



10.35694/YARCX.2020.51.3.003

ИННОВАЦИОННАЯ БИОТЕХНОЛОГИЯ ИСКУССТВЕННОГО ВОСПРОИЗВОДСТВА ПОПУЛЯЦИЙ РЫБ

П.Е. Гарлов

д.б.н., ст.н.с., профессор кафедры водных биоресурсов
и аквакультуры

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный
аграрный университет», г. Пушкин, Санкт-Петербург

*Искусственное
воспроизводство рыб,
препарат гипофиза,
биотехника разведения
осетровых и лососевых*

*Artificial reproduction
of fish, pituitary gland
preparation, sturgeon
and salmon breeding
biotechnology*

Популяции таких особо ценных видов рыб, как лососевидные в Северо-Западном регионе (Балтийская популяция атлантического лосося, краснокнижный туводный Ладожский лосось, кумжа, паляя, волховский сиг) и осетровые в южных регионах страны в настоящее время перестали быть объектами промысла, и численность их сохраняется только благодаря искусственному заводскому воспроизводству [1; 2]. Заводское воспроизводство лососевых принципиально отличается от осетроводства тем, что заготовка половозрелых производителей лососей и сегов осуществляется непосредственно на местах естественного нереста путём их изъятия из естественного воспроизводства. Такая промысловая нагрузка на нерестилища является важной причиной прогрессивного снижения численности их популяций. По современной биотехнике выживаемость выпускаемых заводских годовиков лосося (массой до 26 г) в природе составляет всего 0,4% при необходимой норме 1,9%, а расчёты показывают, что необходимая эффективность воспроизводства может быть достигнута только выпуском крупной двухгодовалой молоди массой от 40 г и в количестве от 156 тыс. шт., что пока не достигнуто [3]. В целом, основными причинами резкого снижения численности популяций наиболее ценных видов рыб являются так называемый «нерегулируемый промысел», прекращение либо снижение масштабов естественного нереста в результате гидростроительства, промышленное загрязнение среды и, главное, недостаточная эффективность искусственного воспроизводства. Решение этой проблемы возможно только путём направленного взаимодействия рыбохозяйственной и природоохранной отраслей в виде усиления трёх основных направлений организационно-хозяйственных мероприятий: 1) искусственного заводского воспроизводства; 2) охраны среды обитания рыб от загрязнений и снижения ущерба от гидростроительства; 3) рыбоохраны, особенно охраны нерестилищ.

Основным путём повышения эффективности заводского воспроизводства является разработка новых современных методов биотехники повышения выживаемости, роста и масштабов выхода полноценного потомства для зарыбления водоёмов и индустриального рыбоводства. Этот путь и рассматривается в настоящей статье.

Целью исследования является повышение эффективности заводского воспроизводства популяций рыб путём совершенствования его биотехники.

Задачами является разработка новых методов биотехники основных этапов искусственно заводского воспроизводства, прежде всего управление размножением, ростом и выживаемостью рыб путём сочетания экологических и гормональных воздействий.

Материал и методы

Материал для исследований и разработки биотехники собирали на Невском лососевом рыбозаводе (ЛРЗ) и морском рыбозаводе садкового хозяйства в Финском (Выборгском) заливе Ленинградской области, на осетровых рыбозаводах (ОРЗ) нижней Волги и Дона. Разработку новых методов биотехники проводили на особо ценных видах осетровых: русском осетре *Acipenser gueldenstaedtii* (Brandt, 1833) и севрюге *Acipenser stellatus* (Pallas, 1771) и лососевых: атлантическом лососе *Salmo salar* (Linne, 1758) и радужной форели *Parasalmo mykiss* (= *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792), а также на широко доступном экспериментальном объекте – вобле *Rutilus rutilus caspicus* (Jakowlew, 1870). В лабораторных условиях опыты проведены на перспективных объектах аквакультуры: форели и африканском клариевом соме *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822).

Оценку результатов ихтиологических исследований и рыбозаводных производственных проверок новых биотехнических методов проводили по важнейшим морфометрическим, морфо-физиологическим, иммунофизиологическим и рыбозаводно-биологическим показателям, причём массу рыб определяли преимущественно объёмно-весовым методом.

Для гистоморфометрического исследования гипоталамо-гипофизарной нейросекреторной системы (ГНС) препараты были окрашены паральдегид-фуксином (ПАФ) по Гомори-Габу, докрашены азаном по Гейденгайну и изучены с помощью анализатора микроизображений «Ви-деотест».

Анализ новизны технических решений методов биотехники и способов воспроизводства популяций рыб проводили с помощью общепринятого в патентно-изобретательской работе метода сопоставительного формализованного анализа.

Статистическую обработку результатов проводили методами вариационной статистики и с помощью пакета программ Microsoft Excel.

Результаты и обсуждение

Исходно с целью стимуляции полового созревания производителей рыб мы в 1972 г. предложили использовать для инъекций гипоталамические рилизинг-гормоны, причём в виде экстрактов вентральной области («серого бугра») гипоталамуса мозга, ныне широко применяемые как синтетические аналоги люлиберина [3]. Практически, для стимуляции полового созревания производителей промысловых видов рыб с сохранением их высокого рыбозаводного качества разработан и доведён до промышленного использования в осетроводстве препарат изолированной передней доли гипофиза – ИПД (рис. 1а) [4; 5].

Для стимуляции полового созревания самцов рыб со значительной экономией исходного материала целого гипофиза был предложен и использован в производстве препарат изолированной задней доли гипофиза (ЗДГ) [6]. Производственные проверки эффективности его использования показали, что он так же, как и ИПД, вызывает доброкачественное созревание самцов (рис. 1б: колонки 4, 5). Было установлено, что наиболее рыбозаводно-эффективным соотношением применяемых доз препаратов является: ИПД – 25 мг/самку и ЗДГ – 5 мг/самца, т.к. оно соответствовало промышленному расходу препарата целого гипофиза (30 мг) только на 1 самку. Поскольку в осетроводстве в среднем затрачивалось 50 мг гипофизов на 1 пару производителей, использование этих препаратов снизило расход исходного биологического материала гипофизов на 35–40%. В целом, ИПД и ЗНГ как природные (комплексные, морфо-физиологически адекватные) компоненты собственного гипофиза рыб позволили безотходно повысить эффективность метода гипофизарных инъекций (степень рыбозаводного использования самок) в среднем на 15% (рис. 1б: 1–3). Производственными многолетними испытаниями была доказана наибольшая эффективность препарата ИПД (как активной гонадотропной основы гипофиза) по сравнению с глицеринизированным гипофизарным препаратом, сурфагоном и рядом дру-

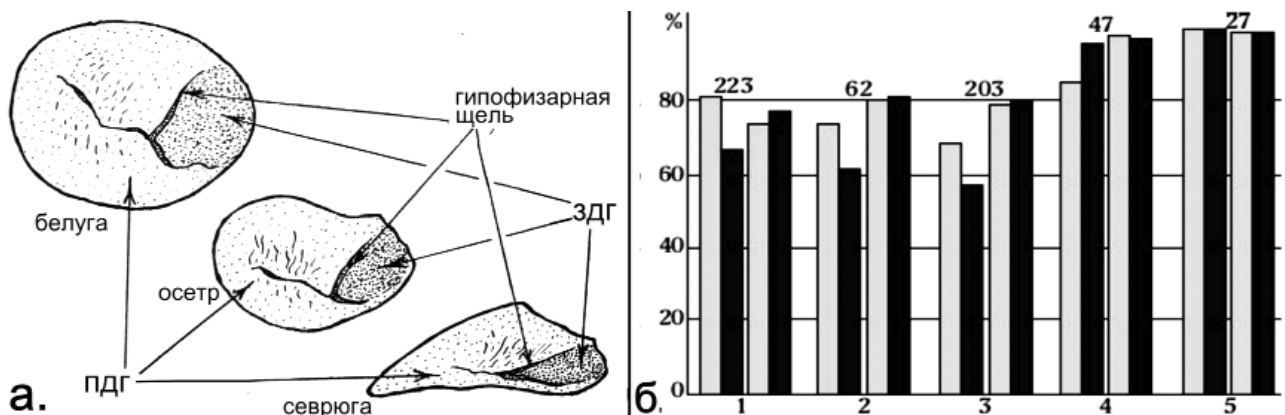


Рисунок 1 – а. Схема строения гипофиза осетровых на медиальном разрезе.

Обозначения: ПДГ – передняя доля гипофиза, ЗДГ – задняя доля гипофиза;

б. Результаты испытаний препаратов ИПД, ЗНГ и целого гипофиза. Серии опытов [по: 4–6]:

1. Сравнение эффективности ИПД и гипофиза на самках «яровой формы» осетра весеннего хода (левая пара колонок – степени рыбоводного использования самок: ИПД (светлые колонки) – гипофиз (чёрные), правая пара колонок: проценты выклева предличиннок); 2. То же на самках «озимой формы» осетра осеннего хода; 3. То же на самках «яровой формы» севрюги раннего весеннего хода; 4. Сравнительные результаты проверки эффективности применения препаратов целого гипофиза и изолированной ЗНГ для созревания самцов севрюги (степень рыбоводного использования – левая пара колонок, относительная активность спермиев – правая пара колонок); 5. Аналогичные результаты, полученные на самцах карпа.

Цифры над колонками – количество созревших рыб.

гих синтетических суперактивных аналогов люлиберина [3; 5; 7].

С целью задержки полового созревания, предотвращения резорбции половых продуктов и длительного сохранения рыбоводного качества производителей рыб мы предложили и разработали метод их длительной резервации в среде «критической» (4–8‰) солёности при нерестовых температурах [8]. Эта среда, пороговая для созревания гамет пресноводных и морских организмов (как пределы их физиологической устойчивости), в целом определяет взаимоотношения организма с внешней средой в виде целого ряда их важнейших границ, порогов и градиентов [3; 9; 10]. В этой среде установлены впервые наивысшие: выживаемость, задержка созревания и сроки наступления процесса резорбции у самок севрюги и производителей воблы, причём при верхних нерестовых температурах 17,4–25,8° С и содержании кислорода 5,2–7,5 мг/л. Этот эффект критической солёности впервые установлен не только в морской среде, но и в растворах пищевой промышленной поваренной соли, что особенно перспективно для использования в установках замкнутого водоснабжения (УЗВ) (рис. 2). В этих опытах наблюдалась гибель всех особей воблы в контроле – речной воде и в растворе поваренной соли 3‰ при тотальной резорбции

половых продуктов через 35 и 38 суток (рис. 2а). Гибель самок анадромной севрюги наблюдалась только в контроле и составила 20% при массовой резорбции ооцитов у большинства рыб (рис. 2б).

Производственные проверки этого метода на осетровых рыбоводных заводах нижней Волги и Волжском экспериментальном рыбоводном заводе КаспНИРХ доказали возможность получения доброкачественного потомства от производителей, резервированных в течение производственно необходимых сроков (рис. 2б). В итоге было установлено, что растворы критической солёности морской воды и даже поваренной соли (5‰) являются оптимальной средой для содержания ремонтно-маточных стад (РМС) промысловых видов рыб [3; 8].

Для анализа ведущих механизмов влияния критической солёности на организм и с целью выяснения видовых потенций размножения, развития, роста и выживаемости начато изучение важнейших физиолого-биохимических показателей у рыб в контроле и опыте (табл. 1).

В результате показано, что в среде критической солёности максимальны: содержание гемоглобина в сыворотке крови, как и осмолярность (степень удержания солей) здесь и в полостной жидкости, что указывает на оптимальный водно-солевой баланс организма.

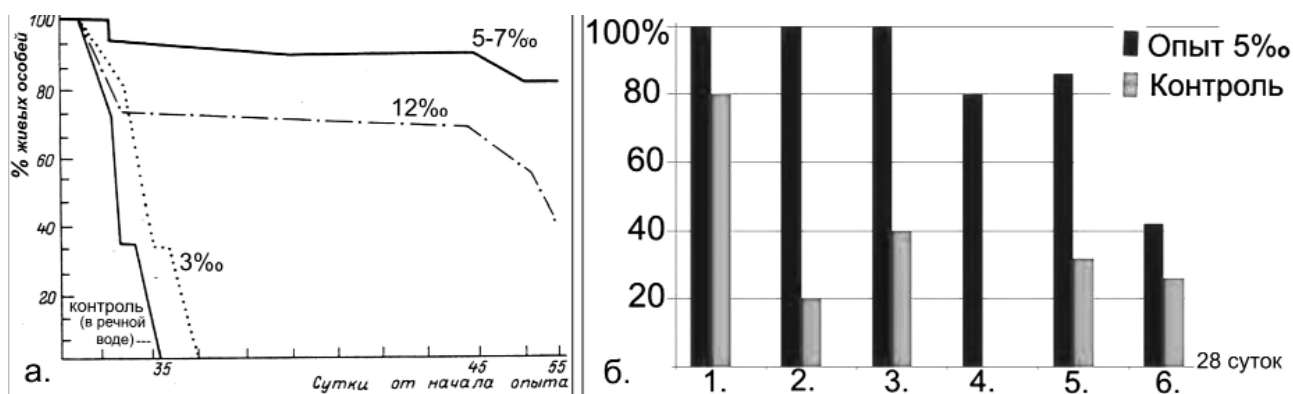


Рисунок 2 – Выживаемость и степень рыбоводного использования производителей рыб в растворах поваренной соли и контроле [по: 8]: а. Выживаемость производителей воблы; б. Рыбоводно-биологическая характеристика самок севрюги в опыте и контроле. Обозначения: 1. Степень выживаемости; 2. Степень сохранения рыбоводного качества (% самок в состоянии физиологической нормы); 3. Степень (%) созреваемости; 4. Степень их рыбоводного использования (% самок с оплодотворением икры выше 50%); 5. Качество (%) оплодотворения икры; 6. Процент выклева личинок.

Проведён также гистофизиологический анализ состояния ГНС, которая ответственна за регуляцию осмотического равновесия организма (водно-минерального обмена), функции интерренальной ткани и щитовидной железы (ответственных за углеводный и общий обмен), и которая является прямым индикатором степени выраженности стресса организма [3]. У тех же самок севрюги в среде критической солёности установлена активация ГНС (активное выведение нона-

пептидных нейрогормонов из нейрогипофиза в общий кровоток) на 15-е сутки резервирования с последующим снижением активности до исходного уровня (рис. 3б).

Двухфазная динамика изменений функциональной активности ГНС и конечное снижение степени её активности до исходного уровня свидетельствуют об умеренно стрессорном воздействии среды критической солёности на организм – его биостимулирующем состоянии

Таблица 1 – Важнейшие физиолого-биохимические характеристики состояния производителей севрюги и воблы в контроле и опыте

NaCl, ‰ Солёность среды	Длительность содержания (сутки)	Вобла (50 обоёго пола производителей)		Севрюга (10♀)		
		Содержание (г – %)		Осмолярность: средняя, мосМ/л (солёность, ‰)		
		гемоглобина	общего белка	сыворотки крови	полостной жидкости	мочи
Контроль: речная вода						
0	11	$\frac{5,6 - 7,0}{6,7}$	$\frac{1,51 - 2,11}{1,75}$	-	-	-
	28			153,0 (5,8‰)	171,0 (6,6‰)	155,0 (5,9‰)
Опыт NaCl						
3	15	$\frac{5,7 - 7,9}{6,6}$	$\frac{1,51 - 2,28}{1,93}$	-	-	-
	28			164,4 (6,2‰)	196,0 (7,7‰)	122,0 (4,5‰)
5	45	$\frac{7,0 - 12,9}{9,0}$	$\frac{2,18 - 2,61}{2,32}$	-	-	-
	45	$\frac{4,9 - 7,9}{6,3}$	$\frac{2,36 - 3,12}{2,84}$	-	-	-



Рисунок 3 – а. Схема строения ГГНС осетровых рыб: Преоптическое ядро – центр синтеза и транспорта нейрого르몬ов в нейрогипофиз – дистальный отдел их выведения в общий кровоток; б. Функциональная активность ГГНС у самок севрюги, резервированных в растворе NaCl 5‰ и в контроле – речной воде.

эустресса. При этом оптимальные для организма уровни осмолярности и содержания гемоглобина (табл. 1) указывают на важное значение умеренных количеств нонапептидных нейрого르몬ов ГГНС, выделяемых при этом в кровоток и стимулирующих функции желёз-мишеней. Таким образом, среда критической солёности, обеспечивающая оптимальный энергосберегающий осмотический градиент между внутренней и внешней средами, оказывает биостимулирующий эффект влияния на организм, который осуществляется путём умеренной активации ГГНС желёз-мишеней. Причём длительную задержку процессов овуляции и резорбции обеспечивает повышенное содержание нонапептидных нейрого르몬ов в крови, которые оказывают сильный антигонадотропный эффект [3; 5]. Об этом свидетельствует и чёткая связь рыболоводно-биологических показателей с морфофизиологическими (рис. 2, 3; табл. 1).

В итоге этот впервые установленный биостимулирующий эффект солоноватой среды на организм позволил разработать общую биотехнологию управления размножением промысловых рыб с разной сезонностью нереста как основу способов воспроизводства их природных популяций [11].

Для сохранения численности природных популяций исходно был разработан «Способ воспроизводства популяции рыб», принципиальной основой которого является биотехника разведения в естественных соотношениях всех биологических частей популяционной структуры (субпопуляций, биологических рас, экоформ и пр.) в едином заводском рыболоводно-производ-

ственном цикле. Его биотехнологической основой является синхронизация сроков получения гетерогенного потомства в едином нерестовом рыболоводном сезоне, которая реализуется путём разнонаправленного воздействия физиологически адекватного комплекса экологических факторов сигнального и филогенетического значения. Конкретные методы биотехники воспроизводства разработаны нами на принципах физиологически адекватных экологических и гормональных комплексных воздействий, причём либо непосредственно на гипоталамические центры интеграции управляемых функций, либо путём моделирования их эффектов [3].

Резервирование производителей осуществляют в среде «критической» солёности, универсальной для разных видов рыб, но в преднерестовых видоспецифических пороговых условиях – экологических факторах сигнального значения (температуры и освещённости), соответствующих различным сезонам и экологическим видовым особенностям нереста. А последующую стимуляцию полового созревания производителей, получение потомства и выращивание молоди осуществляют плавным переводом в комплекс оптимальных экологических условий и путём адекватных физиологических воздействий (рис. 4а).

Напомним, что основными недостатками биотехники заводского воспроизводства лососей и сигов являются низкая в природе выживаемость и численность выпускаемой заводской молоди (массой до 26 г), а также заводской промысел на нерестилищах производителей, как основной ущерб естественному нересту. В основе нового

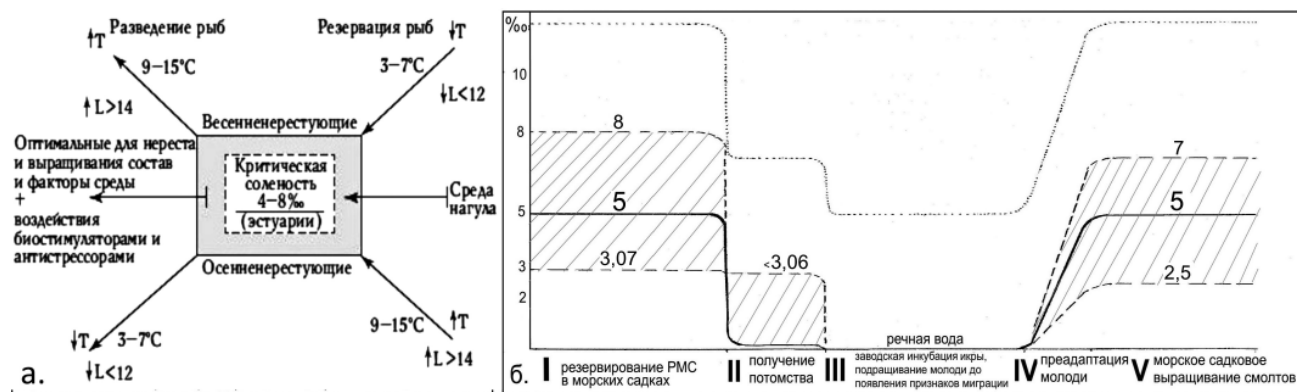


Рисунок 4 – Принципы управления биотехникой воспроизводства популяций рыб: а. Схема управления воспроизводством промысловых ... рыб разного сезона нереста триадой ведущих экологических факторов: сигнального (T° , L) и филогенетического ($\%$) значения (ведущий механизм миграций рыб эколого-физиологического значения); б. Схема биотехнологии нового метода заводского воспроизводства популяций рыб на общей основе изменения режимов солёности среды на всех этапах биотехники. Обозначения: сплошная широкая кривая – рыбоводно-оптимальный режим солёности, прерывистая кривая – заявленные допустимые режимы солёности (заштрихованный сектор – их диапазон), точечная кривая – верхнее ожидаемое значение.

метода заводского воспроизводства впервые заложено использование систем видовых адаптаций филогенетического значения, которые способны обеспечить наибольшую продуктивность рыб в виде максимального проявления потенций размножения, развития, роста и выживаемости в период морского нагула [3; 11; 12]. Метод осуществляют в виде массовой заготовки производителей в море на рыбопромысловых участках, затем формирования, садкового содержания и эксплуатации РМС в солоноватой морской воде, где получают потомство и уже оплодотворённую икру доставляют на рыбоводные заводы (рис. 4б). После заводской инкубации икры (в реке) и выращивания молоди до признаков готовности к миграции (например смолтификации у лососевых, либо готовности к пелагическому скату крупной молоди осетровых), заводскую молодь, например лосося, дорастивают в морских садках до массы свыше 40 г, обеспечивающей необходимую норму выживаемости – не менее 2%. Сравнительные результаты производственных испытаний новой биотехники воспроизводства лосося в морских садках и применяемой на базовом Невском лососевом рыбоводном заводе (как общий пример) приведены в сводной таблице 2.

Установлено, что по рабочей плодовитости, размерно-весовым характеристикам, коэффициенту упитанности заготовленные на нерестилищах «заводские» самки превышают значительно «морских» с нагульных пастбищ (табл. 2А). Очевидно, что они представляют группу лидеров,

которые выдержали жесточайший длительный естественный миграционный отбор и генетически наиболее перспективны. Их изъятие из естественного нереста является нарушением природного селекционно-генетического равновесия и это требует принятия адекватных компенсационных мер – выпуска, как минимум, всех самок (лошалых, не имеющих товарной ценности) после рыбоводного использования обратно на нерестилища, что в мировой рыбоводной практике общепринято [3; 13]. Однако, исключая такой природный ущерб, новый метод уже на первом этапе системы воспроизводства вносит радикальное природоохранное изменение – исключение речного промысла (по сути браконьерства), которое затрагивает, например, интересы ЛРЗ (рис. 4б). Поэтому как основной механизм обратной связи, компенсаторный в этой системе улучшенного природопользования, мы предложили обеспечить с рыбоводных хозяйств дешёвой товарной рыбой ЛРЗ и впервые применить здесь инновации в области развивающейся рекреационной аквакультуры с использованием экологически чистых водных акваторий [Патент на изобретение кафедры водных биоресурсов СПбГАУ № 2707909].

Сравнение массы выращенной молоди показывает многократное усиление её роста в солоноватой воде, особенно значительное с годовалого возраста (в 5–7 раз) при прочих равных условиях – температуры, кормления и др. (табл. 2Б). Процесс смолтификации молоди имеет массовый

Таблица 2 – Сравнительная рыбоводно-биологическая характеристика производителей и молоди лосося в морских садках Выборгского залива и на Невском ЛРЗ

Показатели (средние величины)	А. Морфометрические показатели производителей (среднегодовые величины)					
	Общие характеристики		из них самок		из них самцов	
	Морские садки	Невский ЛРЗ	Морские садки	Невский ЛРЗ	Морские садки	Невский ЛРЗ
Количество отсаженных особей	82	163	44	88	32	75
Средняя масса (кг, пределы)	4,17±0,07 (1,5–5,7)	5,0±0,12 (0,9–10,6)	3,6±0,05 (3,1–5,1)	6,3±0,13 (3,2–10,6)	4,4±0,12 (1,5–5,7)	2,1±0,14 (0,9–8,6)
Длина тела до хвостового стебля (см, пределы)	71,6±0,28 (62,5–78,1)	74,9±0,71 (45–100)	74,3±0,25 (68,0–78,1)	82±0,53 (70–100)	63,2±0,04 (62,5–64,0)	66,1±0,9 (45–92)
Сигма по массе (σ)	0,7	1,616	0,333	1,233	0,7	1,283
Сигма по длине (σ)	2,6	9,166	1,683	5	0,25	7,833
Коэффициент упитанности по Фультону – Q (пределы)	1,02 (0,6–1,4)	1,2 (0,8–3,02)	1,09 (0,9–1,4)	2,6 (2,3–3,02)	0,77 (0,6–0,9)	1,20 (0,8–1,7)
Характеристика производителей по качеству созревания						
Степень рыбоводного использования (% созревания)	92	84	95	82	97	96
Рабочая плодовитость ♀ (тыс. шт.)	-	-	2,4±0,1	4,7±0,03	-	-
Показатели (средние величины)		Морские садки			Невский ЛРЗ	
Икра						
Заложено на инкубацию от 1 партии (тыс. шт.)		90–95			475,8	
Процент оплодотворения икры (%)		92,0			93,4	
Сперма						
Качество спермы (подвижность, баллы)		5			-	
Предличинки						
Процент выклева предличинок (от икры)		81,7			89,7	
Б. Показатели массы молоди различных возрастных групп на Невском ЛРЗ, в садках Выборгского залива и согласно нормативам (г)						
Возрастная группа	Невский ЛРЗ		Садки, Выборгский залив		Норма по Ленобласти	
Сеголетки 0+	11,3±1,84		15±1,07		5–7	
Годовики 1	26 (10–35)		160±7,35		9–18	
Двухлетки 1+	41,6		280,1±20,08		20–25	

синхронный характер только в солоноватой воде, и при её выращивании здесь практически исключается появление «речных» карликовых самцов, которые составляют значительный отход заводской продукции.

Таким образом, многолетними производственными испытаниями впервые были установлены важнейшие положительные рыбоводно-

биологические эффекты содержания, получения потомства и выращивания ценных видов промысловых рыб в солоноватой морской среде критической солёности:

- 1) наиболее высокая выживаемость (рис. 2),
- 2) длительное сохранение высоких рыбоводных качеств производителей и РМС в целом (рис. 2б),

3) возможность получения доброкачественного потомства (рис. 2 Б, табл. 2А),

4) акселерация развития и роста молоди (табл. 2Б). Сокращение на рыбоводных заводах числа выполняемых этапов их биотехники (почти наполовину) высвобождает дополнительные производственные мощности, что может повысить эффективность естественного воспроизводства в целом (рис. 4б). При этом новая комплексная биотехника основана на использовании адаптационных эффектов единой циклической системы «река-море» и впервые включает преимущества морского нагула (т.е. эффекта накопления материально-энергетических ресурсов) в заводские этапы эксплуатации РМС и усиленного выращивания молоди. Поэтому она способна повысить эффективность как заводского, так и естественного воспроизводства, даже товарного выращивания в аквакультуре, объединяя их продуктивность.

С целью дальнейшего повышения эффективности разрабатываемого метода, включая и круглогодичное рыбозаведение, нами начата разработка нового универсального способа содержания производителей, получения потомства и, главное, выращивания молоди рыб в искусственной модифицированной среде критической солёности 4–8‰ для применения в аквакультуре, особенно в континентальных УЗВ (заявка на изобретение «Способ содержания производителей и выращивания молоди рыб в искусственной биостимулирующей среде» № 2019106444/

10 (012451) от 06.03.2019, патент на изобретение кафедры водных биоресурсов СПбГАУ 2726107). Разрабатываемый способ заключается в резервировании производителей в растворе пищевой поваренной соли критической солёности, последующем получении потомства в оптимальных нерестовых условиях, либо с помощью гормональной стимуляции и дальнейшем выращивании молоди в растворе поваренной соли, близкой к изотонической среде. Особый интерес для дальнейших исследований представляет эффект доброкачественного созревания производителей в этой среде после гормональной стимуляции.

Экспериментальная проверка эффективности выращивания молоди в этой среде проведена на форели и клариевом соме, массового, либо перспективного вида для разведения в аквакультуре и, одновременно, удобных лабораторных объектов. Результаты показали усиление темпов роста молоди во всех вариантах опытов в растворах поваренной соли по сравнению с контролем в пресной воде при прочих равных условиях (рис. 5).

Следует подчеркнуть, что разработка этого способа, прежде всего, направлена на решение главной задачи заводского воспроизводства – акселерации выращивания в нормативные сроки более крупной (более 40 г) и жизнестойкой годовалой заводской молоди [3; 12].

Поскольку вся предложенная биотехника основана на полном управлении условиями среды, для её промышленного использования нами разработаны и предложены для круглого-

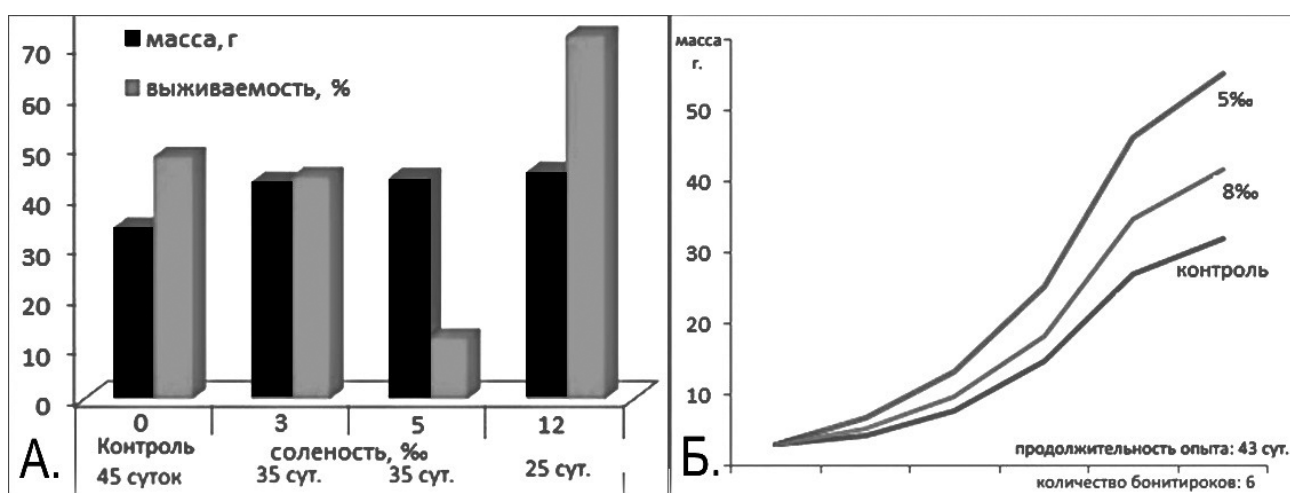


Рисунок 5 – Динамика роста и выживаемости молоди форели и клариевого сома в растворах поваренной соли различной концентрации: А. Результаты предварительного опыта по выращиванию сеголетков форели в растворах NaCl 3, 5, 12‰ и в контроле (по 25 шт. особей). Б. Результаты выращивания сеголетков клариевого сома в растворах NaCl 5, 8‰ и в контроле (по 150 шт. особей; выживаемость – 100% во всех вариантах опыта; по результатам 6 бонитировок).

дичного рыбоводства системы замкнутого водоснабжения рыбоводных заводов и рыбоводных хозяйств [14; 15]. По существу они являются крупномасштабными УЗВ, основанными на новом энергосберегающем принципе внесезонного подземного гидрокондиционирования полностью управляемой среды выращивания гидробионтов, а их эксплуатация основана на принципах инженерной экологии [3]. Функционируют они также на основе нового принципа управления биотехникой выращивания рыб триадой экологических факторов (см. рис. 4а) и поэтому принципиально отличаются от всех разработанных УЗВ, применение которых в аквакультуре в настоящее время особенно перспективно. Их сущность заключается в заполнении резервуаров водой и (дополнительном) водоснабжении ими наземных рыбоводных сооружений на рыбоводных заводах и хозяйствах системами заглубленных подземных, либо полуглубленных в грунт большого объема резервуаров-отстойников (рис. 6).

Системы состоят из подземных резервуаров (1, 2), заполняемых водой необходимой температуры (и состава) в соответствующие сезоны года и затем водоснабжающих внесезонно наземные рыбоводные ёмкости (5–7) по принципу УЗВ. Эта принципиально новая геотермостатированная система УЗВ впервые позволит разрешить согласованно ранее альтернативные проблемы очистки воды (потребности увеличения объёмов воды отстаивания) и энергозатрат на поддержание

необходимых температур (потребности уменьшения объёмов воды для терморегуляции и термостабилизации). Эксплуатация такой системы осуществляется путём заполнения в соответствующие сезоны года одного резервуара «холодной» водой (3–7°C), другого – «тёплой» (9–15°C) и водоснабжения ими наземных рыбоводных ёмкостей для круглогодичного воспроизводства рыб с разным сезоном нереста (рис. 4а). Дополнительно в процессе разработки систем предусматривались и ряд других возможных вариантов оптимизации управления средой выращивания рыб системами подземных (29) и внутренних (22) теплообменников с грунтовыми либо артезианскими водами (на рис. 6а: зоны Б, В), их смесителями (18, 19) и телескопическими водозаборниками для регуляции уровня забора отстойной чистой воды (рис. 6б: 12, 13). Как показывают технико-экономические расчёты, с увеличением объёма воды в резервуарах от 10 тыс.м³ и выше скорость (градиент) их теплопередачи в грунт уменьшается до 0,1°C/мес. и менее, а степень и скорость очистки воды (эффект оттаивания) прогрессивно возрастает [3]. При этом продуктивность системы возрастает, а её удельная себестоимость снижается пропорционально увеличению объёма воды в резервуарах при максимальной простоте конструкции и, поэтому, надёжности.

Результаты предварительных расчётов технико-экономических эксплуатационных показателей новой системы водоснабжения приведены в таблице 3.

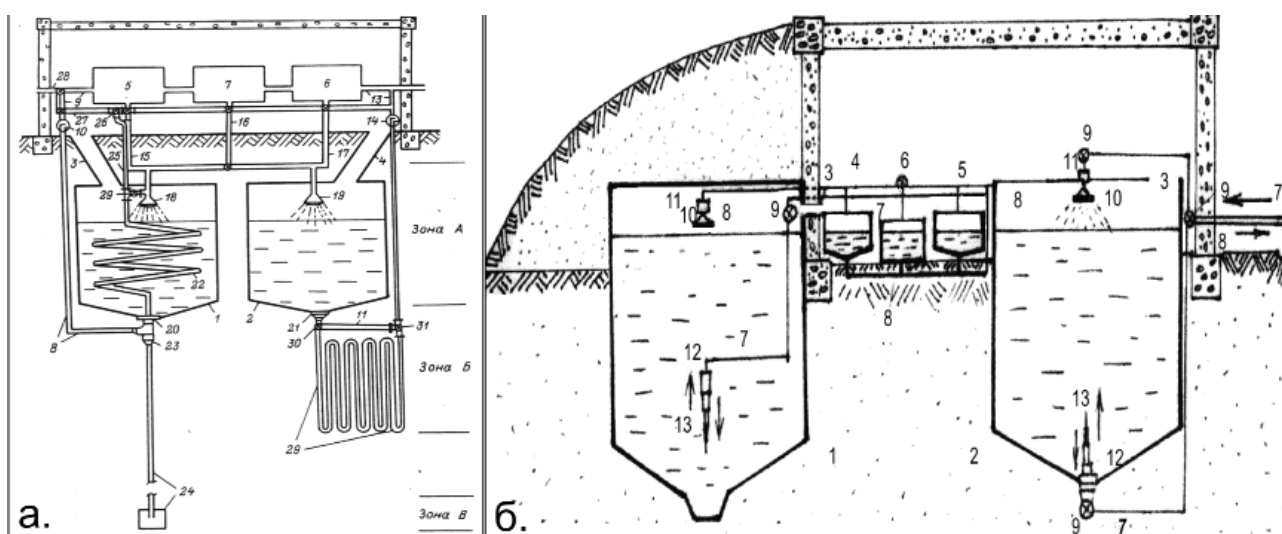


Рисунок 6 – Схемы систем внесезонного (круглогодичного) водоснабжения:
а – рыбоводных заводов [14]; б – рыбоводных хозяйств [15] комбинированного типа,
т.е. предназначенных для воспроизводства весенненерестующих и осенненерестующих видов рыб.

Таблица 3 – Некоторые технико-экономические показатели подземных резервуаров-отстойников

Сметные и расчётные показатели по строительству и эксплуатации подземных резервуаров-отстойников для рыбоводных заводов, 2007 г.		Технико-экономические показатели				Показатели водопотребления			Дополнительные показатели для расчётов
Стоимость железобетонных резервуаров, тыс. руб.	Объём резервуаров, м³	№ типового проекта (по СНИП УСН)	Тип рыбоводного завода (р/з), основные показатели на дату проектирования	Нормативы удельных затрат на единицу продукции (в руб. на 1 тыс. шт. молоди)	Дополнительная продукция (% увеличения на указанных этапах)	Водопользование резервуара, м³	Удельное водопотребление м³/ед. продукции, сметное расчётное по новой схеме	Минимальное снижение удельного водопотребления, %	
2,700	1000	4-18-850	Островый р/з (по проекту № 1577) Мощность: - 30 млн шт. сеголеток. Основные производственные фонды: - 11,9 млн руб. Водопотребление: - 33 млн м³/год. Энергозатраты: - 153,2 тыс. руб./год	1673	Увеличение выхода: 1) икры – 10–15; 2) личинок и молоди – 5–10. Общий объем продукции: 20–30 за счёт освоения и расширения минимум I и II циклов рыбоводных работ	$\frac{2000}{1,5}$ $\frac{6000}{4}$ $\frac{10000}{7}$	$\frac{1,1}{0,88}$	20	Расчёты сделаны без учёта дополнительных подземных теплообменников, включающих стоимость (на 1985 г.) артезианских скважин и водоснабжения прудов 10–12,5 тыс. руб. Градиент теплопередачи резервуара объёмом 10000 м³ 0,1–0,79°
3,500	2000	4-18-851	Лососевый р/з (по проекту № 1428) Мощность: - 0,5 млн шт. молоди в год. Основные производственные фонды: - 3,3 млн руб. Водопотребление: - 50 млн м³/год. Энергозатраты: - 71 тыс. руб./год	27,000	Увеличение выживаемости: 1) производителей – 15; 2) смолтов – 15–20. Общий объём продукции: 15–20 за счёт усиления роста и выживаемости годовиков	$\frac{2000}{1,3}$ $\frac{6000}{3,9}$ $\frac{10000}{6,4}$	$\frac{60}{40}$	33,4	
4,700	6000	4-18-853	Сиговый р/з-питомник (по проекту № 1316) Мощность: 1,5 млн шт. сеголеток. Основные производственные фонды: - 344,2 тыс. руб. Водопотребление: - 3,73 млн м³/год	5,092	Увеличение выхода: 1) икры при инкубации – 20; 2) личинок при выращивании – 5–10; 3) выход молоди за счёт оптимизации выклевка – 20–30	$\frac{2000}{1,7}$ $\frac{6000}{5,1}$ $\frac{10000}{8,5}$	$\frac{3,4}{2,83}$	17	

Заключение

Все вышеизложенные инновационные разработки, составляющие систему управления биотехникой воспроизводства, предлагается использовать для решения важной (в проблеме сохранения биоразнообразия природных ресурсов Северо-Западного региона) природоохранной задачи – спасения Ладожской популяции атлантического осетра [16–20]. Ранее эта туводная (озёрная) популяция имела промысловое значение, о чём свидетельствуют документы и результаты археологических раскопок на местах основных нерестилищ осетра на р. Волхов в районе пос. Старая Ладога [16–19]. По общему заключению специалистов необходимо как можно скорее создать осетроводное хозяйство для восстановления этой популяции в бассейне Ладожского озера, замкнутом отечественном водоёме, который оптимален для сохранения маточного стада осетровых рыб в нашем регионе. Именно из-за отсутствия здесь осетроводной базы, успешно начатые в 1955 г. профессором Н.Л. Гербильским акклиматизационные осетроводные мероприятия (Центральной лабораторией по воспроизводству рыбных запасов Главрыбвода МРХ СССР), были завершены только на этапе отработки биотехники выращивания молоди в 1982 г. [1; 3]. Тем более, что к настоящему времени за рубежом уже накоплен многолетний положительный опыт разработки биотехнологии, создания и достаточно эффективной работы специализированных осетроводных хозяйств и, например, Германия и Польша в своих регионах восстанавливают популяцию атлантического осетра (*Acipenser oxyrinchus* (Mitchill, 1815), успешно выращивая и выпуская его покатную молодь в свои реки [19; 20].

По мнению наших специалистов, надёжная разработка рыбоводно-биологических обоснований, биотехники воспроизводства и получение посадочного материала в этой области природопользования могут быть обеспечены у нас только направленным успешным взаимодействием отраслевых рыбохозяйственных и природоохранных ведомств и мероприятий [3; 16–19].

Выводы

1. С целью повышения эффективности искусственного воспроизводства популяций рыб разработаны новые способы управления их размножением, выживаемостью и ростом.

2. На основе биотехники управления размножением, выживаемостью и ростом рыб разработаны новые способы воспроизводства их популяций, охватывающие основные этапы заводской биотехники.

3. Для промышленного использования новой биотехнологии и круглогодичного рыборазведения в аквакультуре разработаны системы водоснабжения рыбоводных заводов и рыбоводных хозяйств, основанные на природно-промышленных принципах инженерной экологии.

Благодарности

Выражаю благодарность бывшим сотрудникам сектора эколого-гистофизиологических исследований КаспНИРХ и лично возглавлявшему его профессору Алтуфьеву Юрию Владимировичу, а также начальнику отдела рыбоводства Северо-Западного филиала ФГБУ «Главрыбвод» Бугримову Борису Сергеевичу за помощь во внедрении рыбохозяйственных разработок.

Литература

1. Баранникова, И.А. Значение работ центральной лаборатории по воспроизводству рыбных запасов для рыбного хозяйства России (1938-2014) [Текст] / И.А. Баранникова // Рыбное хозяйство. – 2015. – № 1. – С. 78–83.
2. Костюничев, В.В. Искусственное воспроизводство рыб на Северо-Западе России [Текст] / В.В. Костюничев, В.А. Богданова, А.К. Шумилина, И.Н. Остроумова // Труды ВНИРО. – 2015. – Т. 153. – С. 26–41.
3. Гарлов, П.Е. Механизмы нейроэндокринной регуляции размножения рыб и перспективы искусственного воспроизводства их популяций [Текст] / П.Е. Гарлов, Т.А. Нечаева, М.В. Мосягина. – СПб.: «Перспектив науки», 2018. – 335 с.
4. А.с. 719571 СССР, МПК А01К 61/00 Способ приготовления гормонального препарата для стимуляции полового созревания производителей рыб [Текст] / Гарлов П.Е., Поленов А.Л. (СССР). – 2415613/28-13; заявлено 26.10.76; опублик. 05.03.80, Бюл. 9. – С. 13–14.
5. Гарлов, П.Е. Результаты использования препарата изолированной передней доли гипофиза для стимуляции созревания самок русского осетра *Acipenser gueldenstaedti* и севрюги *Acipenser stellatus* [Текст] / П.Е. Гарлов, Ю.В. Алтуфьев, А.Л. Поленов, А.В. Дубовская // Вопросы ихтиологии. – 1987. – Т. 27. – Вып. 5. – С. 844–851.

6. А.с. 1163817 СССР, МПК А01К 61/00 Способ стимуляции полового созревания самцов рыб [Текст] / Гарлов П.Е., Поленов А.Л., Алтуфьев Ю.В., Попов О.П., Буренин О.К. – 3662512/28-13; заявлено 15.11.83; опубл. 30.06.85, Бюл. 24. – С. 5.
7. Любомирова, В.М. Сравнительная оценка гормональных индукторов искусственного нереста самок африканского клариевого сома [Текст] / В.М. Любомирова, Т.М. Шленкина, Л.Ю. Ракова, Ю.В. Фаткудинова // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. – № 1 (49). – С. 71–78.
8. А.с. 965409 СССР, МПК А01К 61/00 Способ резервации производителей рыб [Текст] / Гарлов П.Е., Поленов А.Л., Алтуфьев Ю.В., Деревягина Н.Г. (СССР). – 2549570/28-13; заявлено 05.12.77; опубл. 15.10.82, Бюл. 38. – С. 6.
9. Хлебович, В.В. Критическая соленость биологических процессов [Текст] / В.В. Хлебович. – Л.: Наука, 1974. – 235 с.
10. Хлебович, В.В. Критическая соленость – гомеостаз – устойчивое развитие [Текст] / В.В. Хлебович // Труды Зоологического института РАН. – № 3. – 2013. – С. 3–6.
11. А.с. 682197 СССР, МПК А01К 61/00 Способ воспроизводства популяции рыб [Текст] / Гарлов П.Е. (СССР). – 2493984/28-13; заявлено 02.06.77; опубл. 30.08.79, Бюл. 32. – С. 11.
12. Пат. 2582347 Российская Федерация, МПК А01К 61/00 Способ воспроизводства популяций севрюги и балтийского лосося [Текст] / Гарлов П.Е., Бугримов Б.С., Рыбалова Н.Б., Турецкий В.И., Торганов С.В.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО СПбГАУ. – 2014132322/13; заявл. 05.08.14; опубл. 27.04.16, Бюл. № 12.
13. Palmé, A. Compromising Baltic salmon genetic diversity – conservation genetic risks associated with compensatory releases of salmon in the Baltic Sea [Text] / A. Palmé, L. Wennerström, P. Guban et al. // Havs-och vattenmyndighetens rapport. – 2012. – 18. – 115 pp.
14. А.с. 982614 СССР, МПК А01К 61/00 Система водоснабжения рыбоводных заводов [Текст] / Гарлов П.Е. (СССР). – 3275514/28-13; заявлено 08.04.81; опубл. 23.12.82, Бюл. 47. – С. 6.
15. Пат. 2400975 Российская Федерация, МПК А01К 61/00 Система водоснабжения рыбоводных хозяйств [Текст] / Гарлов П.Е.; патентообладатель ФГНУ ГосНИОРХ. – № 2008117679/21; заявл. 04.05.08; опубл. 10.10.10, Бюл. № 28.
16. Кудерский, А.Л. Осетровые рыбы в бассейнах Онежского и Ладожского озер [Текст] / А.Л. Кудерский // Труды ГосНИОРХ. – 1983. – Вып. 205: Рыбы Онежского озера и их хозяйственное использование. – Л.: Промрыбвод. – С. 128–149.
17. Кудерский, А.Л. Промысел осетра в Ладожском озере: история и финал [Текст] / А.Л. Кудерский // Сборник научных трудов ГосНИОРХ. – 2011. – Вып. 339. – С. 113–116.
18. Garlov, P.E. Conserving sturgeon populations is a current natural protection and aquaculture issue [Text] / P.E. Garlov // In: "Actual status and active protection of sturgeon fish populations enlarged by extinction" (ed. Ryszard Kolman, Andrzej Kapusta). – Inst. Rybactwa Srodladowego, Olstyn. – 2008. – "Unia Europejska". – P. 55–58.
19. Kolman, R. History of the sturgeon in the Baltic sea and lake Ladoga / R. Kolman, A. Kapusta, Z. Morzuch // In: Biology and Conservation of the European Sturgeon *Acipenser sturio* L. 1758 / Ed. By P. Williot, E. Rochard, N. Desse-Berset, F. Kirschbaum, J. Gessner. – Springer, 2011. – P. 221–226.
20. Williot, P. The Frech-German cooperation: The key issue for the success of preservation and restoration of the European sturgeon, *Acipenser sturio* and its significance for other sturgeon issues [Text] / P. Williot, F. Kirschbaum // In: Biology and Conservation of the European Sturgeon *Acipenser sturio* L. 1758. (Ed. By P. Williot, E. Rochard, N. Desse-Berset, J. Gessner). – Springer, 2011. – P. 499–513.

References

1. Barannikova, I.A. Znachenie rabot central'noj laboratorii po vosproizvodstvu rybnyh zapasov dlja rybnogo hozjajstva Rossii (1938-2014) [Tekst] / I.A. Barannikova // Rybnoe hozjajstvo. – 2015. – № 1. – S. 78–83.
2. Kostyunichev, V.V. Iskusstvennoe vosproizvodstvo ryb na Severo-Zapade Rossii [Tekst] / V.V. Kostyunichev, V.A. Bogdanova, A.K. Shumilina, I.N. Ostroumova // Trudy VNIRO. – 2015. – T. 153. – S. 26–41.
3. Garlov, P.E. Mehanizmy nejroendokrinnoj reguljacji razmnozhenija ryb i perspektivy iskusstvennogo vosproizvodstva ih populjacij [Tekst] / P.E. Garlov, T.A. Nechaeva, M.V. Mosyagina. – SPb.: «Prospekt nauki», 2018. – 335 s.
4. А.с. 719571 SSSR, МПК А01К 61/00 Sposob prigotovlenija gormonal'nogo preparata dlja stimuljacji polovogo sozrevanija proizvoditelej ryb [Tekst] / Garlov P.E., Polenov A.L. (SSSR). – 2415613/28-13; zajavleno 26.10.76; opubl. 05.03.80, Bjul. 9. – S. 13–14.

5. Garlov, P.E. Rezul'taty ispol'zovanija preparata izolirovannoj perednej doli gipofiza dlja stimuljacii sozrevanija samok russkogo osetra *Acipenser gueldenstaedti* i sevrjugi *Acipenser stellatus* [Tekst] / P.E. Garlov, Yu.V. Altuf'ev, A.L. Polenov, A.V. Dubovskaya // *Voprosy ihtologii*. – 1987. – T. 27. – Vyp. 5. – S. 844–851.
6. A.s. 1163817 SSSR, MPK A01K 61/00 Sposob stimuljacii polovogo sozrevanija samcov ryb [Tekst] / Garlov P.E., Polenov A.L., Altuf'ev Yu.V., Popov O.P., Burenin O.K. – 3662512/28-13; zajavleno 15.11.83; opubl. 30.06.85, Bjul. 24. – S. 5.
7. Lyubomirova, V.M. Sravnitel'naja ocenka gormonal'nyh induktorov iskusstvennogo neresta samok afrikanskogo klarievogo soma [Tekst] / V.M. Lyubomirova, T.M. Shlenkina, L.Yu. Rakova, Yu.V. Fatkudinova // *Vestnik Ul'janovskoj gosudarstvennoj sel'skohozjajstvennoj akademii*. – 2020. – № 1 (49). – S. 71–78.
8. A.s. 965409 SSSR, MPK A01K 61/00 Sposob rezervacii proizvoditelej ryb [Tekst] / Garlov P.E., Polenov A.L., Altuf'ev Yu.V., Derevyagina N.G. (SSSR). – 2549570/28-13; zajavleno 05.12.77; opubl. 15.10.82, Bjul. 38. – S. 6.
9. Khlebovich, V.V. Kriticheskaja solenost' biologicheskikh processov [Tekst] / V.V. Khlebovich. – L.: Nauka, 1974. – 235 s.
10. Khlebovich, V.V. Kriticheskaja solenost' – gomeostaz – ustojchivoe razvitie [Tekst] / V.V. Khlebovich // *Trudy Zoologicheskogo instituta RAN*. – № 3. – 2013. – S. 3–6.
11. A.s. 682197 SSSR, MPK A01K 61/00 Sposob vosproizvodstva populjacii ryb soma [Tekst] / Garlov P.E. (SSSR). – 2493984/28-13; zajavleno 02.06.77; opubl. 30.08.79, Bjul. 32. – S. 11.
12. Pat. 2582347 Rossijskaja Federacija, MPK A01K 61/00 Sposob vosproizvodstva populjacij sevrjugi i baltijskogo lososja [Tekst] / Garlov P.E., Bugrimov B.S., Rybalova N.B., Turetskij V.I., Torganov S.V.; zajavitel' i patentoobladatel' FGBOU VPO SPbGAU. – 2014132322/13; zajavl. 05.08.14; opubl. 27.04.16, Bjul. № 12.
13. Palmé, A. Compromising Baltic salmon genetic diversity – conservation genetic risks associated with compensatory releases of salmon in the Baltic Sea [Text] / A. Palmé, L. Wennerström, P. Guban et al. // *Havs-och vattenmyndighetens rapport*. – 2012. – 18. – 115 pp.
14. A.s. 982614 SSSR, MPK A01K 61/00 Sistema vodosnabzhenija rybovodnyh zavodov [Tekst] / Garlov P.E. (SSSR). – 3275514/28-13; zajavleno 08.04.81; opubl. 23.12.82, Bjul. 47. – S. 6.
15. Pat. 2400975 Rossijskaja Federacija, MPK A01K 61/00 Sistema vodosnabzhenija rybovodnyh hozjajstv [Tekst] / Garlov P.E.; patentoobladatel' FGNU GosNIORH. – № 2008117679/21; zajavl. 04.05.08; opubl. 10.10.10, Bjul. № 28.
16. Kuderskij, A.L. Osetrovye ryby v bassejnah Onezhskogo i Ladozhskogo ozer [Tekst] / A.L. Kuderskij // *Trudy GosNIORH*. – 1983. – Vyp. 205: Ryby Onezhskogo ozera i ih hozjajstvennoe ispol'zovanie. – L.: Promrybvod. – S. 128–149.
17. Kuderskij, A.L. Promysel osetra v Ladozhskom ozere: istorija i final [Tekst] / A.L. Kuderskij // *Sbornik nauchnyh trudov GosNIORH*. – 2011. – Vyp. 339. – S. 113–116.
18. Garlov, P.E. Conserving sturgeon populations is a current natural protection and aquaculture issue [Text] / P.E. Garlov // In: "Actual status and active protection of sturgeon fish populations enlarged by extinction" (ed. Ryszard Kolman, Andrzej Kapusta). – Inst. Rybactwa Srodladowego, Olstyn. – 2008. – "Unia Europejska". – P. 55–58.
19. Kolman, R. History of the sturgeon in the Baltic sea and lake Ladoga / R. Kolman, A. Kapusta, Z. Morzuch // In: *Biology and Conservation of the European Sturgeon Acipenser sturio L. 1758* / Ed. By P. Williot, E. Rochard, N. Desse-Berset, F. Kirschbaum, J. Gessner. – Springer, 2011. – P. 221–226.
20. Williot, P. The Frech-German cooperation: The key issue for the success of preservation and restoration of the European sturgeon, *Acipenser sturio* and its significance for other sturgeon issues [Text] / P. Williot, F. Kirschbaum // In: *Biology and Conservation of the European Sturgeon Acipenser sturio L. 1758*. (Ed. By P. Williot, E. Rochard, N. Desse-Berset, J. Gessner). – Springer, 2011. – P. 499–513.