



Аквакультура

Сравнительное исследование роста, выживаемости и морфологии родительских видов и гибридов сиговых рыб в первый год выращивания в условиях садковой аквакультуры

В.А. Богданова, В.В. Костюничев, А.А. Александров

Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга), Наб. Макарова, 26, г. Санкт-Петербург, 199053

E-mail: vera-bogdanova@yandex.ru

SPIN-коды: Богданова В.А.— 3796–7770; Костюничев В.В.— 1809–0910; Александров А.А.— 2758–5069

Цель работы: оценить рыбоводно-биологические показатели сеголеток трёх гибридных форм сиговых рыб в сравнении с родительскими видами при выращивании в условиях садковой аквакультуры.

Используемые методы: получение и выращивание гибридов и родительских видов проведено по стандартной для сиговых рыб технологии с ноября 2021 по май 2022 г. Исследовали показатели выживаемости и скорости роста сеголеток, а также особенности экстерьера годовиков с использованием факторного и кластерного анализов.

Новизна: впервые проведено выращивание в садках трёх гибридных форм пеляди и родительских видов (пелядь, муксун, чир, нельма), выполнен сравнительный анализ выживаемости, роста и морфологии у гибридов и родительских видов.

Результаты: все гибридные формы занимают промежуточное положение по темпу роста, превосходя материнский вид (пелядь), уступая отцовскому. Наилучшие результаты по весовому и линейному росту среди гибридов отмечены у пелчира. По показателю выживаемости у сеголеток всех гибридов проявляется эффект гетерозиса, хотя на стадии личинок и ранней молоди превосходство в выживаемости гибридных форм над родительской парой отмечено только у пелнелма. Выживаемость икры гибридов, как и выживаемость пелчира и пелмука на ранних стадиях выращивания, имели промежуточные значения — ниже, чем у пеляди, но значительно выше, чем у отцовских видов. Самая низкая выживаемость икры среди гибридов показана у пелчира. По совокупности пластических признаков годовалых рыб пелядь имеет наиболее значительные морфологические отличия от других чистых видов и гибридных форм, участвующих в эксперименте, все гибридные формы обнаруживают большее сходство с отцовскими видами.

Практическая значимость: полученные результаты дают потенциальную оценку гибридным формам сиговых рыб для их использования в товарной аквакультуре.

Ключевые слова: сиговые рыбы, гибриды, родительские виды, икра, личинки, сеголетки, рост, выживаемость, сравнительная морфология.

Comparative study of the growth, survival and morphology of the whitefish hybrids and parent species in the first year of rearing in cage aquaculture

Vera A. Bogdanova, Valery V. Kostyunichev, Alexei A. Alexandrov

St. Petersburg branch of «VNIRO» («L.S. Berg «GosNIORKh»), 26, emb. Makarova, St. Petersburg, 199053, Russia

The purpose of the work: to estimate fish breeding indicators of three hybrid forms of whitefish in comparison with parental species when grown in cage aquaculture.

Methods used: the production and cultivation of hybrids and parental species were carried out using standard technology for whitefish from November 2021 to May 2022. We have studied the survival and growth rate of fingerlings, and we also conducted a comparative assessment of the exterior of yearlings using factor and cluster analyses.

Novelty: for the first time, three hybrid forms of peled and parent species (peled, muksun, broad whitefish, nelma) were grown in cages, and a comparative analysis of survival, growth and morphology of hybrids and parent species was performed.

Results: all hybrid forms occupy an intermediate position in terms of growth rate, surpassing the maternal species (peled), yielding to the paternal ones. The best results in terms of weight and linear growth among hybrids were noted in pelchir. In terms of survival, one-yearlings of all hybrids show the effect of heterosis, although at the stage of larvae and early juveniles, the superiority in survival of hybrid forms over the parental pair was noted only in pelnelm. The survival rate of hybrid eggs, as well as the survival rate of pelchir and

pelmuks at the early stages of cultivation, had intermediate values – lower than that of peled, but significantly higher than that of paternal species. The lowest survival rate of eggs among hybrids is shown in pelchir. The peled has the most significant morphological differences from other pure species and hybrid forms used in the experiment, all hybrid forms show more similarity with the paternal species.

Practical significance: results provide a potential assessment of whitefish hybrids for the prospect of their use in commercial aquaculture.

Keywords: whitefish hybrids, parental species, eggs, larvae, fingerlings, growth, survival rate, comparative morphology.

ВВЕДЕНИЕ

Большой потенциал для развития отечественной аквакультуры имеют сиговые рыбы, культивирование которых в последнее время становится особенно актуальным в связи с резким сокращением численности природных популяций, снижением промысловых уловов, постепенной убылью ценных видов из рыбного ассортимента продовольственного рынка. Эффективность товарного выращивания сиговых в промышленных условиях пока уступает радужной форели из-за более низкого темпа роста и большей чувствительности к технологическим процессам. В этой связи большой потенциал имеет метод межвидовой гибридизации, как один из способов улучшения качеств рыб в направлении повышения продуктивности и толерантности к условиям культивирования.

Богатство видового состава сигов России открывает широкие возможности для создания высокопродуктивных гибридных форм (пород) сиговых товарной аквакультуры. В 1950–1980-х гг. проводился активный поиск эффективных гибридных форм сигов для повышения рыбопродуктивности внутренних водоёмов Северо-Запада, Урала и Западной Сибири. Гибридизацию проводили с использованием рипуса с сигами из группы *lavarentus* [Нестеренко, 1957; Леманова, 1960], сига с пелядью [Бабий, 1985; Бабий, Стерлигов, 1984], сибирских видов сигов [Ниязов, 1983; 1992]. Особую популярность в рыбоводных хозяйствах получил гибрид пеляди с чиром, пелчир [Волошенко, 1972; 1976]. Экспериментальные работы гибридов пеляди с муксуном [Волошенко, Тесля, 1979] и кубенской нельмой [Волошенко и др., 1981; Волошенко, 1983] также показали их перспективность для повышения продуктивности водоёмов.

Исследования биологических особенностей различных гибридных форм сигов свидетельствуют, что межвидовые гибриды в первом поколении характеризуются хорошей выживаемостью, более высоким темпом роста по сравнению с одним или обоими родительскими видами и более широким спектром питания, что существенно увеличивает продуктивность водоёмов пастбищной аквакультуры, в том числе при выра-

щивании рыб в поликультуре [Волошенко, 1976; 1983; Балашев, Головков, 1976; Павлов, 1978; Бабий, Стерлигов, 1984 и др.]. Наряду с исследованиями темпа роста гибридов, их выживаемости и продукционных качеств при выращивании в условиях пастбищной аквакультуры, в ряде работ была проведена оценка их пищевой ценности [Волошенко, Беляускас, 1975], особенностей репродуктивных свойств [Леманова, 1955; Нестеренко, 1962; Мостовская, 1990; Bogdanova, 2002], а также морфологии [Игнатъев, Коломин, 1978; Коровина и др., 1972; Волошенко, 1983; Бабий, 1987]. Таким образом, многочисленные работы по использованию гибридных форм в пастбищной аквакультуре представляет хороший научный задел для выявления закономерностей в биологии гибридных форм сигов и оценки их продуктивности при товарном выращивании с использованием современных промышленных технологий.

Целью настоящего исследования является оценка эффективности выращивания сеголеток трёх гибридных форм сигов в сравнении с родительскими видами в условиях садковой аквакультуры.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Работа по выращиванию сеголеток межвидовых гибридов и родительских видов сигов была проведена в 2021–2022 гг. на рыбоводном хозяйстве «Форват», где содержатся маточные стада различных видов сиговых рыб в садках. Сиговое хозяйство расположено на озере Суходольское Приозерского р-на Ленинградской области.

В качестве объектов исследования были выбраны следующие гибридные формы: пелядь *Coregonus peled* (Gmelin, 1788) ♀ × нельма *Stenodus leucichthys nelma* (Güldenstädt, 1772) ♂ (далее – пелнелм); *C. peled* ♀ × муксун *C. muksun* (Pallas, 1814) ♂ (далее – пелмук); *C. peled* ♀ × чир *C. nasus* (Pallas, 1776) ♂ (далее – пелчир) и родительские виды: пелядь, чир, муксун и нельма. Все гибридные формы сочетают высокие продуктивные свойства родительских видов при выращивании в промышленной аквакультуре: адаптивность пеляди (материнский вид) и высокий потенциал роста чира, муксуна и нельмы.

Для проведения экспериментального выращивания сеголеток гибридных форм и родительских видов сигов была собрана и проинкубирована икра пеляди, как материнской формы, её гибридов с чиром, муксуном, нельмой и отцовских видов.

Половые продукты чистых видов были получены в период массового созревания производителей в 2020 г. В связи с видовой спецификой производителей по срокам созревания закладка на инкубацию икры чистых видов и трёх гибридных комбинаций была проведена в разные сроки (табл. 1).

Богданова, 2018¹]. Каждый вариант имел две повторности. Условия содержания личинок и молоди рыб в опытных вариантах были идентичны. Личинок до массы 450 мг подращивали в лотках ейского типа (0,7 × 4,2 × 0,5 м) с объёмом воды до 1 м³. Исходная плотность посадки составила 20 тыс. экз./лоток. В связи с одновременным вылуплением гибридов и родительских видов даты начала выращивания в опытных вариантах различались (табл. 2).

Кормление предличинок начинали на 2–3 сутки после вылупления, используя в равных пропорциях

Таблица 1. Начало инкубации опытной икры
Table 1. Beginning of experimental egg incubation

Вид/форма	Дата закладки опытной икры	Температура воды при закладке опытной икры, °С
Пелядь ♀ × нельма ♂	08 ноября	7,4
Пелядь ♀ × муксун ♂	15 декабря	0,7
Пелядь ♀ × чир ♂	23 декабря	0,6
Нельма	10 ноября	6,6
Пелядь речная	7 ноября	7,4
Пелядь озерная	11 декабря	1,5
Муксун	14 декабря	0,8
Чир	23 декабря	0,6

Инкубация опытных партий икры проходила в модифицированных аппаратах Вейса объёмом 22 л при естественном температурном режиме. Преобладающая температура воды в период инкубации составляла 0,2 °С. Всего были использованы 8 аппаратов. В процессе инкубации проводили ежедневный контроль за обменом воды в аппаратах и отбор погибших икринок. Выживаемость икры от закладки в аппараты до конца инкубации оценивали в процентах. Определение размера икринок до набухания и на стадии «пигментации глаз» проводили на фиксированном материале в 4%-ном растворе формалина с использованием цифровой съёмки (камера Xiaomi Redmi Note 10 50МП) и последующей обработкой в программе AxioVision Rel.4.8. Объём выборки составлял 100–110 икринок.

В процессе инкубации икры, выращивания личинок и молоди в бассейнах и садках измерение температуры воды и содержание растворённого в воде кислорода определяли ежедневно с использованием оксиметра OxyGuard Handy Polaris (Дания). Гидрохимический анализ воды по 24 показателям проводили ежеквартально.

При выращивании сеголеток использовали стандартную технологию для сиговых рыб [Костюничев,

науплии артемии и стартовый корм фирмы БиоМар (Larviva с содержанием протеина 58%, жира 14%, энергетической ценностью 19,0 МДж размером 0,1 мм). По мере роста личинок живой корм постепенно заменяли на искусственный, а размер гранул увеличивали. Полный переход на искусственный корм был проведён через 2–3 недели после вылупления предличинок.

В конце июня – начале июля, при достижении массы 450 мг ранняя молодь гибридных и родительских форм для дальнейшего выращивания была пересажена в садки размером (5 × 2 × 2,5 м) с ячейкой 4 мм. Всего использовано 16 опытных садков, плотность посадки – 8 тыс. экз./садок. Через 20 дней опытная молодь имела массу 2–3 г и была пересажена в садки большего размера (5 × 5 × 5 м) с ячейкой 6 мм. В сентябре при массе молоди 6–8 г размер ячеек в садках был увеличен до 8 мм. Здесь рыба выращивалась в течение всей осени и содержалась в зимний период.

Первые 3 недели раннюю молодь в садках кормили вручную каждые 1–2 часа в течение светлого

¹ Костюничев В.В., Богданова В.А. 2018. Методические рекомендации по инкубации икры и производству молоди сига европейской части России. СПб.: Лемма. 45 с.

Таблица 2. Стартовые условия опытного выращивания гибридов сига и родительских видов в бассейнах и садках
Table 2. Starting conditions for experimental rearing of whitefish hybrids and parental species in tanks and cages

Гибрид/вид	Начало опытного выращивания личинок в бассейнах		Начало опытного выращивания сеголеток в садках	
	Дата	Т °С	Дата	Т °С
Пелядь × нельма	05.05	5,5	4.07	21,3
Пелядь × муксун	16.05	9,0	7.07	21,7
Пелядь × чир	17.05	9,5	7.07	21,7
Нельма	30.04	5,4	2.07	21,0
Пелядь речная	05.05	5,5	7.07	21,7
Пелядь озёрная	16.05	9,0	7.07	21,7
Муксун	07.05	5,5	2.07	21,0
Чир	01.05	5,4	25.06	19,9

времени суток. Для кормления подросшей молоди применяли автоматические кормораздатчики ЭВОС с режимом подачи корма 5–8 раз/час. Использовали корм датской фирмы БиоМар Иницио Плюс (протеин 56–58%, жир 15–18%, энергетическая ценность 19,8 МДж), увеличивая размер гранул по мере роста рыб с 0,5 до 1,5 мм. Суточную норму корма определяли в соответствии с массой молоди и температурой воды в соответствии с нормативами для сиговых рыб, разработанными ГосНИОРХ. В зимний период (с конца ноября) опытную рыбу не кормили. После расплавления льда, с 7 по 16 мая, рыбу начали «раскармливать»: вручную выдавать небольшие количества корма до начала следующего эксперимента по выращиванию двухлеток (21 мая).

Контрольные обловы ранней молоди проводили с частотой 1 раз в 5–7 суток, далее каждые 10–25 дней, исключая периоды высокой температуры воды в летние месяцы (выше 21 °С). Определение средней массы рыб (навески) проводили весовым методом [Костюничев, Богданова, 2018], в выборку входило не менее 50–100 экз. Окончательную среднюю массу сеголеток (навеску) определяли в конце вегетационного сезона (15 ноября 2021 г.); годовиков – после зимовки весной (21 мая 2022 г.).

Выживаемость личинок и сеголеток определяли в конце периода выращивания: личинок – при окончании бассейнового содержания при пересадке молоди в садки, сеголеток – осенью, в конце первого сезона опытного выращивания, годовиков – весной, при завершении зимнего содержания сеголеток. Рассчитывали процент выживших рыб от исходного количества в конце опытного периода.

Морфологический анализ рыб, а также измерение диаметра икры (до оводнения) проводили по

цифровым изображениям [Бочкарев и др., 2013; Мелехин и др., 2021]. Для морфологического исследования рыбу после отлова замораживали. Перед фотосъёмкой сига размораживали, фотографии делали с использованием камеры Xiaomi Redmi Note 10 50МП. Объём выборки в каждом опытном варианте составлял: сеголетки 20 экз. (чир 21 экз.), годовики – 30 экз. Икру (до набухания) фиксировали в 4%-ном формалине; фотосъёмку фиксированной икры проводили той же камерой. Промеры изображений выполнены в программе AxioVision Rel. 4.8. Морфологический анализ проводили по 20 пластическим признакам (рис. 1) и 18 индексам в соответствии со схемой промеров для сиговых рыб И.Ф. Правдина [1968].

Съёмка объектов исследования и все измерения проведены одним оператором (АА). Для устранения аллометрического эффекта, связанного с разноразмерностью рыб в исследуемых выборках, был проведён анализ методом Главных Компонент с использованием 18 индексов, отражающих отношения значений исходных признаков к длине по Смитту (ас) и длине головы (ао) для признаков головы. На рис. 5, а также в табл. 6 и 7 использованы следующие сокращения: PEL – пелядь; NEL – нельма; PLN – пелнелм; МК – муксун; PLM – пелмук; СН – чир; PLC – пелчир. Для оценки различий между выборками проводили двухфакторный дисперсионный анализ индивидуальных значений главных компонент [Lajus et al., 2015]. Для визуализации уровня морфологического сходства гибридов и чистых видов использовали иерархический кластерный анализ (мера сходства – евклидово расстояние, стратегия объединения – метод невзвешенной средней). Статистический анализ данных осуществляли в программе

Statistica10.0, достоверность различий оценивали с использованием Т-Теста.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Инкубация икры. Средний диаметр икры материнских форм – озёрной и речной пеляди до оводнения составил $1,9 \pm 0,01$ мм, на стадии пигментации глаз – $2,4 \pm 0,01$ мм. Инкубация опытной икры проходила в период с ноября–декабря по апрель–май. Развитие икры у гибридов и материнской пеляди по длительности и градусо-дням совпадало, тогда как у отцовских видов (чир, муксун и нельма) оно заняло меньший период времени и прошло при меньшем суммарном количестве тепла (табл. 3).

Результаты по выживаемости икры гибридов (табл. 4) показывают, что гетерозисного эффекта (превосходство над родительской парой), отмечаемого ранее у пелчира [Волошенко, 1972; 1976] и гибрида пелядь × сиг [Бабий, 1987] в нашем эксперименте не наблюдалось. Икра гибридных форм имела сходную или более низкую выживаемость по сравнению с пе-

лядью и более высокую, чем у отцовских видов (см. табл. 4). Максимальные значения выживаемости икры среди гибридов отмечены у пелмука (64%), близкие с пелядью значения (61%) – у пелнелма. Самая низкая выживаемость икры отмечены у пелчира (56%), хотя эти значения были существенно выше, чем у отцовского вида (44%). Низкую выживаемость икры чира при искусственном разведении неоднократно отмечали ранее [Кузьмин, 1969; Белоусов, 1989], что позволяет предположить влияние отцовского фактора на повышенную смертность икры пелчира по сравнению с другими гибридами.

Выращивание личинок и ранней молоди в бассейнах. Во всех вариантах эксперимента прослеживается значительное превосходство личинок отцовских видов по темпу роста и небольшое опережение в росте гибридов в сравнении с материнской пелядью (рис. 1 А-Б). По выживаемости личинки пелнелма превосходили родительскую пару (69% против 61% и 55% у пеляди и нельмы, соответственно), тогда как у других гибридов выживаемость имела промежуточ-

Таблица 3. Длительность инкубации икры в опытных вариантах

Table 3. Duration of egg incubation in experimental variants

Гибрид/вид	Дата* вылупления предличинок	Длительность инкубационного периода, сут.	Градусо-дни
пелядь ♀ × нельма ♂	02–05.05	174–177	284–301
пелядь ♀ × муксун ♂	12–16.05	148–152	192–224
пелядь ♀ × чир ♂	14–17.05	143–146	204–231
нельма	26–30.04	167–171	238–259
пелядь речная	01–05.05	176–180	286–308
пелядь озерная	13–16.05	153–156	204–229
муксун	05–07.05	142–144	151–162
чир	28.04–01.05	126–129	108–124

Примечание: * – даты массового выхода предличинок из оболочек.

Таблица 4. Выживаемость икры, личинок, сеголеток и годовиков гибридных форм и родительских видов

Table 4. Survival of eggs, larvae, fingerlings and yearlings of hybrid forms and parental species

Гибриды/чистые виды	Выживаемость, %			
	Икра	Личинки	Сеголетки	Годовики
Пелядь озёрная	65	61	67	91,1
Муксун	58	76	68	93,4
Гибрид пелядь × муксун	64	63	71	93,9
Чир	44	72	64	94,8
Гибрид пелядь × чир	56	62	70	95,2
Пелядь речная	62	64	62	89,7
Нельма	57	55	60	93,8
Гибрид пелядь × нельма	61	69	69	94,3

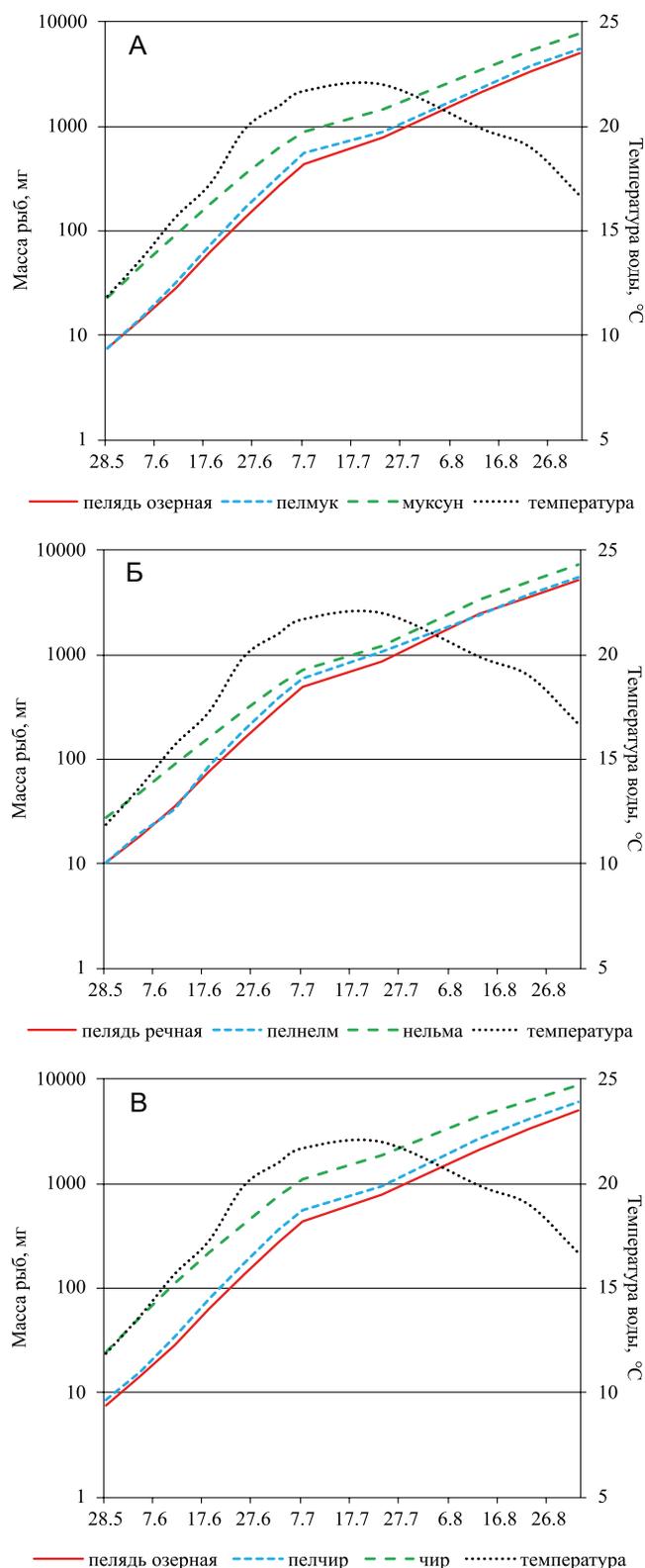


Рис. 1. Темп роста личинок и ранней молоди родительских видов и гибридов А – пелядь × муксун, Б – пелядь × нельма и В – пелядь × чир в летний период

Fig. 1. Growth of larvae and early juveniles of parent species and hybrid А – peled × muksun, Б – peled × nelma, В – peled × broad whitefish in summer

ное значение – меньше, чем у отцовских видов, но больше, чем у пеляди (табл. 4).

Выращивание сеголеток в садках. В летний период, с конца июня до середины августа, выращивание молоди сига в опытных вариантах из-за жаркой погоды проходило в условиях повышенной температуры воды, выходящей за пределы оптимальных значений для молоди сиговых рыб ($\geq 20^\circ\text{C}$). Это привело к существенному сокращению норм кормления, снижению темпа роста и повышенной гибели рыб. Несмотря на длительную повышенную температуру воды, гидрохимические условия оставались в пределах рыбободных норм.

Во всех опытных вариантах в летний период прослеживалось превосходство темпа роста отцовских видов по сравнению с гибридами, которые незначительно опережали в росте материнскую пелядь (рис. 1 А-Б).

С середины августа, при снижении температуры воды и увеличении норм кормления рыб, темп роста сеголеток ускорился. Приросты массы сеголеток в сентябре составляли 35–45%, в ноябре 10–15%. Осенью сеголетки всех гибридных форм опережали в росте пелядь при значительном отставании от отцовских видов (рис. 2 А-Б).

К концу эксперимента наибольшую среднюю массу среди чистых видов имели сеголетки чира ($28,1 \pm 0,92$ г), наименьшую – речной пеляди ($19,3 \pm 0,52$ г). Средняя масса у гибридов составляла: пелядь × чир ($22,5 \pm 1,18$ г), пелядь × муксун ($21,4 \pm 0,94$ г), пелядь × нельма ($21,0 \pm 1,03$ г).

Таким образом, промежуточный характер роста, наблюдаемый у пелчира [Волошенко, 1972] и пелнелма [Волошенко и др. 1983] при выращивании в озёрах на естественной кормовой базе подтвердился в ходе экспериментального выращивания сеголеток трёх гибридных форм в условиях садковой аквакультуры. Среди гибридов превосходство в росте имел пелчир, обгоняя пелядь к концу эксперимента на 11%, тогда как пелнелм и пелмук на 8% и 6%, соответственно. Отставание по росту от отцовских видов у пелчира составило 20%, у пелмука 17%, у пелнелма на 11%.

По выживаемости сеголетки всех трёх гибридных форм превосходили родительские виды, что особенно было выражено у пелчира и гибрида пеляди с нельмой (см. табл. 4).

За зимний период средняя масса рыб снизилась (рис. 3), потеря веса годовиков к моменту их рассадки на дальнейшее выращивание составляла от 5 до 9%. При этом у рыб отмечается сохранение линейного роста. К весне у чистых видов наибольший прирост наблюдали у годовиков муксуна и чира, у пеляди и нель-

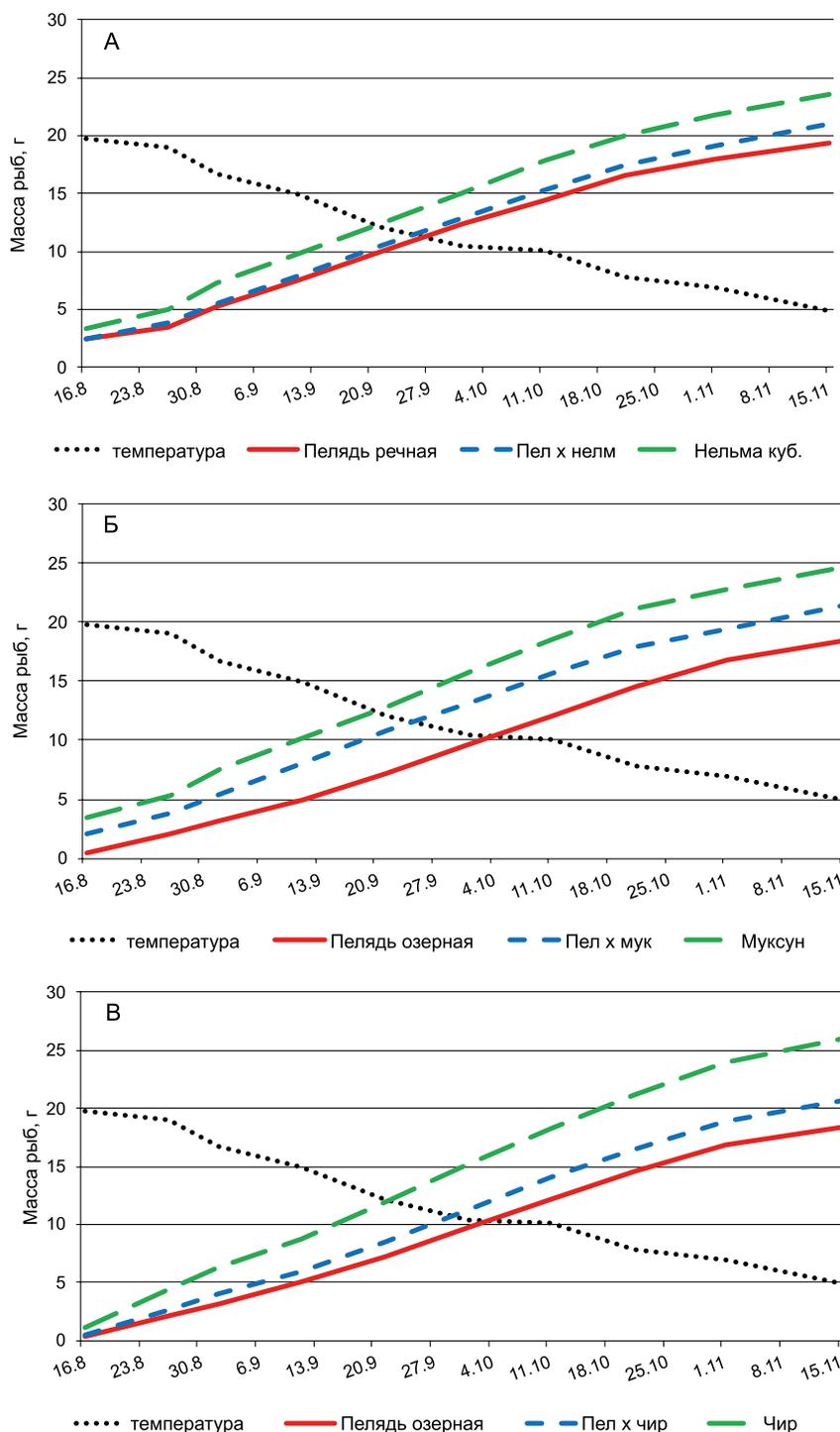


Рис. 2. Темп роста сеголеток родительских видов и гибридов А – пелядь × нельма, Б – пелядь × муксун, В – пелядь × чир в летне-осенний период

Fig. 2. Growth of fingerlings of parental species and hybrids А – peled × nelma, В – peled × muksun, С – peled × whitefish in the summer-autumn period

мы изменения длины были незначительными; среди гибридов наибольший линейный прирост за зимние месяцы отмечали у пелчира и пелнелма (рис. 4).

Выживаемость рыб в экспериментальных садках за зимний период составила 90% и более (см. табл. 4).

Морфологическая изменчивость гибридов и родительских видов. При работе с гибридами важное значение имеют морфологические исследования, связанные с вопросами наследования родительских признаков у гибридных форм. В рыбоводной прак-

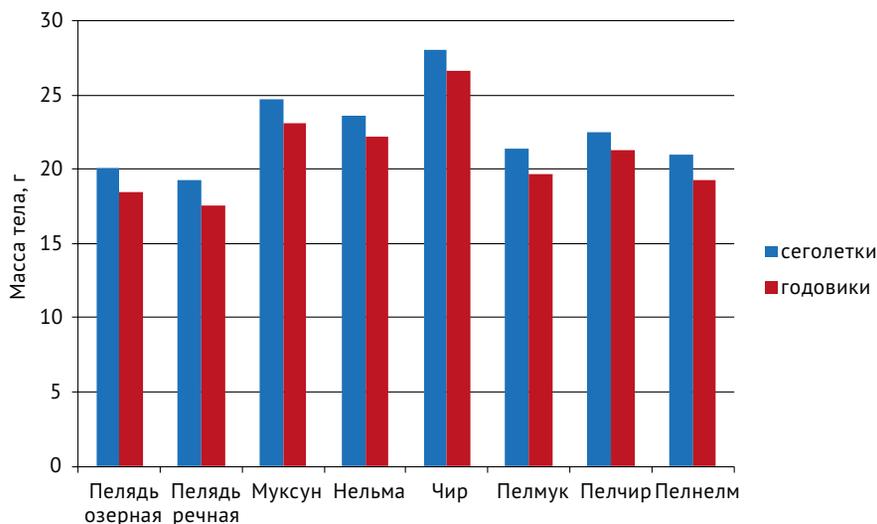


Рис. 3. Снижение массы тела сеголеток гибридов и родительских видов за зимний период

Fig. 3. Decrease in body weight of fingerlings of hybrids and parental species during the winter period

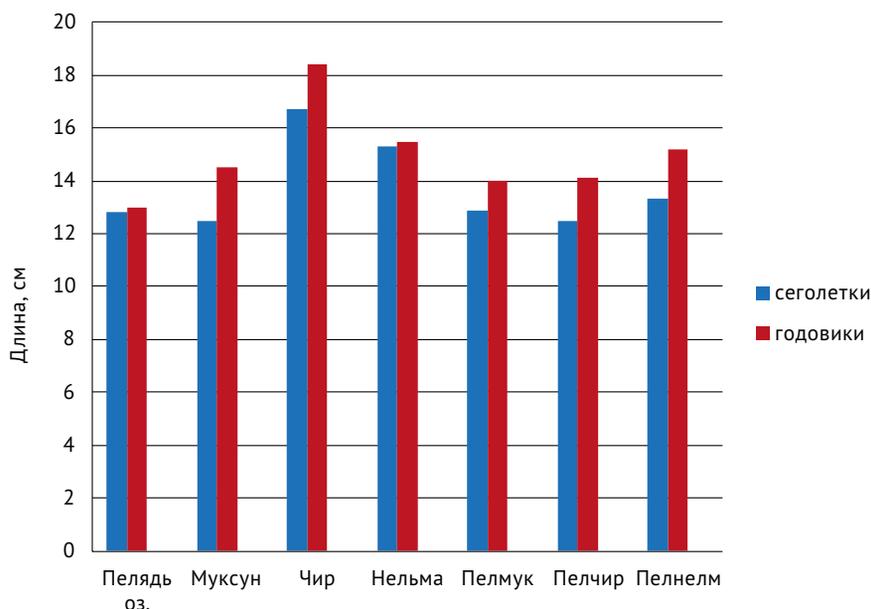


Рис. 4. Линейный рост гибридов и чистых видов за период зимовки

Fig. 4. Linear growth of hybrids and pure species during the wintering period

тике морфология гибридов важна, в первую очередь, для идентификации гибридных форм, используемых в аквакультуре. Данные литературы свидетельствуют, что гибриды сига часто занимают промежуточное положение по ряду признаков по сравнению с родительскими видами [Нестеренко, 1957; Коровина и др., 1972; Волошенко, 1983]. Морфологическое исследование трёх гибридных форм и родительских видов эксперимента, выполненное по индексам пластических признаков, показывает различия по форме тела, расположению дорсального и анального плавников, длине головы, высоте тела, толщине хвостового стебля, горизонтальному диаметру глаза и др. между ги-

бридами и чистыми видами (табл. 5,6), а также между гибридными формами (табл. 7).

Результаты кластерного анализа морфологических признаков гибридов и родительских видов представлены на рис. 5. Дендрограмма, демонстрирующая степень сходства между изученными выборками, показывает, что пелядь по морфологическим характеристикам сильнее всего отличается от остальных родительских видов и гибридных форм. Все гибриды обнаруживают большее сходство с отцовскими видами, среди которых особо выделяется пелнелм, тогда как пелмук и пелчир морфологически более сходны друг с другом.

Таблица 5. Значения индексов морфологических признаков гибридов и родительских видов
Table 5. Index values of morphological traits of hybrid forms and parental species

Признак	PELED	NELMA	MUKSUN	CHIR	PELNEL	PELMUK	PELCHIR
	M ± SD						
ac/aq	2,36±0,09	2,16±0,08	2,50±0,11	2,37±0,09	2,27±0,08	2,38±0,11	2,48±0,10
ac/az	2,23±0,07	2,08±0,05	2,09±0,08	2,21±0,11	2,13±0,09	2,15±0,08	2,17±0,06
ac/ay	1,50±0,04	1,41±0,03	1,4±0,04	1,41±0,06	1,43±0,04	1,40±0,03	1,44±0,04
ac/rd	2,59±0,14	3,06±0,15	2,62±0,11	2,56±0,11	2,94±0,19	2,70±0,13	2,68±0,14
ac/fd	1,43±0,17	1,62±0,22	1,49±0,21	1,80±0,26	1,38±0,15	1,57±0,20	1,49±0,13
ac/ao	7,74±1,88	4,48±0,22	5,09±0,55	5,92±0,48	4,80±0,41	5,26±0,63	5,48±0,32
ac/lm	6,46±0,32	7,27±0,55	6,66±0,60	6,35±0,64	6,88±0,53	6,54±0,64	6,78±0,30
ac/np	20,08±1,16	22,53±1,99	20,05±2,17	26,29±3,47	21,13±2,88	21,86±2,89	21,41±1,38
ac/an	20,65±2,34	22,10±2,52	25,22±5,80	30,07±6,20	22,92±4,06	25,95±6,13	26,19±3,85
ac/qh	2,90±0,33	3,26±0,70	2,79±0,30	4,31±0,37	2,80±0,33	2,98±0,16	2,74±0,16
ac/ik	14,05±1,16	13,97±0,66	14,22±0,87	12,20±0,72	13,59±0,96	12,42±0,61	13,22±1,05
ac/uz	4,20±0,31	3,75±0,14	3,60±0,20	3,65±0,39	3,90±0,15	3,79±0,24	3,78±0,24
ao/np	2,69±0,46	5,03±0,36	3,94±0,16	4,44±0,49	4,39±0,32	4,17±0,34	3,91±0,25
ao/ik	1,89±0,38	3,12±0,19	2,82±0,30	2,07±0,23	2,85±0,30	2,39±0,27	2,42±0,26
ao/an	2,77±0,55	4,92±0,43	4,91±0,70	5,04±0,74	4,75±0,56	4,90±0,77	4,77±0,55
az/aq	1,06±0,04	1,04±0,04	1,20±0,06	1,08±0,07	1,07±0,04	1,11±0,06	1,15±0,06
uz/zy	1,00±0,11	1,15±0,08	1,16±0,12	1,06±0,16	1,10±0,09	1,04±0,11	1,11±0,10
uz/ik	3,36±0,38	3,73±0,21	3,96±0,32	3,38±0,41	3,49±0,27	3,29±0,25	3,51±0,35

Примечание: ab – длина всей рыбы; ac- длина по Смитту; ad – длина без С; an – длина рыла; ao – длина головы; aq – антедорсальное расстояние; ay – антеанальное расстояние; az – антевентральное расстояние; ej – наибольшая высота А; fd – длина хвостового стебля; ik – наименьшая высота тела; lm – высота головы у затылка; np – горизонтальный диаметр глаза; od – длина туловища; qh – наибольшая высота тела; rd – постдорсальное расстояние; tu – наибольшая высота D; vx – длина P; zz1 – длина V; vz – расстояние между P и V; zy – расстояние между V и A. Указано среднее значение (M) и стандартное отклонение (SD).

Таблица 6. Различия между гибридами и родительскими видами по индексам морфологических признаков
Table 6. Differences between hybrids and parental species by indices of morphological traits

Признак	PEL/MUK	PEL/PLM	MUK/PLM	PEL/NEL	PEL/PLN	NEL/PLN	PEL/CHI	PEL/PLC	CH/PLC
ac/aq	+		+	+	+	+		+	+
ac/ay	+	+		+	+	+	+	+	
ac/rd		+	+	+	+	+			+
ac/fd		+		+		+	+		
ac/ao	+	+		+	+	+	+	+	+
ac/an	+	+		+		+	+	+	+
ac/qh			+			+	+		+
ac/ik	+		+				+	+	+
ac/uz	+	+	+	+	+	+	+	+	
ao/np	+		+	+	+	+		+	+
ao/ik	+	+	+	+	+	+		+	+
az/aq	+	+	+			+		+	+
uz/ik	+		+	+		+			

Примечание: Обозначения те же, что и в табл. 5; zz1 – длина V; + – различия статистически значимы (p > 0,01).

Таблица 7. Различия между гибридными формами по индексам морфологических признаков
Table 7. Differences between hybrids by indices of morphological traits

Гибриды	Признак						
	ас/ао	ас/лм	ас/нр	ас/ап	ао/нр	ао/ап	qh/ас
PLN/PLC	+	+	+	+	+	+	+
PLN/PLM	+	+		+	+		+
PLM/PLC		+	+	+	+	+	+

Примечание: Обозначения те же, что и в табл. 5; + – различия статистически значимы ($p < 0,01$).

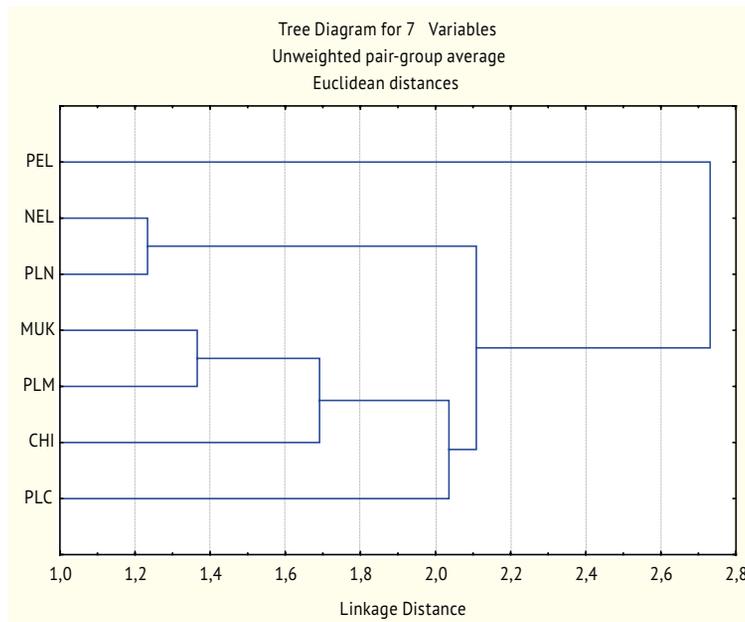


Рис. 5. Дендограмма сходства гибридных форм сиговых рыб и родительских видов: PEL – пелядь; NEL – нельма; PLN – пелнелм; МК – муксун; PLM – пелмук; CH – чир; PLC – пелчир

Fig. 5. Dendrogram of the similarity of hybrid whitefish forms and parental species: PEL – peled; NEL – nelma; PLN – pelnelm; MK – muksun; PLM – pelmuk; CH – chir; PLC – pelchir

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сравнительное исследование процесса инкубации икры, роста и выживаемости трёх гибридных форм и родительских видов сиговых рыб первого года выращивания в условиях садковой аквакультуры показали, что:

1. Икра гибридов имеет более высокую выживаемость по сравнению с отцовскими видами (муксун, чир, нельма), имея значения близкие или ниже, чем у материнской пеляди.² Среди гибридных форм наиболее низкую выживаемость имеет икра пелчира.

2. Гибридные формы занимают промежуточное положение по темпу роста по сравнению с родительскими видами.

3. У всех трёх гибридных форм в процессе выращивания проявляется эффект гетерозиса в отношении выживаемости. По этому признаку особенно заметно превосходство сеголеток пелчира и пелнелма над отцовскими видами (чир и нельма), отличавшимися высокой смертностью. Учитывая повышенный температурный режим в летний период можно предположить, что термоустойчивость гибридов больше, чем у родительских форм.

4. По показателям роста и выживаемости пелчир показывает лучшие результаты среди гибридов.

5. В зимний период сеголетки всех видов и форм теряют массу тела, сохраняя линейный рост.

6. По экстерьерным признакам среди гибридов выделяется пелнелм, гибриды пелчир и пелмук более сходны между собой. Пелядь по совокупности пластических признаков наиболее отлична от других видов

² Пелядь домашнего маточного стада ООО «Форват» отличается повышенным качеством икры [Богданова, Стрельцина, 2013].

и гибридов, участвующих в эксперименте. Все гибридные формы имеют большее сходство с отцовскими видами.

Благодарности

Авторы выражают глубокую благодарность Д.Л. Лайусу за консультацию и помощь в обработке морфологического материала.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Соблюдение этических норм

Все применимые этические нормы соблюдены.

Финансирование

Работа выполнена в рамках Государственного задания № 076–00002–21–00.

ЛИТЕРАТУРА

- Бабий А.А. 1985. Использование гибрида пеляди с сигом в качестве объекта поликультуры в озёрном рыбодоводстве // Результаты и перспективы рыбоводно-акклиматизонных работ в Карелии / Горбунова З.А. ред. Мурманск: ПИНРО. С. 35–43.
- Бабий А.А. 1987. Морфо-биологические особенности гибрида пелядь × сиг как объекта поликультуры озёрного товарного рыбоводства. Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. М.: ВНИИПРХ, 24 с.
- Бабий А.А., Стерлигов А.В. 1984. Вселение гибрида повышает рыбопродуктивность // Рыбоводство и рыболовство. № 8. С. 8.
- Балашев Р.И., Головков Г.А. 1976. Перспективное значение реципрокных гибридов пеляди и чира в озёрном хозяйстве // Известия ГосНИОРХ. Вып. 118. С. 52–58.
- Белоусов И.Ю. 1989. О созревании и овуляции ооцитов у самок чира в условиях Северо-Запада РСФСР // Сборник научных трудов ГосНИОРХ. Вып. 292. С. 122–129.
- Богданова В.А., Стрельцина Т.М. 2013. Оценка производителей индустриальных стад сиговых рыб по потомству // Биология, биотехника разведения и состояние запасов сиговых рыб. Мат. межд. конф. Тюмень: Госрыбцентр, С. 21–26.
- Бочкарев Н.А., Зуйкова Е.И., Политов Д.В. 2013. Дополнительные возможности сбора и регистрации морфологических данных у рыб // Биология, биотехника разведения и состояние запасов сиговых рыб. Мат. межд. конф. Тюмень: Госрыбцентр, С. 32–36.
- Волошенко Б.Б. 1972. О гибридизации пеляди с чиром // Рыбное хозяйство. № 11. С. 17–19.
- Волошенко Б.Б. 1973. Сравнительный анализ питания пеляди *Coregonus peled* (Gmelin), чира *Coregonus nasus* (Pal.) и их реципрокных гибридов при совместном выращивании // Вопросы ихтиологии. Т. 13. Вып. 4 (81). С. 684–691.
- Волошенко Б.Б. 1976. Биологические особенности и рыбохозяйственное значение реципрокных гибридов пеляди и чира // Известия ГосНИОРХ. Вып. 94. С. 153–169.
- Волошенко Б.Б. 1983. Естественные и искусственные гибриды сиговых рыб и результаты их использования в товарном рыбоводстве // Сборник научных трудов ГосНИОРХ. Вып. 195. С. 4–18.
- Волошенко Б.Б., Беляускас Я.П. 1975. О пищевой ценности реципрокных гибридов пеляди с чиром // Известия ГосНИОРХ. Вып. 104. С. 65–70.
- Волошенко Б.Б., Тесля А.Я. 1979. О результатах скрещивания пеляди с муксуном // Современное состояние и перспективы использования новых видов рыб в рыбоводстве. Тез. докл. конф. Л.: ГосНИОРХ. С. 51–53.
- Волошенко Б.Б., Тесля А.Я., Головкова Г.А., Яковлев А.С. 1981. Некоторые данные о результатах скрещивания сиговых с кубенской нельмой // Тез. Докл. 2-го Всес. совещания по биологии и биотехнике разведения сиговых рыб. Петрозаводск. С. 165–168.
- Головков Г.А., Кузьмин А.Н., Волошенко Б.Б., Дьякова Г.И. 1977. Пелядь и её гибридные формы с чиром как добавочные рыбы в прудовом хозяйстве // Рыбное хозяйство. № 6. С. 15–20.
- Игнатъев В.А., Коломин Ю.М. 1978. Морфология гибрида чира (*Coregonus nasus* P.) с сигом-пыжьяном (*Coregonus lavaretus pidschian*) в низовьях р. Надыма // Вопросы биологии. Томск: изд-во Томского университета. С. 60–63.
- Коровина В.М., Головков Г.А., Лебедева Л.И., Природина В.П. 1972. Морфологические особенности реципрокных гибридов чир × пелядь (*Coregonus nasus* (Pallas) × *C. peled* (Gmelin)). Сообщение 1 // Вопросы ихтиологии Т. 12. Вып. 3. С. 490–503.
- Кузьмин А.Н. 1969. Развитие воспроизводительной системы у самок чира (*Coregonus nasus* (Pal.)), выращиваемых в прудах и озёрах Северо-Запада СССР // Вопросы ихтиологии. Т. 9. Вып. 2. С. 260–269.
- Леманова Н.А. 1955. Анализ стерильности у самцов гибрида лудога (*Coregonus lavaretus ludoga* Pol.) × рипус (*Coregonus albula infraspecies ladogensis* Pravdin) // Докл. АН СССР. Т. 105. № 1. С. 160–162.
- Леманова Н.А. 1960. Сравнительный и экспериментальный анализ гибридов рода *Coregonus* (рипус × лудога и лудога × рипус) // Отдалённая гибридизация растений и животных. М.: АН СССР. С. 511–519.
- Мостовская В.А. 1990. Особенности полового созревания у гибридов пелядь × чир // Биологические Науки. № 8 (320). С. 123–131.
- Мелехин А.В., Бочкарев Н.А., Кашулин Н.А., Зубкова Е.М., Терентьев П.М. 2021. Фотодокументация морфологических данных у рыб // Вестник КНЦ РАН. № 1. Вып. 13. С. 30–36.
- Нестеренко Н.В. 1957. Опыт гибридизации уральского рипуса с чудским сигом в прудовых условиях // Известия ВНИОРХ. Т. 39. С. 41–59.
- Нестеренко Н.В. 1962. Особенности гибрида рипуса как производителя // Рыбное хозяйство. № 12. С. 28–31.
- Ниязов Н.С. 1983. Гибриды пыжьяна, чира и муксуна с пелядью и перспективы их использования в озёрных хо-

- зайствах Тюменской области // Сборник научных трудов ГосНИОРХ. Вып. 295. С. 64–71.
- Ниязов Н.С. 1992. Результаты выращивания гибридов пеляди и сига-пыжьяна в заморных озёрах Тюменской области // Сборник научных трудов ГосНИОРХ. Вып. 320. С. 70–79.
- Павлов А.Ф. 1978. Гибридизация сиговых рыб как один из резервов повышения продуктивности водоёмов // Продуктивность водоёмов разных климатических зон РСФСР и перспективы их рыбохозяйственного использования. Красноярск: СибРыбНИИПроект. С. 86–89.
- Правдин И.Ф. 1966. Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных) М.: Пищевая промышленность. 374 с.
- Bogdanova V.A. 2002. Ontogenesis of gonads in *Coregonus peled* (Gmelin) × *Coregonus nasus* (Pallas) hybrids // Arch. Hydrobiol. Spec. Issues Advanc. Limnol. 57. P. 243–252.
- Lajus, D.; Yurtseva, A.; Birch, G.; Booth, D. 2015. Fluctuating asymmetry as a pollution monitor: The Australian estuarine smooth toadfish *Tetractenos glaber* (Teleostei: Tetraodontidae) // Mar. Poll. Bull. V. 101. P. 758–767.
- farming // Sbornik nauchnih trudov GosNIORH. Iss. 195. P. 4–18. (In Russ.).
- Voloshenko B.B., Belyauskas Ya.P. 1975. [Nutritional value of reciprocal hybrids of peled with broad whitefish] // Izvestiya GosNIORH. Iss. 104. P. 65–70. (In Russ.).
- Voloshenko B.B., Teslya A. Ya. 1979. Results of crossing peled with muksun // The current state and prospects of using new fish species in fish farming. Tez. dokl. conf. Leningrad: GosNIORH. pp. 51–53. (In Russ.).
- Voloshenko B.B., Teslya A. Ya., Golovkova G.A., Yakovlev A.S. 1981. Some data on the results of crossing whitefish with the Kuben nelma // Tez. Dokl. 2nd All-Russia meetings on biology and biotechnics of whitefish breeding. Petrozavodsk. pp. 165–168. (In Russ.).
- Golovkov G.A., Kuzmin A.N., Voloshenko B.B., Dyakova G.I. 1977. Peled and its hybrid forms with whitefish as supplementary fish in pond farming // Rybnoe hozyaistvo. No. 6. P. 15–20. (In Russ.).
- Ignatev V.A., Kolomin Yu.M. 1978. Morphology of a hybrid of whitefish (*Coregonus nasus* P.) with whitefish (*Coregonus lavaretus pidschian*) in the lower reaches of the river Nadym // Voprosi biologii. Tomsk: Tomsk University Publish. P. 60–63. (In Russ.).
- Korovina V.M., Golovkov G.A., Lebedeva L.I., Prirodina V.P. 1972. Morphological features of reciprocal hybrids of broad whitefish × peled (*Coregonus nasus* (Pallas) × *C. peled* (Gmelin)). Message 1 // Voprosy Ichthyologii. V. 12. Iss. 3. P. 490–503. (In Russ.).
- Kuzmin A.N. 1969. Development of the reproductive system in female broad whitefish (*Coregonus nasus* (Pal.)), reared in ponds and lakes in the North-West of the USSR // Voprosy Ichthyologii. V. 9. Iss. 2. P. 260–269. (In Russ.).
- Lemanova N.A. 1955. Analysis of sterility in males of the hybrid ludoga (*Coregonus lavaretus ludoga* Pol.) × ripus (*Coregonus albus infraspecies ladogensis* Pravdin) // Dokl. AN SSSR. V. 105. № 1. P. 160–162. (In Russ.).
- Lemanova N.A. 1960. [Comparative and experimental analysis of hybrids of the genus *Coregonus* (ripus × ludoga and ludoga × ripus)] // Distant hybridization of plants and animals. Moscow: AN SSSR. pp. 511–519. (In Russ.).
- Mostovskaya V.A. 1990. Peculiarities of fertility in peled × broad whitefish hybrids // Biologicheskie Nauki. No. 8 (320). P. 123–131. (In Russ.).
- Melehin A.V., Bochkarev N.A., Kashulin N.A., Zubkova E.M., Terentev P.M. 2021. Photodocumentation of morphological data in fish // Vestnik KNC RAN. No. 1. Iss. 13. P. 30–36. (In Russ.).
- Nesterenko N.V. 1957. Experience of hybridization of the Ural ripus with Chud whitefish in pond conditions // Izvestiya VNIORH. V. 39. P. 41–59. (In Russ.).
- Nesterenko N.V. 1962. Peculiarities of ripus hybrid as a spawner // Rybnoe hozyaistvo. № 12. P. 28–31. (In Russ.).
- Niyazov N.S. 1983. Results of growing hybrids of peled and whitefish in the seawater lakes of the Tyumen region // Sbornik nauchnih trudov GosNIORH. Iss. 295. P. 64–71. (In Russ.).
- Niyazov N.S. 1992. Results of growing hybrids of peled and whitefish in the seawater lakes of the Tyumen region //

REFERENCES

Babii A.A. 1985. Use of a hybrid of peled and whitefish as an object of polyculture in lake fish farming // Results and prospects of fish-breeding and acclimatization work in Karelia / Gorbunova Z.A. ed. Murmansk: PINRO Publish. P. 35–43. (In Russ.).

Babii A.A. 1987. Morpho-biological features of the hybrid peled × whitefish as an object of polyculture of lake commercial fish farming. PhD Abstr. in biology. Moscow: VNIIPRH. 24 p. (In Russ.).

Babii A.A., Sterligov A.V. 1984. The introduction of a hybrid increases fish productivity // Rybovodstvo i rybolovstvo. № 8. P. 8. (In Russ.).

Balashov R.I., Golovkov G.A. 1976. Perspective value of reciprocal hybrids of peled and whitefish in the lake economy // Izvestiya GosNIORH_ Iss. 118. P. 52–58. (In Russ.).

Belousov I. Yu. 1989. About maturation and ovulation of oocytes in broad whitefish female in the conditions of the North-West of the RSFSR // Sbornik nauchnih trudov GosNIORH. Iss. 292. P. 122–129. (In Russ.).

Bochkarev N.A., Zuikova E.I., Politov D.V. 2013. Additional opportunities for collecting and recording morphological data in fish // Biology, biotechnics of breeding and the state of stocks of whitefish. Mat. inter. conf. Tyumen: Gosrybtsentr, pp. 32–36. (In Russ.).

Voloshenko B.B. 1972. On the hybridization of peled with broad whitefish // Rybnoe hozyaistvo. № 11. P. 17–19. (In Russ.).

Voloshenko B.B. 1973. Comparative analysis of the nutrition of peled *Coregonus peled* (Gmelin), whitefish *Coregonus nasus* (Pal.) and their reciprocal hybrids in co-cultivation // Voprosy ihtologii. T. 13. Iss. 4 (81). P. 684–691. (In Russ.).

Voloshenko B.B. 1976. Biological features and fishery significance of reciprocal hybrids of peled and whitefish // Izvestiya GosNIORH. Iss. 94. P. 153–169. (In Russ.).

Voloshenko B.B. 1983. Natural and artificial hybrids of whitefish and the results of their use in commercial fish

- Sbornik nauchnih trudov GosNIORH. Iss. 320. P. 70–79. (In Russ.).
- Pavlov A.F.* 1978. Hybridization of whitefish as one of the reserves for increasing the productivity of water bodies // Productivity of reservoirs of different climatic zones of the RSFSR and prospects for their fishery use. Krasnoyarsk: SibRybNIIProekt. pp. 86–89. (In Russ.).
- Pravdin I.F.* 1966. Guide to the study of fish (mainly freshwater) Moscow: Pischevaya promishlennost. 374 p. (In Russ.).
- Bogdanova V.A.* 2002. Ontogenesis of gonads in *Coregonus peled* (Gmelin) x *Coregonus nasus* (Pallas) hybrids // Arch. hydrobiol. Spec. Issues Advance. Limnol. 57. P. 243–252.
- Lajus D., Yurtseva A., Birch G., Booth D.* 2015. Fluctuating asymmetry as a pollution monitor: The Australian estuarine smooth toadfish *Tetractenos glaber* (Teleostei: Tetraodontidae) // Mar. Poll. Bull., V. 101. P. 758–767.

Поступила в редакцию 31.05.2023 г.

Принята после рецензии 11.09.2023 г.