением насыщенных (НЖК) и полиненасыщенных (ПНЖК) и повышением мононенасыщенных жирных кислот (МНЖК), при этом существенно снизилось содержание кислот ряда *n3* и повысилось *n6* (табл. 3).

Содержание доли наиболее значимой в физиологическом отношении докозагексаеновой (ДГК) жирной кислоты снизилось более чем в 2 раза, эйкозапентаеновой (ЭПК) – в среднем в 1,6 раза на фоне повышения в 1,6 раза материнской α -линоленовой (АЛК) жирной кислоты. Незаменимая арахидоновая жирная кислота (АРК) за зимовку судаков разного происхождения снизилась в липи-

дах мышц в среднем в 1,4 раза, и во столько же раз в среднем увеличилось содержание материнской линолевой (ЛК) жирной кислоты.

Доля МНЖК в печени диких рыб за зимовку снизилась в 2 раза при более чем трехкратном повышении ПНЖК. У заводских рыб, напротив, доля МНЖК повысилась в 1,2 раза, ПНЖК – существенно не изменилась (см. табл. 3).

Увеличение ПНЖК в липидах печени рыб из естественного водоема в зимний период произошло за счет повышения доли кислот ряда *n3* (в 6,6 раза) – доля АЛК повысилась в 2,8 раза, ЭПК в 18,6, ДГК в 7,4 раза. Также произошло двукратное увеличение содержания *n6* кислот, в основном за счет АРК, доля которой повысилась с 0,25 до 7,39 % от суммы ЖК (т. е. практически в 30 раз), при этом материнская ЛК осталась неизменной (см. табл. 3).

Несмотря на стабильный уровень ПНЖК в липидах печени заводских рыб за период зимнего содержания, структура их жирнокислотного состава несколько изменилась. Так, произошло увеличение в 1,3 раза доли кислот ряда *n3* за счет повышения АЛК в 1,4 раза, ЭПК и ДГК в 3 раза каждой. Суммарная доля кислот семейства *n6*, в том числе АРК, у заводских рыб за зимовку осталась на прежнем уровне, достоверно увеличились доли линолевой и докозадиеновой кислот и снизилась доля докозатетраеновой жирной кислоты (см. табл. 3).

Лютиков А. А., Шумилина А. К., Королев А. Е. Влияние зимовки на морфофизиологические и химические показатели судачка *Sander lucioperca*

Таблица 3

Table 3

Жирнокислотный состав липидов мышц и печени «диких» и «заводских» судаков до и после зимовки, % от суммы ЖК*
Fatty acid composition of muscle and liver lipids of "wild" and farm sander before and after wintering, % of the amount of FA

Жирные кислоты	Дикие особи		Заводские особи		Дикие особи		Заводские особи	
	Осень	Весна	Мышцы	Печень	Осень	Весна	Осень	Весна
НЖК	12:0	0,14 ± 0,03	0,42 ± 0,08	0,09 ± 0,01	0,14 ± 0,02	0,08 ± 0,01	0,14 ± 0,02	0,09 ± 0,01
	14:0	1,50 ± 0,44	1,41 ± 0,10	1,17 ± 0,35	1,94 ± 0,42	2,23 ± 0,14	2,23 ± 0,14	2,46 ± 0,53
	15:0	0,41 ± 0,11	0,34 ± 0,07	0,19 ± 0,06	0,23 ± 0,04	0,32 ± 0,11	0,44 ± 0,13	0,22 ± 0,07
	16:0	18,81 ± 1,12	18,52 ± 1,85	18,28 ± 1,61	16,34 ± 2,14	17,58 ± 1,25	17,79 ± 0,98	16,06 ± 1,02
	17:0	0,65 ± 0,12	0,58 ± 0,11	0,23 ± 0,03	0,33 ± 0,05	0,46 ± 0,07	0,71 ± 0,16	0,50 ± 0,08
	18:0	5,23 ± 0,94	4,01 ± 0,27	3,66 ± 0,81	2,07 ± 0,22	2,70 ± 0,18	3,79 ± 0,41	0,18 ± 0,04
	20:0	0,18 ± 0,02	—	0,15 ± 0,02	0,15 ± 0,14	0,07 ± 0,06	0,14 ± 0,11	—
	22:0	—	—	0,48 ± 0,08	0,31 ± 0,13	—	—	—
	24:0	1,71 ± 0,55	0,33 ± 0,12	0,93 ± 0,22	0,20 ± 0,09	2,58 ± 0,53	0,45 ± 0,04	0,93 ± 0,22
	Σ	28,49 ± 3,12	25,33 ± 2,16**	25,51 ± 2,84	21,66 ± 4,46**	26,02 ± 2,50	24,57 ± 2,89	20,36 ± 2,19
МНЖК	16:1n7	5,41 ± 1,11	9,90 ± 1,58	3,50 ± 0,71	6,62 ± 1,54	18,27 ± 5,63	9,16 ± 2,06	8,70 ± 2,62
	17:1	—	—	—	0,13 ± 0,03	0,33 ± 0,11	0,07 ± 0,02	9,30 ± 2,46
	18:1n7	3,95 ± 0,53	7,36 ± 0,92	2,57 ± 0,33	5,46 ± 1,08	9,76 ± 2,59	5,75 ± 1,28	30,32 ± 7,39
	18:1n9	13,40 ± 1,62	9,23 ± 1,81	19,70 ± 5,36	28,83 ± 2,49	16,17 ± 3,63	7,73 ± 0,96	0,93 ± 0,22
	20:1n7	—	3,05 ± 1,02	—	—	—	0,14 ± 0,09	—
	20:1n9	0,46 ± 0,10	—	2,20 ± 0,20	2,30 ± 1,10	0,07 ± 0,07	0,34 ± 0,04	0,07 ± 0,01
	22:1n9	—	1,79 ± 0,93	—	0,20 ± 0,10	2,99 ± 1,11	0,21 ± 0,15	—
	Σ	23,22 ± 7,29	31,33 ± 3,30**	27,97 ± 3,09	43,54 ± 4,12**	47,59 ± 6,92	23,40 ± 1,73**	48,39 ± 4,68
	18:3n3 АЛК	1,99 ± 0,08	0,18 ± 0,03	2,03 ± 0,20	2,68 ± 0,22**	0,07 ± 0,02	—	1,68 ± 0,39
	20:3n3	0,67 ± 0,13	—	0,32 ± 0,06	—	—	—	1,21 ± 0,16
ПНЖК	20:4n3	—	1,28 ± 0,19	—	0,58 ± 0,09	—	0,52 ± 0,06	—
	20:5n3 ЭЛК	7,56 ± 1,14	3,79 ± 0,80**	4,56 ± 0,72	3,64 ± 0,42	0,18 ± 0,02	3,35 ± 0,39**	0,29 ± 0,03
	22:5n3	2,03 ± 0,24	1,78 ± 0,21	1,50 ± 0,17	0,56 ± 0,07	0,24 ± 0,02	1,63 ± 0,11	0,66 ± 0,07
	22:6n3 ДЛК	11,39 ± 0,61	5,28 ± 0,68**	22,09 ± 1,01	9,86 ± 1,85**	2,95 ± 0,60	21,96 ± 3,08**	1,06 ± 0,22
	18:2n6 ЛК	2,81 ± 0,45	3,40 ± 0,68	6,38 ± 0,72	17,32 ± 1,32**	4,36 ± 0,21	28,69 ± 2,39**	4,90 ± 0,23
	18:3n6	0,37 ± 0,03	0,41 ± 0,03	0,17 ± 0,01	9,77 ± 1,11**	1,90 ± 0,14	1,72 ± 0,12	7,01 ± 0,86
	18:4n6	—	5,45 ± 0,70	—	1,79 ± 0,15	0,11 ± 0,01	0,24 ± 0,02	0,07 ± 0,01
	20:2n6	0,19 ± 0,01	—	0,31 ± 0,03	0,33 ± 0,03	0,09 ± 0,01	0,31 ± 0,04	0,21 ± 0,01
	20:3n6	0,24 ± 0,01	—	0,07 ± 0,01	—	0,06 ± 0,01	0,10 ± 0,02	0,08 ± 0,01
	20:4n6 АРК	8,04 ± 0,56	5,88 ± 1,28**	0,96 ± 0,05	0,71 ± 0,07**	0,25 ± 0,02	7,39 ± 1,42**	0,14 ± 0,01
22:4n6	—	1,65 ± 0,11	0,11 ± 0,01	0,96 ± 0,10**	0,25 ± 0,02	1,29 ± 0,14**	0,36 ± 0,02	
22:5n6	1,72 ± 1,14	0,70 ± 0,24	0,12 ± 0,11	0,17 ± 0,15	1,67 ± 0,11	3,25 ± 1,10**	1,15 ± 0,08	
24:2n6	—	0,81 ± 0,34	0,27 ± 0,12	0,24 ± 0,08	—	1,25 ± 0,89	—	
Σ	13,37 ± 0,89	18,3 ± 1,04**	8,39 ± 0,66	13,97 ± 2,12**	4,02 ± 0,26	—	3,60 ± 0,52	
Неучтенные	11,28	8,87	7,63	3,51	13,71	7,51	13,76	
ω3 / ω6	1,77	0,88	3,64	1,24	0,52	1,81	0,39	

* «<» доля жирной кислоты составляет не более 0,05 %, ** достоверные различия признаков в каждой группе при уровне значимости $p \leq 0,05$.

Содержание наиболее значимых для питания человека ПНЖК в мышцах рыб (в г/100 г) указыва-

ет на снижение питательной ценности мяса судака после зимовки (табл. 4).

Таблица 4

Table 4

Содержание незаменимых в питании человека полиненасыщенных ЖК в мышцах судака, г/100 г
 The content of polyunsaturated fatty acids in human nutrition in pike perch muscles, g/100 g

Жирные кислоты	Дикие особи		Заводские особи	
	Осень	Весна	Осень	Весна
20 : 5n3 ЭПК	0,06 ± 0,01	0,02 ± 0,003*	0,04 ± 0,003	0,03 ± 0,001
22 : 6n3 ДГК	0,10 ± 0,01	0,03 ± 0,003*	0,19 ± 0,02	0,09 ± 0,01*
ЭПК + ДГК	0,16 ± 0,02	0,05 ± 0,004*	0,23 ± 0,02	0,12 ± 0,01*
∑ n3	0,20 ± 0,02	0,10 ± 0,01*	0,26 ± 0,02	0,16 ± 0,02*
20 : 4n6 АРК	0,07 ± 0,01	0,04 ± 0,002	0,01 ± 0,001	0,01 ± 0,001
∑ n6	0,11 ± 0,01	0,11 ± 0,01	0,07 ± 0,01	0,13 ± 0,01*
∑ ПНЖК	0,31 ± 0,02	0,21 ± 0,02*	0,33 ± 0,02	0,28 ± 0,02*
n3 / n6	1,8 ± 0,04	0,9 ± 0,01*	3,7 ± 0,72	1,2 ± 0,08*

* Достоверные различия признаков в каждой группе при уровне значимости $p \leq 0,05$.

Как у диких, так и у заводских рыб наблюдается достоверное снижение ЭПК, ДГК и их сумм, а также АРК и общего содержания кислот ряда n3 и ПНЖК в целом. Стабильным остается содержание в мышцах диких рыб кислот семейства n6, у заводских рыб содержание этих кислот в мышцах за зимовку увеличивается примерно в 2 раза. Также значительно снижается величина отношения n3 / n6 жирных кислот в липидах мышц судака после зимовки – в 2 раза у диких рыб и в 3 раза у заводских (см. табл. 4).

Обсуждение

Снижение коэффициента упитанности рыб разного происхождения в период зимовки связано в первую очередь с расходом полостного жира, а также жира мышц (только у диких судаков) и печени, что подтверждается данными морфофизиологических и химических исследований (см. табл. 1, 2) и согласуется с литературными данными [7, 8]. На фоне снижения липидов в мышцах и печени судаков значительно повышается содержание углеводов (БЭВ), которые активно синтезируются у разных видов рыб с понижением температуры воды и в зимний период депонируются в мышечной ткани и печени в виде гликогена [9]. Напротив, отсутствие возможности у костистых рыб в период голодания обеспечить потребности организма в витамине С за счет собственного синтеза [10] приводит к его достоверному снижению в мышцах диких и заводских рыб. При этом уровень витамина в печени за зимовку не претерпел изменений, чему, вероятно, может способствовать транспорт витамина С из мышц в значительно более жирную печень (см. табл. 2), в том числе с целью предотвращения в ней перекисного окисления липидов. На важную роль витами-

на С в противоокислительных процессах в печени и сохранении длинноцепочечных эссенциальных жирных кислот мы обращали внимание ранее, в исследовании сиговых видов рыб [11].

Уменьшение за зимовку размеров ЖКТ у диких особей связано со значительным снижением активности питания – в период нагула судак способен потреблять рыбу, достигающую в размерах до 50 % от его собственной длины [12], однако при снижении температуры воды до 4,5 °С и ниже судак практически не питается [13]. Для каспийского судака в период нагула установлена возможность сильного растяжения стенок желудка с изменением его морфофизиологических параметров и восстановления органа в зимнее время [14]. У заводских рыб, напротив, пищей служат искусственные корма, гранулы которых, в силу своих сравнительно небольших размеров и удобоваримости, не способствуют развитию массивного ЖКТ [15], и он в период зимовки не претерпевает существенных изменений.

С неодинаковой интенсивностью питания судака в естественных условиях, а также доступностью корма и его питательной ценностью можно связать значительную вариабельность в содержании липидов в теле диких рыб (полостной жир и жирность мышц). Вариабельность ГСИ у судаков из естественных условий и садков для данного вида можно считать нормой – известно, что развитие ооцитов трофоплазматического роста у многих видов рыб в природе синхронизируется к моменту наступления IV стадии зрелости [16, 17]. Исследованные нами особи находились на III стадии развития гонад.

Основные изменения в жирнокислотном статусе судака в процессе зимовки характеризуются расходом в мышцах рыб наиболее функциональных длинноцепочечных ПНЖК – ДГК, ЭПК и АРК, что

может быть связано с адаптацией организма к низкотемпературным условиям. Известно, что одним из основных механизмов биохимической адаптации гидробионтов к низким температурам является увеличение степени ненасыщенности ЖК [18, 19]. Так, во многих исследованиях сообщалось, что у рыб в летние месяцы и у рыб из теплых регионов в липидах, как правило, преобладают НЖК и МНЖК, тогда как присутствие в больших количествах ПНЖК характерно для рыб северных широт и в зимний холодноводный период [20–22].

Другой причиной снижения ПНЖК в мышцах судака с осени по весну может являться созревание рыб [8], в процессе которого происходит метаболизм и депонирование указанных выше жирных кислот в печени с последующей транспортировкой их и других питательных веществ в гонады [23]. В наших исследованиях у диких судаков за зимовку в печени повысились ЭПК в 18,6 раза, ДГК в 7,4 раза, АРК в 30 раз. На снижение доли ПНЖК в мышцах судака и их накопление в печени под влиянием созревания косвенно указывают достоверное повышение ГСИ у рыб из озера (в 2,3 раза) и садков рыбободного хозяйства (в 1,6 раза) и переход гонад в стадию трофоплазматического роста (в большей степени это свойственно заводским рыбам).

Схожая тенденция в метаболизме длинноцепочечных ПНЖК наблюдалась в период созревания у других видов рыб, в том числе морских. Так, у самок японской бородавчатки *Inimicus japonicus* при созревании гонад от III к V стадии содержание ЭПК, ДГК и АРА в мышцах снижалось, тогда как в печени двукратно увеличивалось [24]. При этом в гонадах достоверных изменений в содержании основных ПНЖК во время созревания самок не происходило. Есть сведения о стабильном содержании ЭПК и ДГК в яичниках речного окуня *Perca fluviatilis* на последних стадиях репродуктивного цикла, в процессе которого происходило снижение указанных кислот в мышцах и печени [25].

Примечательно, что существенное расходование ПНЖК в мышцах судака за зимовку наблюдается как в северной части его ареала (настоящие исследования), так и на южной границе – в оз. Эгирдир в Турции [26], где у судака происходит снижение доли ПНЖК в липидах мышц с ноября (среднемесячная температура 9,8 °С) по май (18,1 °С) с 38,5 до 12,1 % от суммы ЖК, при этом доля ДГК снижается с 16,3 до 0,7 % от суммы ЖК.

Известно, что понижение доли ПНЖК в тканях рыб сопровождается адаптивным процессом – увеличением МНЖК, которые рыбы способны синтезировать с использованием НЖК для поддержания текучести жира и проницаемости мембран клеток в условиях низких температур водной среды [11]. Это подтверждается результатами настоящих исследований: у дикого и заводского судака за зимов-

ку произошло повышение МНЖК в липидах мышц на 26–36 %, в печени заводских рыб – снижение на 17 %. У диких особей, напротив, произошло увеличение МНЖК в печени на фоне понижения НЖК на 11–15 % в мышцах и 6–11 % в печени.

Безусловно, подобные сезонные изменения жирнокислотного состава липидов мышц отражаются на питательной ценности судака, индикатором которой принято считать сумму содержания в мышцах рыб ЭПК + ДГК [27, 28]. Исходя из данных табл. 4, для удовлетворения суточной потребности человека в ЭПК и ДГК, равной 0,5–1,0 г (рекомендации Всемирной организации здравоохранения [29]), в сутки необходимо потреблять не менее 300 г филе дикого или чуть более 200 г филе искусственно выращенного судака, пойманного в осенний период, и 1 кг филе дикой или 400 г заводской рыбы, выловленной поздней весной.

На более высокую пищевую ценность филе осенних рыб указывают также соотношения $n3/n6$ ЖК, которые в 2–3 раза выше таковых значений у судаков, отловленных весной, и составляют 1,8 у диких и 3,7 у заводских рыб. Тем временем для питания человека оптимальным является соотношение $n3/n6$ ПНЖК в пропорции 1 : 1 или 1 : 2 [30]. Учитывая сведения того же автора о смещении в пище баланса $n3/n6$ в сторону значительного увеличения $n6$ (до 1 : 20–25), можно предположить, что использование аквакультурной продукции с повышенным содержанием длинноцепочечных $n3$ ПНЖК будет способствовать сбалансированности современного рациона человека по незаменимым жирным кислотам.

Таким образом, можно заключить, что в осенний период филе как дикого, так и выращенного на искусственных кормах судака является более ценным для человека продуктом по содержанию незаменимых жирных кислот, чем филе судака после зимовки, что соответствует литературным данным [8].

Заключение

За период зимовки у судаков, выловленных из естественной среды обитания и выращенных в заводских условиях, происходят изменения в морфофизиологическом и химическом статусе, направленные на расходование энергетических резервов организма и перераспределение питательных веществ в мышцах и печени. Это выражается в значительном снижении содержания полостного жира, жирности мышц и печени, витамина С в мышцах. При этом в мышцах и печени многократно повышается БЭВ. В мышцах судаков в зимний период существенно повышается уровень МНЖК и снижается уровень ПНЖК, особенно ЭПК, ДГК, АРК, на фоне повышения уровня этих кислот в печени. Подобные изменения являются адаптацией рыб к холодным

температурным условиям в период длительной зимовки, а также связаны с развитием гонад.

С точки зрения качества филе, оцененного по содержанию длинноцепочечных ПНЖК, у выловленных и выращенных рыб за зимовку происходит значительное снижение их пищевой ценности, что выражается в 2–3-кратном снижении ЭПК + ДГК. Следовательно, для рациона человека наиболее полезным будет дикий или аквакультурный судак, выловленный осенью.

Результаты настоящей работы определяют необходимость дальнейших физиолого-биохими-

ческих исследований диких и культивируемых рыб с учетом сезонных изменений условий их обитания, определяющих ход адаптивных и физиологических процессов, направленных на нормализацию гомеостаза в условиях экстремально низких температур (до 0,1 °С). Кроме того, исследование питательной ценности рыб в зависимости от сезона выращивания может способствовать рациональному ведению рыбного хозяйства и получать рыбопродукцию с высокой питательной ценностью.

Список источников

1. Grimm O. A. Обзор деятельности Никольского рыбодного завода за 50 лет его существования. СПб.: Департамент земледелия, 1905. 34 с. URL: <https://elibrigo.ru/safe-view/123456789/212360/1/UnVQUkxJQjEyMDg0MzEyLIBERg==#1> (дата обращения: 23.03.2023).
2. Хрусталев Е. И., Дельмухаметов А. Б. Технология формирования маточного стада судака в установках с замкнутым циклом водообеспечения // Рыб. хоз. 2012. № 1. С. 70–72.
3. Лютиков А. А., Королев А. Е., Шумилина А. К., Вылка М. М. Опыт выращивания ремонтно-маточного стада судака *Sander lucioperca* в садках в Ленинградской области // Водные биологические ресурсы России: состояние, мониторинг, управление: II Всерос. науч. конф., посвящен. 90-летию КамчатНИРО (Петропавловск-Камчатский, Россия, 04–05 апреля 2022 г.): сб. материалов конф. Петропавловск-Камчатский: Изд-во КамНИРО, 2022. С. 219–226. DOI: 10.15853/978-5-902210-44-3.
4. Ben Ammar I., Teletchea F., Milla S., Ndiaye W. N., Ledore Y., Missaoui H., Fontaine P. Continuous lighting inhibits the onset of reproductive cycle in pikeperch // Fish Physiol. Biochem. 2015. V. 41. P. 344–356.
5. Khendek A., Chakraborty A., Roche J., Ledore Y., Personne A., Policar T., Žarski D., Mandiki R., Kestemont P., Milla S. Rearing conditions and life history influence the progress of gametogenesis and reproduction performances in pikeperch males and females // Animal. 2018. V. 12. P. 2335–2346.
6. Князева Л. М. Рекомендации по увеличению сроков хранения гранулированного корма для молоди форели путем опрыскивания его водным раствором витамина С. Л.: Изд-во ГосНИОРХ, 1979. 12 с.
7. Kirjasniemi M., Valtonen T. Winter mortality of young of-the-year pikeperch (*Stizostedion lucioperca*) // Ecol. Freshwater Fish. 1997. V. 6. P. 155–160.
8. Uysal K., Aksoylar M. Y. Seasonal variations in fatty acid composition and the n-6/n-3 fatty acid ratio of pikeperch (*Sander lucioperca*) muscle lipids // Ecology of Food and Nutrition. 2005. V. 44. P. 23–35.
9. Love R. M. The chemical biology of fishes. London: Academic Press, 1980. V. 2. 943 p.
10. Ching B., Chew S. F., Ip Y. K. Ascorbate synthesis in fishes: a review // IUBMB Life. 2015. V. 67. P. 69–76.
11. Остроумова И. Н., Костюничев В. В., Лютиков А. А., Шумилина А. К., Филагова Т. А. Влияние витамина С на жирнокислотный состав печени и мышц двухлеток сиговых рыб (Coregonidae), выращиваемых в условиях аквакультуры // Вопр. рыболовства. 2020. Т. 21. № 3. С. 343–352.
12. Keskinen T. Feeding ecology and behaviour of pikeperch, *Sander lucioperca* (L.), in boreal lakes // Jyväskylä Studies in Biological and Environmental Studies. Jyväskylä: Jyväskylä University Printing House, 2008. 54 p.
13. Malinovskyi O., Blecha M., Křišťan J., Policar T. Feeding activity of pikeperch (*Sander lucioperca*) under winter and spring photothermal conditions of pre-spawning period // Aquac. Res. 2019. P. 1–6. <https://doi.org/10.1111/are.14401>.
14. Устарбеков А. К., Курбанов З. М., Магомедов Т. А. Строение и сезонные изменения микроstructures пищеварительного тракта обыкновенного судака *Stizostedion lucioperca* (Linnaeus, 1758) в связи с характером питания в условиях дагестанского побережья Каспия // Изв. ДГПУ. 2010. № 1. С. 58–65.
15. Лютиков А. А., Королев А. Е. Сравнительный морфометрический и морфологический анализ судаков *Sander lucioperca* из прудов, озера и выращенных в промышленных условиях // Актуальные вопросы пресноводной аквакультуры. М.: Изд-во «ИП Сорокин», 2022. Вып. 93. С. 89–95.
16. Дрягин П. А. Половые циклы и нерест рыбы // Изв. ВНИОРХ. 1949. Т. 28. С. 3–113.
17. Кошелев Б. В. Экология размножения рыб. М.: Наука, 1984. 309 с.
18. Cossins A. R., Prosser C. L. Evolutionary adaptation of membranes to temperature // Proceedings of National Academy of Sciences of USA. 1978. V. 75. P. 2040–2043.
19. Falk-Petersen S., Hopkins C. E., Sargent J. R. Trophic relationships in the pelagic, arctic food web // Trophic relationships in the Marine Environment. Proceedings of the 24-th European Marine Biology Symposium. Aberdeen: Aberdeen University Press, 1990. P. 315–333.
20. Dutta H., Das A., Farkas T. The role of environmental temperature in seasonal changes of fatty acid composition of hepatic lipid in an air-breathing Indian Teleost (*Channa punctatus*) // Comparative Biochemistry and Physiology. 1985. V. 81. P. 341–347.
21. Skuladottir G. V., Schiøth H. B., Gudmundsdottir B., Richards B., Jonsson L. Fatty acid composition of muscle heart and liver lipids in Atlantic Salmon, *Salmo Salar*, at extremely low environmental temperature // Aquaculture. 1990. V. 84. P. 71–80.
22. Dey I., Buda C., Wiik H., Halver J. E., Farkas T. Molecular and structural composition of phospholipid membranes in livers of marine and freshwater fish in relation to

temperate // Proceeding of National Academy of Sciences of USA. 1993. V. 90. P. 7498–7502.

23. Шумилина А. К. Физиологическая характеристика производителей пеляди, выращиваемых в промышленных условиях, и их пищевые потребности // Сб. науч. тр. ГосНИОРХ. 2005. Вып. 333. С. 60–114.

24. Songlin L., Wen W., Xu G., Xuxiong H., Naisong C. Variation of lipids and fatty acids composition in the tissues of wild devil stinger (*Inimicus japonicus*) during sexual maturation // Aquaculture and Fisheries. 2018. V. 3. P. 115–121.

25. Рудченко А. Е. Роль трофических факторов в формировании жирнокислотного состава рыб, обитающих в водоемах Красноярского края: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Красноярск: Изд-во СФУ, 2018. 24 с.

26. Çağlak E., Karsli B. Seasonal variation of fatty acid and amino acid compositions in the muscle tissue of zander

(*Sander lucioperca* Linnaeus, 1758) and the evaluation of important indexes related to human health // Ital. J. Food Sci. 2017. V. 29. P. 266–275.

27. Kris-Etherton P. M., Harris W. S., Appel L. J. Fish consumption, fish oil, omega-3 fatty acids, and cardiovascular disease // Circulation. 2002. V. 106. P. 2747–2757.

28. Adkins Y., Kelley D. S. Mechanisms underlying the cardioprotective effects of omega-3 polyunsaturated fatty acids // J. Nutr. Biochem. 2010. V. 21. P. 781–792.

29. Гладышев М. И. Наземные источники полиненасыщенных жирных кислот для аквакультуры // Вопр. ихтиологии. 2021. Т. 61, № 4. С. 471–485.

30. Simopoulos A. P. Human requirement for n-3 polyunsaturated fatty acids // Poultry Sci. 2000. V. 79. P. 961–970.

References

1. Grimm O. A. *Obzor deiatel'nosti Nikol'skogo rybovodnogo zavoda za 50 let ego sushchestvovaniia* [Over-view of the activities of the Nikolsky Fish Hatchery for 50 years of its existence]. Saint-Petersburg, Departament zem-ledeliia Publ., 1905. 34 p. Available at: <https://elibr.rgo.ru/safe-view/123456789/212360/1/UnVQUkxJQjEyMDg0MzEyLIBERg=#1> (accessed: 23.03.2023).

2. Khrustalev E. I., Del'mukhametov A. B. Tekhnologiiia formirovaniia matochnogo stada sudaka v ustanovkakh s zamknutym tsiklom vodoobespecheniia [Technology of formation of the brood stock of walleye in installations with a closed water supply cycle]. *Rybnoe khoziaistvo*, 2012, no. 1, pp. 70–72.

3. Liutikov A. A., Korolev A. E., Shumilina A. K., Vyl'ka M. M. Opyt vyrashchivaniia remontno-matochnogo stada sudaka *Sander lucioperca* v sadkakh v Leningradskoi oblasti [Experience in growing a repair and brood stock of *Sander lucioperca* walleye in cages in the Leningrad region]. *Vodnye biologicheskie resursy Rossii: sostoianie, monitoring, upravlenie: II Vserossiiskaia nauchnaia konferentsiia, posviashchennaia 90-letiiu KamchatNIRO (Petropavlovsk-Kamchatskii, Rossiia, 04–05 aprelia 2022 g.): sbornik materialov konferentsii*. Petropavlovsk-Kamchatskii, Izd-vo KamNIRO, 2022. Pp. 219–226. DOI: 10.15853/978-5-902210-44-3.

4. Ben Ammar I., Teletchea F., Milla S., Ndiaye W. N., Ledore Y., Missaoui H., Fontaine P. Continuous lighting inhibits the onset of reproductive cycle in pikeperch. *Fish Physiol. Biochem.*, 2015, vol. 41, pp. 344–356.

5. Khendek A., Chakraborty A., Roche J., Ledoré Y., Personne A., Policar T., Żarski D., Mandiki R., Kestemont P., Milla S. Rearing conditions and life history influence the progress of gametogenesis and reproduction performances in pikeperch males and females. *Animal*, 2018, vol. 12, pp. 2335–2346.

6. Kniazeva L. M. *Rekomendatsii po uvelicheniiu srokov khraneniia granulirovannogo korma dlia molodi foreli putem opryskivaniia ego vodnym rastvorom vitamina S* [Recommendations for increasing the shelf life of granular feed for juvenile trout by spraying it with an aqueous solution of vitamin C]. Leningrad, Izd-vo GosNIORKh, 1979. 12 p.

7. Kirjasniemi M., Valtonen T. Winter mortality of young of-the-year pikeperch (*Stizostedion lucioperca*). *Ecol. Freshwater Fish.*, 1997, vol. 6, pp. 155–160.

8. Uysal K., Aksoylar M. Y. Seasonal variations in fatty

acid composition and the n-6/n-3 fatty acid ratio of pikeperch (*Sander lucioperca*) muscle lipids. *Ecology of Food and Nutrition*, 2005, vol. 44, pp. 23–35.

9. Love R. M. *The chemical biology of fishes*. London, Academic Press, 1980. Vol. 2. 943 p.

10. Ching B., Chew S. F., Ip Y. K. Ascorbate synthesis in fishes: a review. *IUBMB Life*, 2015, vol. 67, pp. 69–76.

11. Ostroumova I. N., Kostunichiev V. V., Liutikov A. A., Shumilina A. K., Filatova T. A. Vliianie vitamina C na zhirnokislотноi sostav pecheni i myshts dvukhletok sigovykh ryb (Coregonidae), vyrashchivaemykh v usloviakh akvakul'tury [The effect of vitamin C on the fatty acid composition of the liver and muscles of two-year-old whitefish (Coregonidae) grown in aquaculture]. *Voprosy rybolovstva*, 2020, vol. 21, no. 3, pp. 343–352.

12. Keskinen T. Feeding ecology and behaviour of pikeperch, *Sander lucioperca* (L.), in boreal lakes. *Jyväskylä Studies in Biological and Environmental Studies*. Jyväskylä, Jyväskylä University Printing House, 2008. 54 p.

13. Malinovskyi O., Blecha M., Křišťan J., Policar T. Feeding activity of pikeperch (*Sander lucioperca*) under winter and spring photothermal conditions of pre-spawning period. *Aquac. Res.*, 2019, pp. 1–6. <https://doi.org/10.1111/are.14401>.

14. Ustarbekov A. K., Kurbanov Z. M., Magomedov T. A. Stroenie i sezonnye izmeneniia mikrostruktury pishchevaritel'nogo trakta obyknovennogo sudaka *Stizostedion lucioperca* (Linnaeus, 1758) v sviazi s kharakterom pitaniia v usloviakh dagestanskogo poberezh'ia Kaspiia [Structure and seasonal changes in the microstructure of the digestive tract of the common walleye *Stizostedion lucioperca* (Linnaeus, 1758) in connection with the nature of nutrition in the conditions of the Dagestan coast of the Caspian Sea]. *Izvestiia DGPU*, 2010, no. 1, pp. 58–65.

15. Liutikov A. A., Korolev A. E. Sravnitel'nyi morfometricheskii i morfologicheskii analiz sudakov *Sander lucioperca* iz prudov, ozera i vyrashchennykh v industrial'nykh usloviakh [Comparative morphometric and morphological analysis of *Sander lucioperca* walleye from ponds, lakes and grown in industrial conditions]. *Aktual'nye voprosy presnovodnoi akvakul'tury*. Moscow, Izd-vo «IP Sorokin», 2022. Iss. 93. Pp. 89–95.

16. Driagin P. A. Polovye tsikly i nerest ryby [Sexual cycles and fish spawning]. *Izvestiia VNIORKh*, 1949, vol. 28, pp. 3–113.

17. Koshelev B. V. *Ekologiya razmnozheniya ryb* [Ecology of fish reproduction]. Moscow, Nauka Publ., 1984. 309 p.
18. Cossins A. R., Prosser C. L. Evolutionary adaptation of membranes to temperature. *Proceedings of National Academy of Sciences of USA*, 1978, vol. 75, pp. 2040-2043.
19. Falk-Petersen S., Hopkins C. E., Sargent J. R. Trophic relationships in the pelagic, arctic food web. Trophic relationships in the Marine Environment. *Proceedings of the 24-th European Marine Biology Symposium*. Aberdeen, Aberdeen University Press, 1990. Pp. 315-333.
20. Dutta H., Das A., Farkas T. The role of environmental temperature in seasonal changes of fatty acid composition of hepatic lipid in an air-breathing Indian Teleost (*Channa punctatus*). *Comparative Biochemistry and Physiology*, 1985, vol. 81, pp. 341-347.
21. Skuladottir G. V., Schioth H. B., Gudmundsdottir B., Richards B., Jonsson L. Fatty acid composition of muscle head and liver lipids in Atlantic Salmon, *Salmo Salar*, at extremely low environmental temperature. *Aquaculture*, 1990, vol. 84, pp. 71-80.
22. Dey I., Buda C., Wiik H., Halver J. E., Farkas T. Molecular and structural composition of phospholipid membranes in livers of marine and freshwater fish in relation to temperature. *Proceeding of National Academy of Sciences of USA*, 1993, vol. 90, pp. 7498-7502.
23. Shumilina A. K. Fiziologicheskaya kharakteristika proizvoditelei peliadi, vyrashchivaemykh v industrial'nykh usloviyakh, i ikh pishchevye potrebnosti [Physiological characteristics of pelage producers grown in industrial conditions and their nutritional needs]. *Sbornik nauchnykh trudov GosNIORKh*, 2005, iss. 333, pp. 60-114.
24. Songlin L., Wen W., Xu G., Xuxiong H., Naisong C. Variation of lipids and fatty acids composition in the tissues of wild devil stinger (*Inimicus japonicas*) during sexual maturation. *Aquaculture and Fisheries*, 2018, vol. 3, pp. 115-121.
25. Rudchenko A. E. *Rol' troficheskikh faktorov v formirovaniy zhirnokislotoy sostava ryb, obitaiushchikh v vodnoy sredy krasnoiarskogo kraia. Avtoreferat dissertatsii ... kand. biol. nauk* [The role of trophic factors in the formation of fatty acid composition of fish living in the reservoirs of the Krasnoyarsk territory. Abstract of the dissertation ... cand. biol. sciences]. Krasnoyarsk, Izd-vo SFU, 2018. 24 p.
26. Çağlak E., Karsli B. Seasonal variation of fatty acid and amino acid compositions in the muscle tissue of zander (*Sander lucioperca* Linnaeus, 1758) and the evaluation of important indexes related to human health. *Ital. J. Food Sci.*, 2017, vol. 29, pp. 266-275.
27. Kris-Etherton P. M., Harris W. S., Appel L. J. Fish consumption, fish oil, omega-3 fatty acids, and cardiovascular disease. *Circulation*, 2002, vol. 106, pp. 2747-2757.
28. Adkins Y., Kelley D. S. Mechanisms underlying the cardioprotective effects of omega-3 polyunsaturated fatty acids. *J. Nutr. Biochem.*, 2010, vol. 21, pp. 781-792.
29. Gladyshev M. I. Nazemnye istochniki polinenasyschennykh zhirnykh kislot dlia akvakul'tury [Terrestrial sources of polyunsaturated fatty acids for aquaculture]. *Voprosy ikhtiologii*, 2021, vol. 61, no. 4, pp. 471-485.
30. Simopoulos A. P. Human requirement for n-3 polyunsaturated fatty acids. *Poultry Sci.*, 2000, vol. 79, pp. 961-970.

Статья поступила в редакцию 27.03.2023; одобрена после рецензирования 12.07.2023; принята к публикации 07.12.2023
The article was submitted 27.03.2023; approved after reviewing 12.07.2023; accepted for publication 07.12.2023

Информация об авторах / Information about the authors

Анатолий Анатольевич Лютиков – кандидат биологических наук; старший научный сотрудник лаборатории аквакультуры; Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии»; tokmo@mail.ru

Anatoliy A. Lyutikov – Candidate of Biological Sciences; Senior Researcher of the Laboratory of Aquaculture; Saint-Petersburg Branch Russian Federal “Research Institute of Fisheries and Oceanography”; tokmo@mail.ru

Алла Константиновна Шумилина – кандидат биологических наук; ведущий научный сотрудник лаборатории аквакультуры; Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии»; aqualab2007@yandex.ru

Alla K. Shumilina – Candidate of Biological Sciences; Leading Researcher of the Laboratory of Aquaculture; Saint-Petersburg Branch Russian Federal “Research Institute of Fisheries and Oceanography”; aqualab2007@yandex.ru

Александр Евгеньевич Королев – кандидат биологических наук; ведущий научный сотрудник лаборатории аквакультуры; Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии»; aqualab2007@yandex.ru

Alexander E. Korolev – Candidate of Biological Sciences; Leading Researcher of the Laboratory of Aquaculture; Saint-Petersburg Branch Russian Federal “Research Institute of Fisheries and Oceanography”; aqualab2007@yandex.ru

