

## РАЗРАБОТКА ФИЗИОЛОГИЧЕСКИ ПОЛНОЦЕННЫХ КОРМОВ ДЛЯ МОЛОДИ СИГОВЫХ РЫБ (COREGONIDAE) И СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ИХ С ИМПОРТНЫМИ КОРМАМИ

© 2016 г. И.Н. Остроумова, В.В. Костюничев, А.А. Лютиков, В.А. Богданова,  
А.К. Шумилина, Т.П. Данилова, А.В. Козьмина, Т.А. Филатова, М. С. Мельникова

*Государственный научно-исследовательский институт озерного и речного  
рыбного хозяйства им. Л.С. Берга, Санкт-Петербург, 199053  
E-mail: irinaostroum@yandex.ru*

Поступила в редакцию 10.03.2016 г.

В соответствии с пищевыми потребностями молоди сиговых рыб разработаны варианты опытных кормов. Дается характеристика их питательной ценности, исследуется качество липидов по перекисным и кислотным числам в процессе хранения кормов. Приводятся результаты выращивания на них ранней молоди сиговых рыб в бассейнах. При сравнительных испытаниях новых кормов с импортными получены сопоставимые результаты по темпу роста рыб, выживаемости, вариабельности размеров, кормовым коэффициентам при нормальном состоянии показателей крови и печени. На основании проведенных исследований выбран корм для проведения производственной проверки с молодью сиговых рыб

*Ключевые слова:* молодь сиговых рыб, Coregonidae, Ленинградская область, бассейны, экспериментальные корма, степень окисления липидов, импортные корма, рост молоди, выживаемость, морфология крови, гистофизиология печени.

### ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия численность многих естественных популяций сиговых рыб резко сократилась под влиянием антропогенного воздействия и техногенной нагрузки на водоемы, а также из-за крупномасштабного несанкционированного отлова производителей при их подходе к нерестилищам. В сложившихся условиях одной из наиболее актуальных проблем рыбохозяйственной отрасли становится повышение эффективности искусственного воспроизводства сиговых рыб и развитие товарного сиговодства. Наиболее рациональным решением этих задач является переход к индустриальным методам разведения, эффективность которых зависит от полноценности кормов, применяемых на разных этапах жизненного цикла рыб. Наибольшую сложность вызывает кормление ранней молоди. Личинки сиговых переходят к внеш-

нему питанию в первые дни после вылупления, когда их пищеварительная система еще не полностью сформирована, поэтому ранняя молодь предъявляет особые требования к составу и качеству корма.

В 1980-е г. в ГосНИОРХе были разработаны корма для личинок и молоди сиговых рыб, на которых они с первых дней питания без добавления живых кормов хорошо росли при высокой выживаемости — 80–90% (Князева, 1986, 1988). В состав кормов входили в качестве ключевых компонентов белковые продукты микробиосинтеза — паприн и его ферментолитат, которые содержали легко усвояемые низкомолекулярные пептиды. Эти корма для личинок и молоди сиговых рыб (рецепты ЛС-81 и МС-84) выпускались заводами гранкормов и хорошо зарекомендовали себя в рыбоводных хозяйствах северо-запада России, Урала, Сибири (Кудерский, Князева, 1985). Производство

этих кормов прекратилось после того, как перестали выпускать их ключевые компоненты. По той же причине не производят и корма для молоди сиговых рыб, разработанные во ВНИИПРХе (Пономарев, Пономарева, 2003; Пономарев и др., 2015), в состав которого входил другой продукт микробиосинтеза — эприн.

В настоящее время индустриальные методы разведения сиговых рыб базируются на импортных форелевых кормах или кормах, называемых сиговыми, но составленных на основе рационов для форели и лосося. При этом отмечается высокая смертность ранней молоди, достигающая 50% и выше. По этой причине, а также для решения проблемы импортзамещения ГосНИОРХ приступил к исследованиям по разработке новых кормов для молоди сиговых рыб разных видов, чтобы обеспечить качественным посадочным материалом предприятия по искусственному воспроизводству и товарному выращиванию сиговых рыб.

Работа проводится на базе рыбоводного садкового хозяйства ООО «Форват» (Ленинградская обл.), где в индустриальных условиях содержатся производственные стада семи видов сиговых рыб, сформированные по технологии ГосНИОРХ (Костюничев, 2005) и внесенные в Государственный реестр ремонтно-маточных стад в целях сохранения водных биологических ресурсов. От этих стад ежегодно собирают до 300 млн шт. икры и реализуют ее в разные регионы России и страны ближнего зарубежья.

В статье излагаются результаты исследований 2015 г. по разработке экспериментальных кормов с учетом пищевых потребностей ранней молоди и опытному выращиванию на них сиговых рыб. В том числе приводятся результаты сравнительных испытаний их с импортными кормами широко известной датской фирмы «Биомаг».

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Молодь рыб получали из икры от производителей пеляди *Coregonus peled* и

муксуна *C. tuxus*, содержащихся в садках рыбхоза «Форват» и выращенных по методам ГосНИОРХ от личинок до производителей на искусственных кормах (Костюничев и др., 2001).

В ходе разработки и расчета рецептов экспериментальных кормов проводили поиск и сбор необходимых компонентов, а также определение их качества. Степень окисления и гидролиза липидов белковых и жировых ингредиентов и соответствие их установленным нормативам определяли по уровню перекисных и кислотных чисел (Картавцева и др., 1987). Опытные партии кормов готовили на двухшнековом экструдере.

Экспериментальное выращивание проводили в пластиковых бассейнах размером 1,0×1,0 м с уровнем воды в 0,35 м. Прочность воды в бассейнах была отрегулирована таким образом, чтобы полная ее смена происходила за 15–20 мин.

Опыт с пелядью состоял из двух этапов. На этапе 1 (22 мая–20 июня) средняя температура воды равнялась 12,6°C (10,4–14,6°C). На момент вылупления масса личинок пеляди составляла 4,04 мг (10 мая). До эксперимента они с первых дней жизни получали искусственный корм *Biomar larviva wean-ex* (Дания) и живой корм — науплии артемии. В возрасте 12 сут. личинок средней массой 7,9±0,27 мг (желточный мешок еще не полностью израсходован) рассадили в четыре бассейна по 20000 экз. и кормили экспериментальными кормами КСМ-1, КСМ-2, КСМ-3 и КСМ-4.

На этапе 2 (21 июня–16 июля) температура воды составляла в среднем 17,5°C (15,5–19,3°C), плотность посадки пеляди уменьшили, оставив в каждом бассейне по 2000 экз. Молодь продолжали кормить теми же кормами, меняя по мере увеличения массы рыбы размер крупки и суточные нормы кормления.

Сравнение экспериментальных кормов с кормами *Biomar* при выращивании муксуна проводили с 26 июня по 14 июля при температуре 17,9°C (16,2–19,3°C). До начала опыта личинки муксуна (в произ-

водственных условиях) с первых дней в течение месяца получали корм фирмы Biomar вместе с науплиями артемии, а в дальнейшем — только Biomar. Молодь муксуна в период перехода личинок на мальковую стадию (средняя масса 406 мг) рассадили в четыре бассейна по 1000 экз. и кормили кормами КСМ-1, Biomar Inicio plus 04, КСМ-3 и КСМ-4.

Уход за рыбой и кормление во всех опытах осуществляли в соответствии с рекомендациями ГосНИОРХ для молоди сиговых рыб (Сборник методических рекомендаций ..., 2012). Корма выдавали с 7 до 23 ч с интервалом в 1 ч.

Для характеристики интенсивности роста рыб и назначения суточных норм кормления еженедельно проводили контрольные обловы и взвешивание молоди, после чего рыбу фиксировали в 2%-м растворе формалина для дальнейшего морфометрического анализа. Среднесуточную скорость роста определяли по уравнению Винберга (1956). Число исследованных рыб в каждой пробе было не менее 25 экз.

Обработку физиологического материала осуществляли в лаборатории аквакультуры и воспроизводства ценных видов рыб ФГБНУ «ГосНИОРХ». Анализ жирно-кислотного состава корма и растворимого белка в компонентах выполнен в ООО «АМТ» (Аналитика, материалы, технология). Общий жир у молоди определяли методом Фольча, содержание витамина С в теле рыб — методом титрования экстракта витамина в соляной кислоте при помощи реактива Тильманса (Князева, 1979).

О состоянии крови экспериментальных рыб из-за малых размеров молоди судили по количественному анализу клеток красной и белой крови на мазках. Мазки крови окрашивали по методу Паппенгейма красителем-фиксатором Май-Грюнвальда с последующим докрасиванием азур-эозином по Романовскому. Окраску мазков проводили не позднее 1–2 сут. после их приготовления. Число незрелых эритроцитов, отражающих

интенсивность кроветворения, определяли под микроскопом при подсчете 200 клеток красной крови с вычислением процента встретившихся незрелых форм. Лейкоцитарную формулу определяли обычным способом 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 (Житенева и др., 2012).

Для изучения гистофизиологического состояния печени личинок фиксировали целиком в смеси Буэна. Резку препаратов проводили на санном микротоме, толщина среза в тангенциальной проекции составляла 5–7 мкм. Окрашивали готовые срезы железным гематоксилином по Гейденгайну и эозином. Дифференцировку проводили в 2,5–3,0%-ном растворе железоаммонийных квасцов до желаемого тона.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

### Разработка состава экспериментальных кормов и характеристика их питательной ценности

Ранняя молодь рыб обладает потенциальной способностью к интенсивному росту. Для его реализации необходим высокий уровень белка в рационе (50–60% и выше), часть которого должна быть представлена в легко усвояемой форме. Естественная пища личинок (мелкий зоопланктон) богата растворимым белковым материалом, в том числе низкомолекулярными пептидами. Белок необходим ранней молоди не только для активных синтетических процессов, но и для энергетических целей. Более половины всей энергии личинки рыб получают за счет катаболизма аминокислот (Rønnestad et al., 1999; Larval fish ..., 2011).

В качестве основного источника белка в экспериментальных кормах использова-

ли рыбную муку, мясокостную муку и сухой белок куриного яйца. Ранее мы выяснили (Остроумова и др., 2005), что частичная замена рыбной муки на сухой белок куриного яйца в стартовых кормах для личинок пеляди и муксуна благоприятно отражалась на их рыбободно-биологических показателях, повышая скорость роста молоди.

Согласно проведенным анализам, используемый в опытных кормах сухой белок яйца содержит высокий уровень растворимых белковых соединений – около 71%, что связано с присутствием большого количества (62%) хорошо растворимого в воде овальбумина с молекулярной массой (М. м.) 40000 Да. Более 23% представлено пептидами с М. м. ниже 6000 Да, т.е. уже не относящимися к собственно белкам, но являющимися источником аминокислот. Это повышает возможность усвоения материала для синтеза белка личинками, которые нуждаются в легко усвояемых низкомолекулярных структурах, так как их пищеварительная система находится еще в стадии становления.

При выборе рыбной муки пришлось столкнуться с проблемой ее качества (Остроумова и др., 2015). Из трех образцов рыбной муки действующих комбикормовых предприятий по уровню перекисного числа только один оказался пригодным для включения в состав рыбных кормов. По свидетельству специалистов (Донник и др., 2012; Головня, 2014) в настоящее время почти половина рыбной муки, поступающей потребителям, является фальсифицированной. Для повышения уровня белка, от которого зависит цена рыбной муки, в нее вводят трудноусвояемый несбалансированный по аминокислотам белок из различного дешевого сырья либо неорганический азот. При микроскопировании в рыбной муке обнаруживают остатки перьев, шротов, кусочки тканей с/х животных и многое другое. Очевидно, что следует ужесточить контроль за качеством рыбной муки, которая обычно в большом количестве вводится в рыбные корма, особенно предназначенные для молоди.

В качестве основных источников липидов в экспериментальных кормах использовали рыбий жир и фосфатиды (фосфолипиды) разного происхождения. Природная пища ранней молоди рыб богата фосфолипидами. Липиды мелкого зоопланктона на 50% и более состоят из фосфолипидов. Последние содержат большое количество высоконенасыщенных жирных кислот и наряду с белками выполняют не только структурную и функциональную роль, но и являются донаторами энергии (Шатуновский, 1980; Olsen et al., 1991; Larval fish ..., 2011). По свидетельству Олсена с соавторами (Olsen et al., 1991), личинки трески, перешедшие к питанию, нуждаются в фосфолипидах как в поставщике ненасыщенных жирных кислот и источнике энергии, так как переваримость нейтральных липидов (триацилглицеринов) у них ограничена.

Согласно результатам исследований многих авторов, включение фосфатидов в состав рационов ранней молоди разных видов рыб оказывает положительное влияние на рост, развитие, выживаемость рыб, в том числе личинок сиговых (Князева, 1988). Недавно это подтверждено для ранней молоди судака (Hamza et al., 2008). Приводятся сведения о положительной роли фосфатидов не только в стартовых кормах, но и в составе рационов для особей ювенильных стадий развития (Larval fish ..., 2011). В исследованиях указанных выше авторов использовались фосфатиды разного происхождения без сравнения особенностей их влияния на рыб.

В нашей работе в состав кормов были введены наряду с рыбьим жиром различные фосфатиды – жидкие, подсолнечные и соевые, и сухие соевые. Предварительно проведенные нами исследования показали, что все вводимые липиды (рыбий жир, фосфатиды) характеризовались хорошим качеством.

Для проведения опытов были разработаны четыре варианта экспериментальных кормов – КСМ-1, КСМ-2, КСМ-3 и КСМ-4. В состав КСМ-1 входили рыбная мука, сухой белок куриного яйца, мясокост-

ная мука, пшеничная мука, витаминно-минеральный премикс, физиологически активные добавки, рыбий жир. Остальные рецепты кормов отличались от него тем, что часть рыбьего жира в них заменили на различные фосфатиды (табл. 1).

В табл. 2 представлен расчет питательных веществ в кормах, которые отличались содержанием фосфора из-за различных фосфатидов, включенных в их состав.

Изменение жирнокислотного состава представлено в табл. 3. Замена части рыбьего

жира на подсолнечные и соевые фосфатиды в составе кормов повысила примерно в два раза содержание линолевой кислоты (18:2n6), которой богаты растительные жиры, но практически не снизила в кормах КСМ-3 и КСМ-4 содержания высоконасыщенных жирных кислот — линоленовой (18:3n3) и ее длинноцепочных производных — эйкозапентаеновой (20:5n3) и докозагексаеновой (22:6n3), играющих важную роль в метаболизме рыб, особенно холодолюбивых. Это свидетельствует о том, что в добавлен-

**Таблица 1.** Содержание липидов, введенных в состав экспериментальных кормов КСМ-1 – КСМ-4, %

Липиды	КСМ-1 (контроль без фосфатидов)	КСМ-2	КСМ-3	КСМ-4
Рыбий жир	4	1	1	1
Фосфатиды:				
подсолнечные жидкие	—	3	—	—
соевые жидкие	—	—	3	—
соевые сухие	—	—	—	3

**Таблица 2.** Содержание питательных веществ в экспериментальных кормах, %

Питательные вещества	КСМ-1 (контроль без фосфатидов)	КСМ-2	КСМ-3	КСМ-4
Белок	54,30	54,30	54,30	54,30
Жир	10,00	10,00	10,00	10,00
Безазотистые экстрактивные	13,30	13,30	13,30	13,30
Клетчатка	0,60	0,60	0,60	0,60
Зола	8,80	8,80	8,80	8,80
Лизин	3,80	3,80	3,80	3,80
Метионин	1,49	1,49	1,49	1,49
Метионин+цистин	2,48	2,48	2,48	2,48
Аргинин	3,00	3,00	3,00	3,00
Кальций	3,63	3,63	3,63	3,63
Фосфор общий,	2,27	2,36	2,37	2,37
в том числе доступный	1,26	1,34	1,35	1,35
Калорийность/обменная энергия, ккал/МДж	3250/13,6	3250/13,6	3250/13,6	3250/13,6

**Таблица 3.** Содержание основных жирных кислот в кормах, % к липидам

Жирная кислота	КСМ-1	КСМ-2	КСМ-3	КСМ-4
14:0	3,04	2,61	2,60	2,69
16:0	14,72	15,60	16,75	17,35
18:0	3,31	3,74	3,73	3,82
18:1n9	30,07	23,17	22,19	20,79
18:2n6	10,87	20,55	19,46	18,24
18:3n3	2,74	1,48	2,39	2,63
20:4n6	0,71	0,69	0,70	0,74
20:5n3	6,64	6,44	6,46	6,82
22:6n3	11,93	11,43	11,49	12,14
Сумма n3	21,31	19,35	20,34	21,59
Сумма n6	11,58	21,24	20,16	18,98
n3/ n6	1,84	0,91	1,01	1,14

**Таблица 4.** Степень окисления и гидролиза липидов в кормах после изготовления и в ходе хранения

Корм	Дата				Предельно допустимое содержание в кормах*
	01.06.	30.06.	30.07.	30.08.	
Перекисное число, % J <sub>2</sub> (гидроперекиси)					
КСМ-1	0,27	0,29	0,30	0,32	0,2
КСМ-2	0,12	0,13	0,38	0,42	
КСМ-3	0,05	0,11	0,34	0,40	
КСМ-4	0,07	0,08	0,15	0,18	
Пероксиды, % J <sub>2</sub>					
КСМ-1	0,36	0,44	0,48	0,52	0,6
КСМ-2	0,23	0,24	0,61	0,66	
КСМ-3	0,14	0,18	0,63	0,70	
КСМ-4	0,13	0,14	0,57	0,68	
Кислотное число, мг КОН/г					
КСМ-1	16,4	20,7	25,5	28,7	50,0
КСМ-2	18,0	28,5	37,3	41,0	
КСМ-3	24,2	30,3	36,1	45,8	
КСМ-4	25,0	27,8	33,6	40,5	

**Примечание.** \*По данным: Картавецова и др., 1987.

ных соевых фосфатидах (корма КСМ-3 и КСМ-4) содержание жирных кислот типа  $n3$  ( $\omega3$ ) было не меньше, чем в рыбьем жире, который они заменили. Уменьшение олеиновой кислоты (18:1n9) во всех трех экспериментальных кормах, где снижено количество рыбьего жира, является показателем высокого содержания в нем триацилглицеринов, так как олеиновая кислота обычно превалирует в нейтральных жирах (Ржавская, 1976). Из данных табл. 3 следует, что корм КСМ-4 по сравнению с другими опытными кормами содержал больше основных насыщенных кислот – пальмитиновой (16:0) и стеариновой (18:0), а также длинноцепочных высоко-непредельных кислот семейства  $n3$ .

В экспериментальных кормах содержание жирных кислот семейства  $n3$  в пересчете к уровню общего белка составляет более 2%, что соответствует нормативу, установленному Головачевым (1983). Это обеспечивает эффективность белкового обмена и нарастание клеточной массы у ранней молоди, поскольку кислоты  $n3$  входят в состав фосфолипидов клеточных мембран.

Методом экструзии были изготовлены корма и проанализированы их перекисные и кислотные числа. В основном качество липидов кормов было хорошим (табл. 4). Анализы проводили и в дальнейшем при хранении кормов на складе в условиях естественной смены суточных температур, а после завершения опытов (в середине июля) – в лаборатории при комнатной температуре. Отметим, что в процессе хранения произошло заметное ухудшение качества кормов – в конце июля и особенно в августе. Лишь в липидах корма КСМ-4 уровень перекисных и кислотных чисел не превышал допустимых пределов не только во время опыта (до 14–16 июля), но и в течение 45 сут. после его завершения.

#### **Выращивание молоди пеляди на экспериментальных кормах**

*Этап 1.* В ходе опыта личинки пеляди активно поедали корма и в основном хорошо росли, несмотря на довольно низкую температуру воды, особенно в начале перво-

го этапа – 10,4–11,0°C. Пониженный темп роста отмечался только у личинок пеляди, получавших корм КСМ-2 с жидкими подсолнечными фосфатидами (табл. 5). Конечная масса этих рыб была на 35% ниже массы особей, питавшихся контрольным кормом КСМ-1 без фосфатидов.

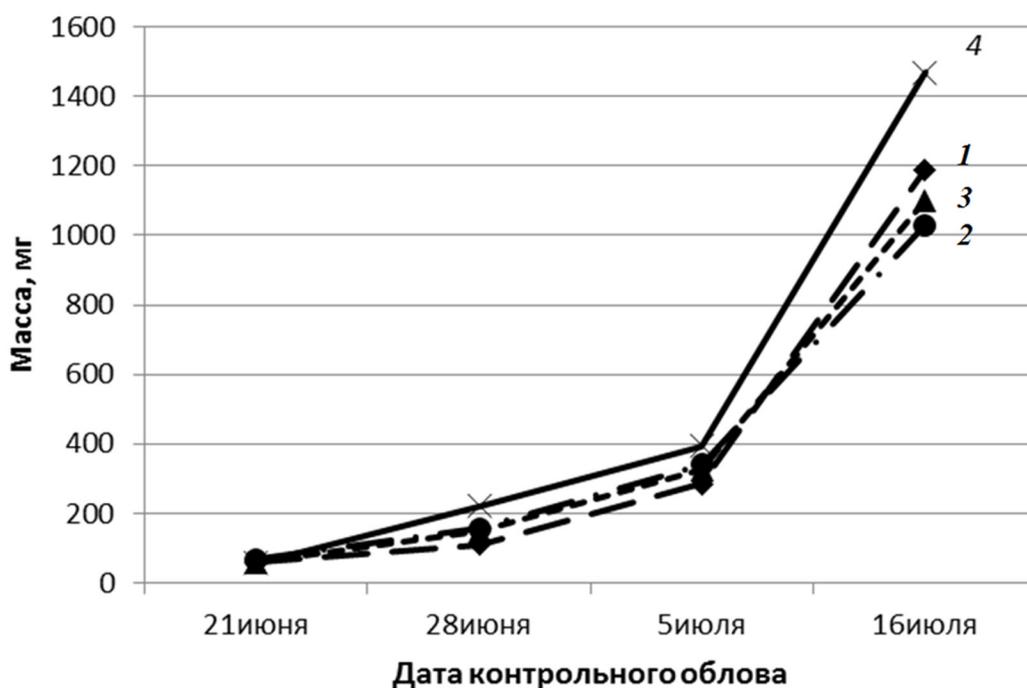
Темп роста молоди на кормах КСМ-1, КСМ-3 и КСМ-4 был даже несколько выше, чем рост личинок пеляди того же возраста в больших производственных бассейнах, где при более высокой плотности посадки они получала корма *Віомар* и постоянную добавку живых науплий артемии. К 20-му июня средняя масса этой молоди составляла 40 мг против 55–57 мг экспериментальных рыб, что могло быть связано с более высокой концентрацией их в производственных бассейнах.

*Этап 2.* На втором этапе лучшие результаты были получены на корме КСМ-4 с сухими соевыми фосфатидами (табл. 5). Молодь, получавшая этот корм, имела более высокую скорость роста при низком кормовом коэффициенте. Конечная масса пеляди из этого варианта была на 24% выше массы контрольной молоди, получавшей корм КСМ-1 без фосфатидов. Худший результат на втором этапе работы, как и на первом, показал корм КСМ-2.

С первых дней этапа 2 прирост рыб, получавших корм КСМ-4, был несколько выше, чем у особей, питающихся другими кормами (рис.1). Рост молоди зависит от потребляемого корма и температуры воды. С 21 июня по 5 июля температура воды постепенно повышалась с 15,5 до 18,7°C, а с 5 по 16 июля держалась постоянно выше 18°C, при колебании от 18,3 до 18,7°C. Именно в этот последний период опыта – период оптимальных температур для интенсивного роста молоди сиговых рыб – наиболее четко проявилось преимущество корма КСМ-4. Подъем температуры воды не сопровождается моментальным повышением темпа роста рыб, для этого требуется некоторая адаптации пищеварительной системы к потреблению большего количества корма, к его

**Таблица 5.** Результаты выращивания личинок пеляди на экспериментальных кормах

Корм	Масса личинок, мг			Выживаемость, %	Коэффициент вариации массы, %	Суточный прирост, %	Кормовой коэффициент
	22.05.	20.06.	% к контролю				
<b>Этап 1</b>							
КСМ-1	7,9±0,27	56,2±4,22	100	86	39,7	6,8	1,7
КСМ-2		36,5±2,40	65	90	34,7	5,3	3,3
КСМ-3		55,4±4,42	99	83	39,1	6,7	1,9
КСМ-4		57,2±3,36	102	82	33,0	6,8	1,8
<b>Этап 2</b>							
КСМ-1	54,6±3,06	1190±112	100	46,7	12,1	0,7	
КСМ-2	57,3±8,68	1030±130	87	59,2	10,9	0,8	
КСМ-3	52,2±3,49	1100±128	92	61,0	11,7	0,7	
КСМ-4	54,1±5,23	1470±164	124	52,2	13,0	0,6	

**Рис. 1.** Рост молоди пеляди на экспериментальных кормах (этап 2): 1 – КСМ-1, 2 – КСМ-2, 3 – КСМ-3, 4 – КСМ-4.

перевариванию и усвоению. В нашем опыте температура воды 29 июня повысилась до 17°C, достигнув к 3 июля 18°C, и затем уже не опускалась ниже этой границы.

**Выращивание молоди муксуна на экспериментальных и импортных кормах**

*Рыбоводно-биологические показатели.* Как сообщалось выше, на экспериментальных кормах при более разреженной посадке молодь сиговых рыб росла несколько быстрее, чем в производственных условиях на кормах Biomar при более высокой концентрации рыб.

В период перехода личинок муксуна на мальковую стадию (масса особей около 400 мг) был проведен сравнительный опыт для выяснения влияния новых кормов и кормов Biomar на рыб при содержании их в одинаковых условиях. Корм КСМ-2 не использовали, так как полученные ранее результаты выращивания молоди сиговых с его применением (табл. 5) были хуже, чем при выращивании на других кормах.

В ходе опыта молодь охотно поедала как импортные, так и экспериментальные корма. Конечная масса, суточные приросты, кормовые коэффициенты были близки во всех вариантах и сопоставимы с результатами, полученными на кормах Biomar (табл. 6).

За 18 сут. масса молоди увеличилась в 4,8–5,0 раза на экспериментальных кормах и в 5,1 раза — на импортных кормах. Выживаемость рыб во всех вариантах опыта была близка к 100%, отход молоди — единственный. Никаких видимых отклонений от

нормы по внешним признакам у рыб, выращенных на экспериментальных и импортных кормах, не отмечено. Конечная масса, выживаемость, кормовой коэффициент рыб, использующих корм КСМ-4, практически совпадали с таковыми при употреблении корма Biomar, причем скорость роста молоди была почти одинаковой в течение всего опыта во всех вариантах (рис. 2).

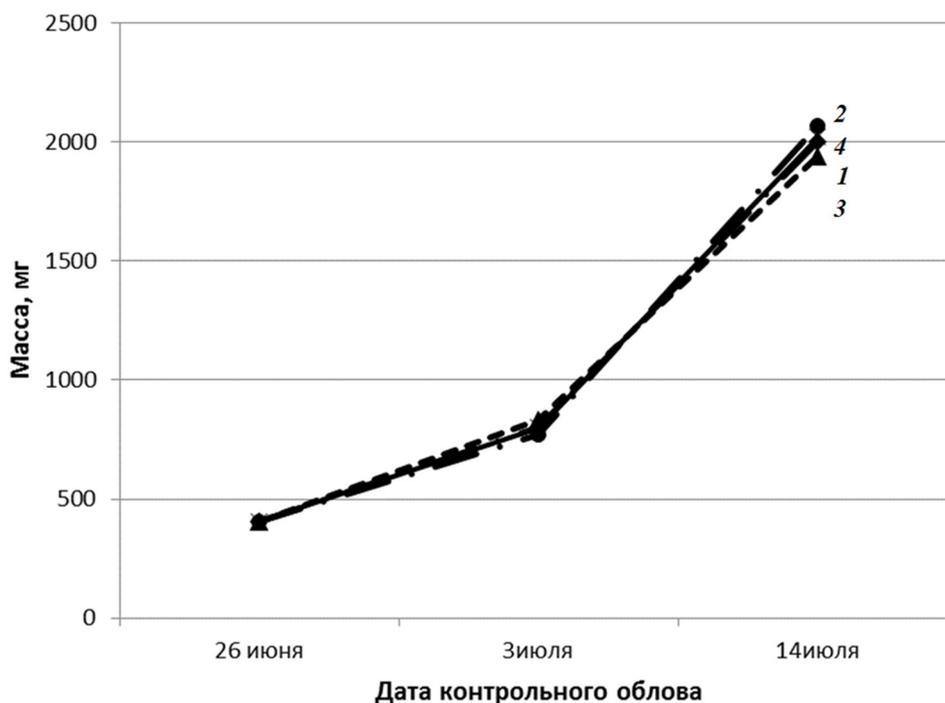
*Физиологические показатели.* Исследования показали, что молодь сиговых рыб всех вариантов имела высокие темпы роста и выживаемость, низкие кормовые коэффициенты. Вместе с тем одни только размерно-весовые и рыбоводные показатели не дают возможности объективно судить о полноценности разрабатываемых рационов, необходимы сведения о физиологическом состоянии рыб.

В качестве индикаторов, определяющих состояние молоди сиговых рыб, использовали показатели, чувствительные к полноценности и доброкачественности кормов: определение общего жира и витамина С в теле молоди, исследование морфологической картина красной и белой крови, гистофизиология печени.

Опытные корма, согласно анализу, имели в своем составе 8,8–9,1% жира (табл. 7), корм Biomar, согласно заявленному фирмой, — несколько больше, 11%. Количество липидов в теле молоди муксуна на разных кормах колебалось в небольших пределах (3,6–4,6%) и тесно коррелировало с содержанием жира в корме (коэффициент

**Таблица 6.** Результаты выращивания молоди муксуна на опытных кормах и корме Biomar

Корм	Масса молоди, мг		Коэффициент вариации массы, %	Суточный прирост, %	Кормовой коэффициент
	26.06.	14.07.			
КСМ-1	406	2000±60	13,7	8,9	0,7
Biomar Inicio plus 04		2070±70	17,9	9,0	0,7
КСМ-3		1940±70	18,1	8,7	0,8
КСМ-4		2020±80	19,5	8,9	0,7



**Рис. 2.** Сравнение роста молоди муксуна на экспериментальных кормах (1 – КСМ-1, 3 – КСМ-3, 4 – КСМ-4) и корме Биомар (2).

**Таблица 7.** Содержание жира и витамина С у молоди муксуна при питании различными кормами

Корм	Масса молоди, мг	Содержание жира в корме, %	Содержание в теле молоди	
			жира, %	витамина С, мкг/г
КСМ-1	2000	9,1	3,6	19,6
Биомар	2070	11,0	4,6	20,5
КСМ-3	1940	8,8	3,6	22,9
КСМ-4	2020	8,5	3,9	26,2

корреляции  $r = 0,87$ ). Молодь, получавшая импортный корм, имела более высокую жирность.

Уровень витамина С в теле мальков (табл. 7) был в основном в пределах нормы для молоди сиговых рыб – не ниже 20 мкг/г по Дабровскому (Dabrowski, 1990) – или близким к ней (19,6% на КСМ-1). У рыб, получавших корм КСМ-4, его содержание было даже несколько выше (26,2 мкг/г), чем у выращиваемых на импортном корме (20,5 мкг/г).

Таким образом, результаты анализа содержания жира и витамина С в теле моло-

ди муксуна, получавшей наши и импортные корма, не выявили существенных различий и отклонений от нормы.

Несмотря на то что количество витамина С в теле молоди в основном укладывалось в норматив Дабровского, следует все же отметить, что его содержание было на нижней границе нормы. В состав рецептов экспериментальных кормов витамин С входил в повышенных количествах. Причиной его снижения могли быть как потери при изготовлении, так и при хранении кормов.

Сиговые рыбы не способны синтезировать витамин С в достаточном количестве и должны получать этот важнейший природный антиоксидант постоянно с пищей. Между тем, витамин С отличается крайней неустойчивостью и может разрушаться в ходе изготовления и хранения кормов в течение полутора–двух месяцев. Разрушение витамина усиливается при увеличении продуктов перекисного окисления липидов в составе корма. Проблему быстрого разрушения аскорбиновой кислоты на Западе решили путем создания стабилизированной формы витамина. У нас такую форму не производят, поэтому предприятиям, изготавливающим премиксы витаминов, приходится приобретать ее за рубежом. В состав наших экспериментальных кормов был включен премикс витаминов с комбикормового предприятия, который они получили от фирмы ООО «Никомикс», Россия. Согласно проспекту фирмы, в премиксах используется стабилизированная форма витамина С. Кроме премикса в состав каждого из кормов вводили дополнительно обычный витамин С.

В дальнейших исследованиях необходимо уделить специальное внимание выяснению причины низкого содержания витамина С в теле молоди всех вариантов, в том числе и у получавшей импортные корма. Обеспеченность аскорбиновой кислотой является одним из важнейших условий полноценного питания молоди и старших возрастных групп сиговых. Дефицит витамина С может вы-

звать развитие анемии и жировой дегенерации печени у лососевых, что свидетельствует об истощении антиоксидантной системы у рыб. Из представленных ниже данных видно, что ни в одном из вариантов опыта таких явлений мы не наблюдали.

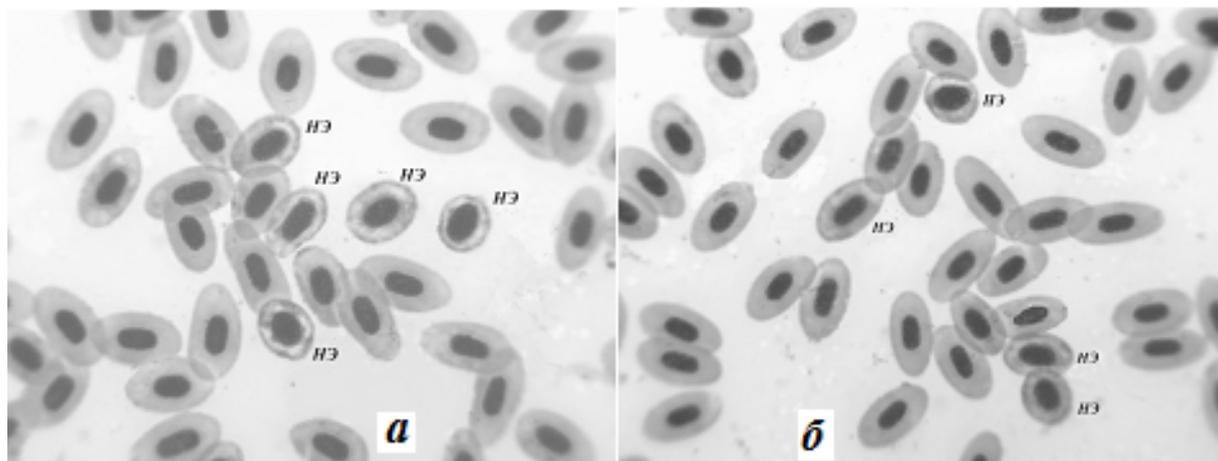
Результаты исследования крови могут служить оценкой полноценности применяемых кормов и сигнализировать о появлении патологии, связанной с алиментарной недостаточностью. Недоброкачественность и несбалансированность кормов, высокая степень окисленности липидов, дефицит ряда витаминов и микроэлементов вызывают анемию и существенные сдвиги лейкоцитарной формулы у рыб.

*Периферическая красная кровь* молоди муксуна, согласно нашим исследованиям, была представлена в основном зрелыми эритроцитами овальной формы с окрашенной в розовый цвет цитоплазмой и вытянутым плотным темно-фиолетовым ядром, располагающимся в центре клетки.

У рыб всех вариантов на мазках крови присутствовали более мелкие клетки — незрелые эритроциты на разных стадиях созревания (рис. 3, табл. 8), отражающие интенсивность кроветворения в связи с ростом молоди (среднесуточный прирост рыб — 8,7–9,0%) и увеличением размеров сосудов и, соответственно, объема крови. Цитоплазма незрелых эритроцитов в отличие от зрелых более прозрачная. Форма клеток по мере созревания меняется с окру-

**Таблица 8.** Показатели крови молоди муксуна, выращенной на экспериментальных и импортных кормах, %

Корм	Незрелые эритроциты	Лимфоциты	Полиморфно-ядерные	Моноциты	Число лейкоцитов на 500 эритроцитов (абсолютное)
КСМ-1	12,0 ± 1,0	87,9 ± 1,91	4,7 ± 0,98	7,8 ± 1,06	20,2 ± 3,2
Biomar Inicio plus 04	11,0 ± 1,54	81,0 ± 3,8	10,6 ± 2,5	7,1 ± 0,91	22,6 ± 5,2
КСМ-3	7,2 ± 1,04	78,9 ± 4,1	12,0 ± 3,6	13,3 ± 1,9	21,2 ± 4,5
КСМ-4	8,6 ± 1,23	80,9 ± 2,65	10,2 ± 2,7	8,9 ± 0,89	15,8 ± 2,7



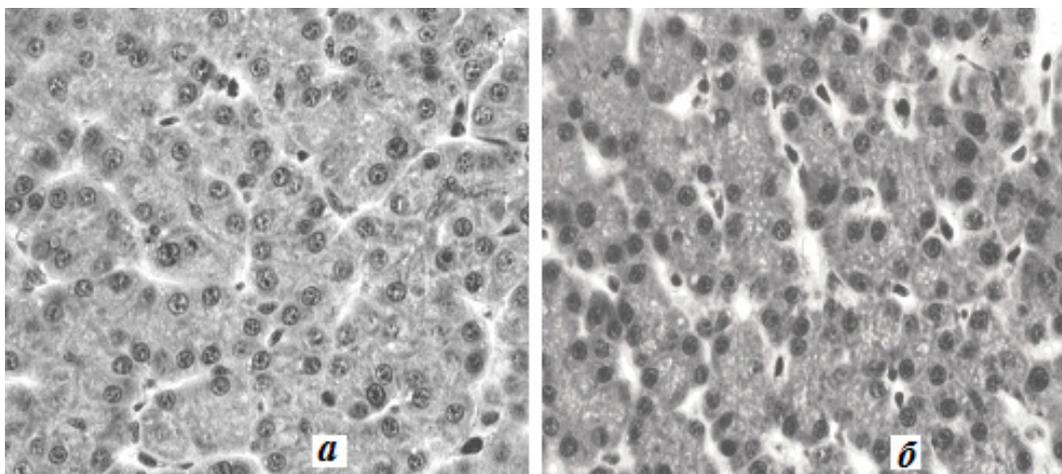
**Рис. 3.** Мазки крови муксуна, получавшего разные корма: а – Biomar, б – КСМ-4, увел.  $\times 90$ . НЭ – незрелые эритроциты.

глой на вытянутую, а цвет цитоплазмы при постепенном накоплении гемоглобина — от голубовато-серого до светло-фиолетового (полихроматофилия). Ядро — сначала массивное, округлое, при созревании уплотняется и уменьшается в размере, приобретая овальную форму.

Достоверных различий в содержании незрелых эритроцитов у рыб, получавших разные корма, не отмечали. Не обнаружено нарушений структуры оболочек и ядер клеток крови, характерных для токсикозов как алиментарной, так и экологической природы, а также каких-либо образований и включений (вакуоли, капсулы и др.), наблюдаемых при различных патологиях и ухудшении условий содержания рыб. У обследованной молодежи не было зафиксировано случаев анемии. При анемичных явлениях на мазках крови рыб обычно обнаруживается резкое увеличение патологических незрелых эритроцитов (до 50–80%), которые отличаются от нормально созревающих незрелых форм значительно более мелкими размерами и окрашиваемой в интенсивно синий цвет цитоплазмой. Появляются также патологически измененные эритроциты (пойкилоцитоз), частые amitotic деления клеток. Таких явлений не отмечено ни на одном из исследованных мазков крови у молодежи муксуна, получавшей экспериментальные и импортные корма.

Белая кровь сиговых рыб, так же как у форели и лосося, состоит из лимфоцитов, полиморфноядерных лейкоцитов и моноцитов. Лейкоцитарная формула имеет лимфоидный характер, что вообще характерно для рыб, т.е. основную массу клеток белой крови представляют лимфоциты. У молодежи, получавшей экспериментальные и импортные корма, доля лимфоцитов находилась в пределах 80–90%. Лишь при кормлении рыб КСМ-3 средний уровень лимфоцитов в крови был несколько ниже — 78,9%, а содержание полиморфноядерных лейкоцитов и моноцитов — выше, чем у рыб из других вариантов.

Высокий уровень лимфоцитов обычно свидетельствует о благополучном состоянии молодежи. Известно, что заболевания рыб как инвазионного, инфекционного, токсического, так и обменного характера часто сопровождаются значительным снижением доли лимфоцитов и увеличением доли крупных клеток белой крови — полиморфноядерных лейкоцитов и моноцитов. Эти клетки, обладающие фагоцитарной активностью, проникают через стенки сосудов и транспортируются кровью в места скопления тканей чужеродных или появившихся в результате воспалительных, некротических и других патологических процессов (Житенева и др., 2012).



**Рис. 4.** Печень муксуна в норме (а) и с мелеокапельными включениями (б), увел.  $\times 40$ .

Таким образом, изучение морфологии клеток красной и белой крови у молоди муксуна, получающей экспериментальные корма, не выявило каких-либо существенных отклонений от нормы, а также различий по сравнению с рыбами, содержащимися на импортных кормах. Незначительные изменения лейкоцитарной формулы отмечены у муксуна, выращенного на корме КСМ-3. Результаты исследований свидетельствуют о том, что экспериментальные корма, по крайней мере два из них (КСМ-1 и КСМ-4), не вызывали каких-либо негативных явлений в организме молоди, которые отразились бы на такой чувствительной системе, как кровь.

Характерным признаком недоброкачественности применяемых кормов для лососевых рыб является *жировая дегенерация печени*. Печень быстро реагирует морфологическими изменениями на несоответствующую пищу, вызывающую сдвиги в обмене веществ. При этом клетки печени — гепатоциты — переполняются жиром, в результате чего орган увеличивается в размерах, его окраска бледнеет. Структура клеток нарушается. Количество нормально функционирующих гепатоцитов при этом резко снижается. Если не принимаются своевременные меры по нормализации кормления, возникает цериодная дегенерация органа, сопровождающаяся анемией, что приводит к массовой гибели рыб.

Признаков жировой дегенерации печени у молоди муксуна, получавшей экспериментальные и импортные корма, обнаружено не было. Печень имела плотную структуру и типичную для этого органа балочную архитектуру. Гепатоциты были равной формы, с четкими границами клеточных мембран и ядер. Ядра крупные, с одним—двумя выраженными округлыми ядрышками. У 50% обследованной молоди всех вариантов опыта жировых включений не наблюдали либо они встречались редко и единично (рис. 4, а). У другой половины рыб из всех вариантов, независимо от состава корма, в цитоплазме гепатоцитов присутствовали мелкие липидные капли (рис. 4, б). Присутствие в гепатоцитах жировых капель небольших размеров, не нарушающих структуру клеток, у молоди лососевых считается нормой (Факторович, 1960; Дементьева, 1979). Факторович (1960) отмечала большое количество небольших жировых пустот (жир растворяется в процессе изготовления препаратов, оставляя пустоты) в печени молоди невского лосося, выращиваемого на естественных кормах в пруду, и считала это нормальным явлением. Диаметр пустот при этом не превышал диаметра ядер клеток печени. Дементьева (1979) при изучении печени молоди форели, питавшейся длительное время полноценными высокобелковыми сухими кормами, наблюдала в печени жировые пустоты диаметром 6,2 мкм при диаметре

ядер гепатоцитов 4,9 мкм. При электронно-микроскопическом исследовании не было обнаружено каких-либо нарушений в структурной организации гепатоцитов. Их состояние свидетельствовало о высокой функциональной активности. Учитывая это, а также другие нормальные физиологические показатели форели (в частности, крови), автор сделала вывод о том, что наличие в печени небольших жировых включений, не вызывающих нарушения структуры гепатоцитов, является нормой для рыб, выращиваемых в промышленных условиях. И в нашем случае у муксуна, получавшего как экспериментальные, так и импортные корма, присутствие в печени небольших капель липидов, не вызывающих патологии органа и не связанных с применяемыми кормами, следует признать нормой, тем более что и состояние крови у рыб не внушало опасения.

Таким образом, как по рыбоводно-биологическим, так и по физиологическим показателям молодь муксуна из разных вариантов эксперимента имела лишь несущественные различия. Лучшим кормом признан КСМ-4, который по всем исследованным показателям не уступал датскому корму фирмы «Биомаг».

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При выращивании пеляди от личиночных стадий массой около 8 мг до массы 50–60 мг и далее до молодки 1000–1500 мг на разработанных экспериментальных кормах наибольшая эффективность по рыбоводно-биологическим параметрам получена на корме КСМ-4, в состав которого входили сухие соевые фосфатиды.

При сравнительных испытаниях на молодки муксуна экспериментальных кормов КСМ-1, КСМ-3 и КСМ-4 с импортными кормами фирмы «Биомаг» отмечены сопоставимые скорость роста рыб, выживаемость, вариабельность размеров, кормовые коэффициенты при нормальном состоянии красной крови, лейкоцитарной формулы, гистофизиологии печени. По биологическим и физиологическим показателям молодь мук-

суна, получавшая корм КСМ-4, практически не имела различий с таковой, получавшей импортный. По сравнению с рыбой, выращенной на других экспериментальных кормах, у молодки, получавшей КСМ-4, была несколько более высокая конечная масса, а также больше содержания жира и витамина С в теле. Состав этого корма отличался полноценностью и высоким качеством липидов. Он содержал больше основных насыщенных жирных и важнейших длинноцепочечных ненасыщенных кислот. Корм сохранил хорошее качество не только в период проведения опыта, но и, в отличие от других экспериментальных кормов, в течение полутора месяцев после его завершения.

Корм КСМ-4 выбран для проведения производственной проверки с молодью сиговых рыб в следующем году.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Винберг Г.Г.* Интенсивность обмена и пищевые потребности рыб: Минск: Белгосун-т, 1956. 251 с.

*Головачев С.А.* Жирнокислотный состав личинок сигов, выращенных на кормах с различными жировыми добавками // Сб. науч. тр. ГосНИОРХ. 1983. Вып. 194. С. 103–106.

*Головня Е.* Метод выявления фальсификации рыбной муки // Комбикорма. 2014. №3. С. 70–72.

*Дементьева М.А.* Результаты гистофизиологического и электронно-микроскопического анализа печени радужной форели, содержащейся на сухом гранулированном корме // Товарное рыбоводство на внутренних водоемах. Сб. 27. Л: ГосНИОРХ, 1979. С. 30–35.

*Донник И.М., Лошманова А.Ю., Беспамятных Н.Н.* Показатели питательности рыбной муки и способы ее фальсификации // Аграр. вестн. Урала. 2012. № 9 (101). С. 18–19.

*Житенева А.Д., Макаров Э.В., Рудницкая О.А., Мирзоян А.В.* Основы ихтиогематологии (в сравнительном аспекте): Р. н/Дону: АзНИИРХ, 2012. 320 с.

- Картавцева Н.Е., Абрамова Ж.И., Остроумова И.Н., Шабалина А.А.* Временная инструкция по определению степени окисления липидов в кормах и оценке влияния качества кормов на рыб. Л.: ГосНИОРХ, 1987. 28 с.
- 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.
- Князева Л.М.* Рост и физиологические показатели молоди пеляди при массовом выращивании в бассейнах на искусственных кормах // Сб. науч. трудов ГосНИОРХ. 1986. Вып. 246. С. 63–67.
- Князева Л.М.* Итоги и перспективы выращивания и кормления сиговых в условиях индустриального рыбоводства // Там же. 1988. Вып. 275. С. 26–37.
- Костюничев В.В.* Технология выращивания и формирования маточных стад сиговых в индустриальных условиях // Там же. 2005. Вып. 333. С. 3–18.
- Костюничев В.В., Князева Л.М., Шумилина А.К.* Методические рекомендации по выращиванию и формированию ремонтно-маточных стад сиговых рыб (пелядь, чир, муксун) в индустриальных условиях на искусственных кормах. СПб.: ГосНИОРХ, 2001. 27 с.
- Кудерский Л.А., Князева Л.М.* Выращивание сеголеток пеляди на искусственных кормах // Тез. докл. Всесоюз. совещ. по биологии и биотехнике разведения сиговых рыб. Тюмень, 1985. С. 302–304.
- Остроумова И.Н., Шумилина А.К., Козьмина А.В.* Проблема качества рыбной муки и других компонентов в кормах рыб // Матер. междунар. науч. конф. «Актуальные проблемы аквакультуры в современной период». Р. н/Дону, 2015. С. 127–129.
- Остроумова И.Н., Шумилина А.К., Костюничев В.В. и др.* Эффективность включения неорганических фосфатов, различных источников белка и атаксантина в стартовые корма для сиговых // Сб. науч. тр. ГосНИОРХ. 2005. Вып. 333. С. 260–277.
- Пономарев С.В., Бахарева А.А., Грозеску Ю.Н., Федоровых Ю.В.* Технология кормления и выращивания сиговых рыб, хариуса, белорыбицы, нельмы бассейновым, садковым и комбинированными методами // Рыбоводство и рыб. хоз-во. 2015. №7. С. 56–62.
- Пономарев С.В., Пономарева Е.Н.* Технологические основы разведения и кормления лососевых рыб в индустриальных условиях. Астрахань: Изд-е АГТУ, 2003. 186 с.
- Ржавская Ф.М.* Жиры рыб и морских млекопитающих: М.: Пищ. пром-сть, 1976. 470 с.
- Сборник методических рекомендаций по индустриальному выращиванию сиговых рыб для целей воспроизводства и товарной аквакультуры / Под ред. А.К. Шумилиной. СПб.: ГосНИОРХ, 2012. 289 с.
- Факторович К.А.* Опыт оценки некоторых диет, применяющихся для молоди балтийского лосося, по данным гистофизиологического анализа печени // Матер. совещания по вопросам рыбоводства. М., 1960. С. 103–112.
- Шатуновский М.И.* Экологические закономерности обмена веществ морских рыб: М.: Наука, 1980. 283 с.
- Dabrowski K.* Ascorbic acid status in the early life of whitefish (*Coregonus lavaretus* L.) // Aquaculture. 1990. V. 84. P. 61–70.
- Hamza N., Mhelli M., Khemis I. B. et al.* Effect of dietary phospholipid levels on performance, enzyme activities and fatty acid composition of pikeperch (*Sander lucioperca*) larvae // Ibid. 2008. V. 275. P. 274–282.
- Larval fish nutrition / Ed. G.J. Holt. Oxford, UK: Wiley-Blackwell, 2011. 435 p.
- Olsen R.E., Henderson R.J., Pedersen T.* The influence of dietary lipid classes on the fatty acid composition of smolt cod *Gadus morhua* L. juveniles reared in an enclosure in Northern Norway // J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 1991. V. 148. P. 59–76.
- Rønnestad I., Thorsen A., Finn R.N.* Fish larval nutrition: a review of recent advances in the roles of amino acids // Aquaculture. 1999. V. 177. P. 201–216.

**DEVELOPING PHYSIOLOGICALLY VALUABLE FEEDS  
FOR FRY OF WHITEFISHES (COREGONIDAE)  
AND THEIR COMPARATIVE ASSESSMENT WITH IMPORTED FEEDS**

© 2016 y. I.N. Ostroumova, V.V. Kostyunichev, A.A. Lyutikov, V.A. Bogdanova,  
A.K. Shumilina, T. P. Danilova, A.V. Koz'mina, T.A. Filatova, M. S. Mel'nikova

*L.V. Berg State Research Institute for Lake and River Fisheries,  
Saint-Petersburg, 199053*

Variants of experimental feeds have been developed in compliance with food demands of fry of whitefishes. Description of their nutritional value is given, quality of lipids by peroxide values and acid numbers is studied in the course of feed storage. Results of rearing of whitefish larva on them in tanks. Comparable results on growth rate of fish, survival rate, variability of sizes, food coefficients have been obtained under normal state of blood values and liver in comparative trials of new feeds with imported ones. Based on conducted investigations a feed for carrying out a production test with fry of whitefishes has been chosen.

*Keywords:* fry of whitefishes Coregonidae, Leningrad Region, tanks, experimental feeds, oxidation rate, imported feeds, fry growth, survival rate, blood morphology, liver histophysiology.