

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫМ ВОСПРОИЗВОДСТВОМ РЫБ НА ИННОВАЦИОННОЙ ОСНОВЕ

П. Е. Гарлов

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»,
196601, Россия, Санкт-Петербург, г. Пушкин

Разработаны и представлены в виде изобретений эффективные способы управления процессами размножения, роста и выживаемости осетровых и лососевых рыб в заводском воспроизводстве. Новый метод управления размножением представлен в виде новых препаратов и способов стимуляции и торможения полового созревания производителей. Производственными испытаниями стимулирующих препаратов изолированных передней и задней долей гипофиза в осетроводстве доказаны увеличение степени рыбоводного использования производителей на 15 % и экономии до 40 % гипофиза. Доказаны эффекты длительной задержки полового созревания производителей с сохранением их высокого рыбоводного качества при их промышленном резервировании в среде критической солёности 4–8 ‰ (в морской воде и в растворах поваренной соли) и получения доброкачественного потомства даже при верхних нерестовых температурах. Многолетними производственными испытаниями установлены важные рыбохозяйственные эффекты содержания, резервирования и выращивания рыб в среде критической солёности: длительное сохранение выживаемости и рыбоводных качеств производителей, возможность получения доброкачественного потомства и ускорение темпов роста молоди. На основе этих эффектов разработаны способы искусственного воспроизводства популяций рыб, которые охватывают основные этапы заводской биотехники. Конечный полносистемный метод воспроизводства популяций заключается в заготовке и садковом содержании производителей на местах нагула в море, массовом получении здесь потомства, последующей заводской инкубации икры и выращивании личинок и молоди до состояния готовности к миграции и окончательного ускоренного доращивания жизнестойкой крупной молоди в среде критической солёности. С целью производственного использования представленной биотехнологии разработаны системы водоснабжения рыбоводных заводов и рыбоводных хозяйств, основанные на природно-промышленных принципах внесезонного подземного гидрокондиционирования и инженерно-экологической биотехнологии.

Ключевые слова: биотехника разведения осетровых и лососевых рыб; заводское воспроизводство популяций рыб

Введение

К настоящему времени численность популяций ценных видов рыб в Северо-Западном регионе (балтийской популяции атлантического лосося, краснокнижного туводного ладожского лосося, кумжи, палии, волховского сига), как и осетровых в южных регионах, резко сократилась и в целом поддерживается заводским воспроизводством [1; 2]. Основными причинами снижения их численности и прекращения промысла являются нерегулируемый вылов (браконьерство), со-

кращение масштабов естественного нереста в результате промышленного загрязнения среды, гидростроительства, недостаточная эффективность заводского воспроизводства. При этом в отличие от более молодого осетроводства лососевые рыбоводные заводы расположены на нерестилищах и заготавливают здесь зрелых производителей в нерестовый сезон, подменяя, таким образом, естественный нерест. Выпускаемые заводами годовики лосося массой 20–26 г имеют низкую выживаемость — 0,4 %, значительно ниже производственной нормы — 1,9 %. Расчеты необходимой эффективности заводского вос-

производства на Северо-Западе показывают, что ее можно достичь только путем выращивания и выпуска достаточного количества двухгодовиков (от 156 тыс. шт.) массой от 40 г, что пока за годичный срок не удавалось [3]. Мы считаем, что повышение эффективности воспроизводства популяций рыб возможно только путем усиления единого комплекса природоохранных и рыбохозяйственных мероприятий, а именно: 1) эффективного искусственного воспроизводства, согласованного с естественным, 2) эффективной рыбоохраны, особенно нерестилищ, 3) снижения ущерба от гидростроительства и охраны водоемов от загрязнений.

Как основную возможность повышения эффективности заводского воспроизводства мы рассматриваем разработку всех этапов новой современной биотехники с конечной целью усиления выживаемости, роста и увеличения выхода полноценного потомства.

Задачей настоящей работы является разработка инновационной биотехнологии заводского воспроизводства путем управления размножением, ростом и выживаемостью ценных видов рыб комплексом физиологически адекватных экологических и гормональных воздействий.

Материалы и методы исследования

Сбор, обработка материала, производственные испытания новой биотехнологии воспроизводства были проведены на волжских осетроводных заводах, Невском лососевом рыбноводном заводе (ЛРЗ), рыбноводном садковом хозяйстве «Прибылово» (в Выборгском заливе). Биотехнологию разрабатывали на особо ценных видах осетровых — севрюге *Acipenser stellatus* Pallas, 1771 и русском осетре *Acipenser gueldenstaedtii* Brandt, 1833, лососевых — атлантическом лососе *Salmo salar* Linnaeus, 1758 и радужной форели *Parasalmo mykiss* (= *Oncorhynchus mykiss*), Walbaum, 1792. Лабораторные опыты проводили на форели, вобле *Rutilus rutilus caspicus* (Jakowlew, 1870) и на перспективном для аквакультуры объекте — африканском клариевом соме *Clarias gariepinus* Burchell, 1822. Сравнительные результаты производ-

ственных проверок были оценены по важнейшим рыбноводно-биологическим, морфометрическим и морфофизиологическим характеристикам [4]. Физиологическое состояние организма оценивали гистоморфометрически по степени функциональной активности гипоталамо-гипофизарной нейро-секреторной системы (ГГНС), ответственной за защитно-приспособительные стресс-реакции, направленные на преодоление стресса. Для этого гистологические препараты мозга с гипофизом, окрашенные паральдегид-фуксином по Гомори — Габу с докраской азаном по Гейденгайну, были изучены с помощью анализатора микроизображений «Видеотест» [5]. Полученные морфометрические данные были обработаны статистически с использованием пакета программ Microsoft Excel.

Результаты и обсуждение

С целью стимуляции полового созревания и повышения рыбноводного качества производителей был разработан препарат изолированной передней доли гипофиза (ИПД, рис. 1, а), который с 1976 г. был использован в осетроводстве [6; 7].

С той же целью, а также для экономии исходного биологического материала разработан способ применения препарата изолированной задней доли гипофиза (ЗДГ) [8]. Производственными испытаниями доказано, что и этот препарат вызывает такое же доброкачественное созревание самцов, как и гипофизарный (рис. 1, б). Максимальная экономия гипофиза получена при наиболее эффективном использовании препаратов: ЗДГ в дозе 5 мг для 1 самца и ИПД — 25 мг для 1 самки. Именно такое соотношение расхода препаратов получено при их приготовлении из одной (средней) дозы целого гипофиза, принятой в производстве для 1 самки, — 30 мг. Ранее в осетроводстве на одну родительскую пару производителей затрачивали в среднем 50 мг гипофизов, поэтому использование новых препаратов позволило снизить расход гипофизов на 35–40 %. Таким образом, эти естественные комплексные препараты, физиологически адекватные собственному гипофизу рыб, позволяют по-

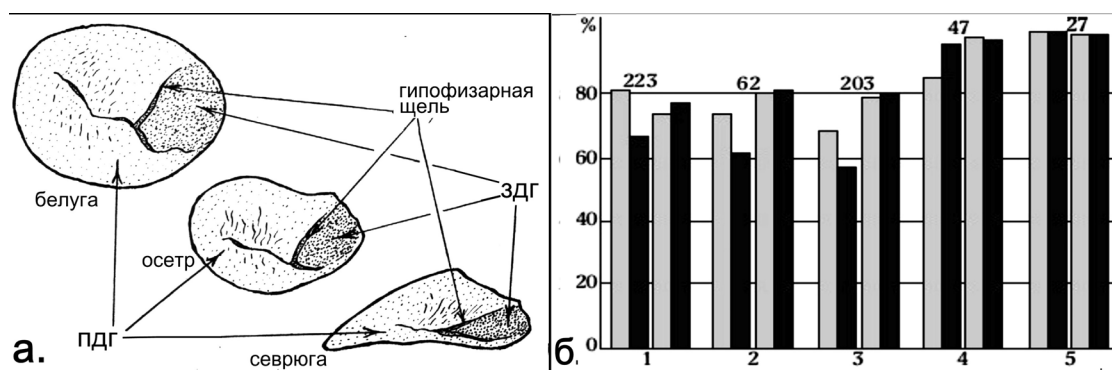


Рисунок 1 — Разделение гипофиза осетровых рыб на переднюю (железистую) долю гипофиза и заднюю (нервную) и эффективность их применения:

а — схема строения гипофиза осетровых на медиальном разрезе.

Обозначения: ПДГ — передняя доля гипофиза; ЗДГ — задняя доля гипофиза;

б — результаты испытаний препаратов ИПД, целого гипофиза и ЗДГ. Серии опытов [6–8]:

1 — сравнение эффективности ИПД и гипофиза на самках ярового осетра весеннего хода (левая пара колонок — степени рыбоводного использования: ИПД (светлые колонки) — гипофиз (черные, контроль), правая пара колонок: проценты выклева предличинки);

2 — то же на самках «озимой формы» осетра осеннего хода;

3 — то же на самках «яровой формы» севрюги раннего весеннего хода;

4 — сравнение эффективности использования препаратов ЗДГ и целого гипофиза на самцах севрюги (левая пара колонок — степени рыбоводного использования, правая пара — относительная активность спермиев); 5 — то же на самцах карпа.

Цифры наверху — количество производителей в опыте

высить эффективность метода гипофизарных инъекций в среднем на 15 %, исключая потери препарата (см. рис. 1, б). Впервые для стимуляции созревания производителей рыб в целом нами было предложено использовать экстракты вентрального гипоталамуса мозга, содержащие гипоталамические рилизинг-гормоны, которые ныне широко применяются в мировой рыбоводной практике, в частности синтетические суперактивные аналоги люлиберина [3]. Однако и до настоящего времени препарат ИПД остается наиболее эффективным [3; 6; 7].

Для задержки созревания производителей и сохранения их рыбоводного качества в течение производственно-необходимых сроков был разработан и использован метод их резервирования в среде «критической» солености 4–8 ‰ [9]. Критическая соленость воды является пороговой средой обитания для созревания гамет пресноводных и морских организмов, разделяющей морские и пресноводные организмы [10; 11]. Важно, что она определяет не только предел их физиологической устойчивости, но и важнейшие границы, градиенты и пороги взаимоотно-

шений организма с внешней средой [3; 10]. Рыбоводные эффекты среды «критической» солености были спрогнозированы на основе общего представления о том, что важнейшие реакции организма направлены прежде всего на сохранение постоянства его внутренней среды [12; 13].

Впервые в этой среде даже при верхних нерестовых температурах (до 25,8 °C) и умеренном содержании кислорода (5,2–7,5 мг/л) была установлена наибольшая выживаемость и, главное, задержка полового созревания у производителей севрюги и воibly, т. е. эффект их длительного резервирования (рис. 2). Причем этот эффект был установлен не только в морской воде, но и в растворах поваренной соли той же концентрации, использование которых в установках замкнутого водоснабжения (УЗВ) весьма перспективно. В контроле (в речной воде) и в растворе соли 3 ‰ через 35 и 38 сут была установлена гибель всех особей туводной воibly с тотальной резорбцией половых продуктов (рис. 2, а). У анадромной севрюги в контроле при массовой резорбции ооцитов у большинства самок гибель составила 20 % (рис. 2, б).

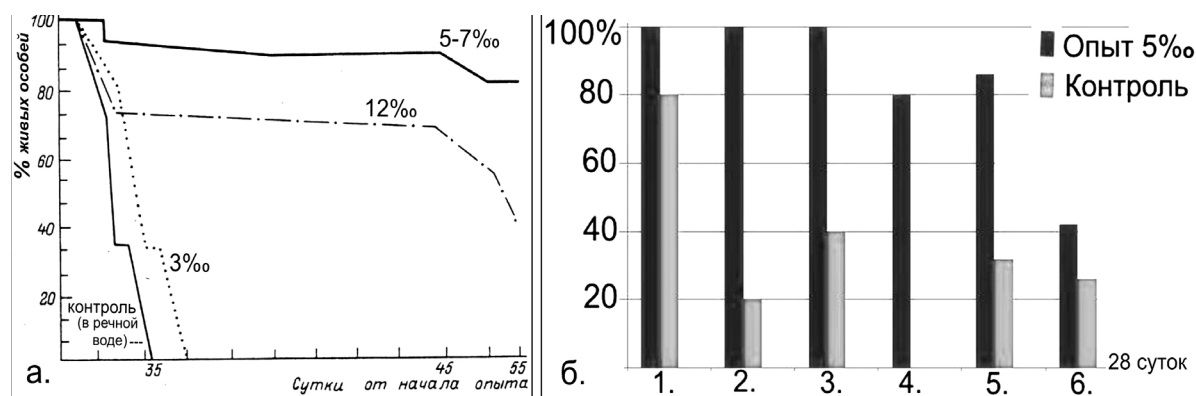


Рисунок 2 — Выживаемость и степень рыбоводного использования производителей рыб в растворах поваренной соли и в контроле [3; 9]:

а — степень выживаемости производителей воблы; *б* — рыбоводное качество самок севрюги в течение производственно-необходимых сроков резервирования.

Обозначения: 1 — степень выживаемости; 2 — процент самок в состоянии физиологической нормы; 3 — процент созревания самок (в состоянии овуляции);

4 — процент (степень) рыбоводного использования самок (с оплодотворением икры > 50 %);

5 — процент оплодотворения икры (в контроле у 1-й самки); 6 — процент выклева личинок

Многолетними производственными проверками метода длительного резервирования производителей в этой среде при нерестовых температурах на осетровых рыбоводных заводах Нижней Волги и морском садковом рыбководном хозяйстве по выращиванию лососевых рыб «Прибылово» была доказана возможность массового получения доброкачественного потомства (рис. 2, б, 4, б). Причем эта морская среда (а возможно, и раствор поваренной соли

5–7 ‰) оптимальна для формирования, содержания и эксплуатации ремонтно-маточных стад (РМС) промысловых рыб [3].

С целью выяснения видовых потенций размножения, роста и выживаемости проведен предварительный анализ ведущих механизмов влияния критической солености на организм рыб. Для этого изучены важнейшие физиолого-биохимические характеристики у подопытных производителей (табл. 1).

Таблица 1 — Важнейшие физиологические показатели производителей воблы и севрюги в растворах поваренной соли различной солености

Соленость среды (NaCl), ‰	Продолжительность резервирования, сутки	Вобла (опыт + контроль, изучено: 30 + 20 производителей обоего пола)		Самки севрюги (опыт + контроль, изучено: 5 + 5 ♀)		
		Содержание		Осмолярность: средняя, мосМ/л (соленость, ‰)		
		гемоглобина (г/%)	общего белка (г/%)	сыворотки крови	полостной жидкости	мочи
3	15	<u>5,7–7,9</u> 6,6	<u>1,51–2,28</u> 1,93	—	—	—
5	28	—	—	164,4 (6,2)	196,0 (7,7)	122,0 (4,5)
	45	<u>7,0–12,9</u> 9,0	<u>2,18–2,61</u> 2,32	—	—	—
12	45	<u>4,9–7,9</u> 6,3	<u>2,36–3,12</u> 2,84	—	—	—
Речная вода	11	<u>5,6–7,0</u> 6,7	<u>1,51–2,11</u> 1,75	—	—	—
	28	—	—	153,0 (5,8)	171,0 (6,6)	155,0 (5,9)

В итоге было установлено, что потери в содержании гемоглобина и белка в сыворотке крови минимальны, а удержание солей в крови и в полостной жидкости максимально в среде критической солёности в результате оптимизации водно-солевого баланса организма.

Выполнен гистоморфологический анализ состояния ГГНС (рис. 3), ответственной за регуляцию водно-минерального обмена, влияющей на функции интерренальной и щитовидной желез (углеводный и общий обмен)

и являющейся наиболее ярким прямым показателем степени выраженности стресса [3; 13]. В среде критической солёности у самок севрюги на 15 сут резервирования установлена активация ГГНС в виде активного выведения нонапептидных нейрогормонов из нейрогипофиза в общий кровоток, с конечным снижением ее функциональной активности до исходного уровня (рис. 3, б).



Рисунок 3 — Строение ГГНС и динамика изменений ее функциональной активности в опыте и контроле:

а — схема строения ГГНС у осетровых рыб.

Обозначения: преоптическое ядро (центр синтеза и транспорта нейрогормонов в нейрогипофиз), нейрогипофиз (дистальный отдел ГГНС, откуда осуществляется выброс нейрогормонов в общий кровоток);

б — изменения функциональной активности ГГНС у самок севрюги в течение месяца резервирования в растворе поваренной соли 5 ‰, сравнительно с контролем в речной воде

Выявленная фазная реакция ГГНС и ее конечная нормализация указывают на умеренно стрессорное воздействие среды критической солёности, вызывающее состояние эустресса организма. На важное значение умеренных количеств нонапептидных нейрогормонов ГГНС, стимулирующих функции желез-мишеней, указывают прежде всего оптимальные для организма уровни осмоларности сыворотки крови и содержания гемоглобина (см. табл. 1). Таким образом, среда критической солёности оказывает биостимулирующий эффект влияния на организм, обеспечивая оптимальный энергосберегающий осмотический градиент между внутренней средой организма и окружающей внешней средой. При этом повышенное содержание нонапептидных нейрогормонов в крови у

рыб в среде «критической» солёности (по сравнению с исходным уровнем), проявляющих стойкий антигонадотропный эффект, вызывает длительную задержку овуляции и резорбции [3; 13]. Об этом свидетельствует и четкая связь рыбоводно-биологических показателей с морфо-физиологическими (см. рис. 2, 3; табл. 1).

Основой совершенствования последующих способов искусственного воспроизводства природных популяций промысловых рыб с разной сезонностью нереста явилась разработка общей биотехнологии управления их размножением [14]. Целью исходного «способа воспроизводства популяций рыб» явилось сохранение их численности путем искусственного разведения всех элементов популяционной структуры (различных био-

логических рас, субпопуляций, экологических форм и пр.) в их естественных соотношениях. Биотехнологический принцип способа заключается в синхронизации сроков получения разнокачественного потомства в

едином нерестовом рыбоводном сезоне, и осуществляется он путем разнонаправленного воздействия на организм адекватным комплексом экологических факторов филогенетического и сигнального значений (рис. 4, а).

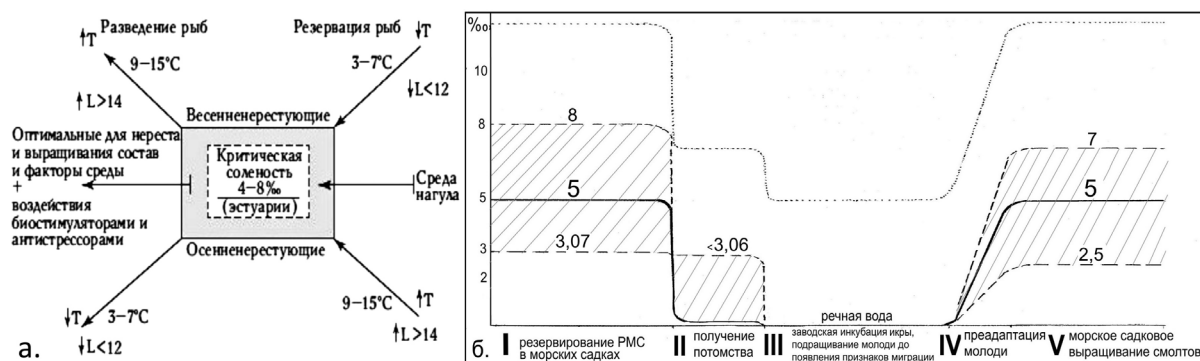


Рисунок 4 — Способы воспроизводства популяций рыб:

- а — принцип управления размножением и выращиванием проходных рыб триадой ведущих экологических факторов сигнального (температуры T , °C и освещенности L — фотопериод, свет. ч/сут) и филогенетического (‰) значений (на основе ведущего эколого-физиологического механизма миграций рыб) [14];
- б — изменения режимов солености на последовательных этапах заводской биотехники.
- Обозначения: сплошная кривая — оптимальные значения режимов солености, прерывистая кривая — допустимые значения солености, заштрихованный сектор — их диапазон, точечная кривая — верхние расчетные ожидаемые значения [15]

На всех этапах воспроизводства конкретные методы заводской биотехники заключаются в физиологически адекватных экологических и гормональных комплексных воздействиях, которые либо направлены непосредственно на гипоталамические центры интеграции управляемых функций, либо моделируют их эффекты [3]. Ведущий эколого-физиологический механизм осуществления способа воспроизводства популяций состоит в резервировании производителей в среде «критической» солености (универсальной для разных видов рыб) при преднерестовых видоспецифических пороговых экологических факторах — температуры и освещенности сигнального значения. Дальнейшие приемы: стимуляция созревания производителей, получение потомства и выращивание молоди — осуществляются плавным переводом рыб в эколого-физиологические комплексы — оптимальных экологических условий и адекватных физиологических воздействий (см. рис. 4, а). Напомним, что важными недостатками воспроизводства популяций лососевых

являются невысокая численность и небольшие размеры выпускаемой заводской молоди и ее низкая выживаемость в природе, а также вылов зрелых производителей на нерестилищах в ущерб естественному воспроизводству.

Разработанный новый метод заводского воспроизводства популяций ценных видов рыб (севрюги и лосося) впервые основан на использовании систем видовых филогенетических адаптаций морского нагула, которые способны обеспечить их наибольшую продуктивность в виде максимального проявления видовых потенций размножения, выживаемости и роста [13; 15]. Он осуществляется путем массовой заготовки производителей на рыбопромысловых участках в море, последующего формирования и эксплуатации РМС в садках в солоноватой морской воде и получения здесь потомства. И только затем уже оплодотворенную икру доставляют в реки на рыбоводные заводы (рис. 4, б). Здесь икру инкубируют, выращивают личинок и молодь и при достижении состояния готовности к миграции, например к пелагическому скату

крупной молоди осетровых, либо признаков смолтификации лососевых, заводскую молодь доставляют в морские садки. Здесь молодь усиленно доращивают при критической солености воды до массы (свыше 40 г), обеспечивающей необходимую степень выжива-

емости не менее 2 % (см. рис. 4, б). В сводной таблице 2 приведены результаты сравнительных производственных испытаний новой и применяемой заводской биотехники воспроизводства лосося (в морских садках и на базовом Невском лососевом рыбобродном заводе).

Таблица 2 — Рыбоводно-биологические показатели производителей и молоди лосося на Невском ЛРЗ и в морских садках Выборгского залива

А. Сравнительная характеристика производителей (среднегодовые величины)						
Показатели (средние величины)	Общие характеристики		Из них самок:		Из них самцов:	
	Невский ЛРЗ	Морские садки	Невский ЛРЗ	Морские садки	Невский ЛРЗ	Морские садки
Количество отсаженных особей	163	82	88	44	75	32
Длина тела до хвостового стебля (см, пределы)	74,9 ± 0,71 (45–100)	71,6 ± 0,28 (62,5–78,1)	82 ± 0,53 (70–100)	74,3 ± 0,25 (68,0–78,1)	66,1 ± 0,9 (45–92)	63,2 ± 0,04 (62,5–64,0)
Средняя масса (кг, пределы)	5,0 ± 0,12 (0,9–10,6)	4,17 ± 0,07 (1,5–5,7)	6,3 ± 0,13 (3,2–10,6)	3,6 ± 0,05 (3,1–5,1)	2,1 ± 0,14 (0,9–8,6)	4,4 ± 0,12 (1,5–5,7)
σ по длине	9,166	2,6	5	1,683	7,833	0,25
σ по массе	1,616	0,7	1,233	0,333	1,283	0,7
Коэффициент упитанности по Фультону — Q (пределы)	1,2 (0,8–3,02)	1,02 (0,6–1,4)	2,6 (2,3–3,02)	1,09 (0,9–1,4)	0,73 (0,98–1,10)	1,74 (0,61–2,17)
Степень рыбоводного использования (% созревания)	84	92	82	95	96	97
Рабочая плодовитость ♀ (тыс. шт.)	—	—	4,7 ± 0,03	2,4 ± 0,1	—	—
Б. Показатели массы молоди различных возрастных групп на Невском ЛРЗ, в садках Выборгского залива и согласно нормативам, г*						
	Невский ЛРЗ		Садки, Выборгский залив		Норма по Ленобласти	
Сеголетки 0+	11,3 ± 1,84		15 ± 1,07		5–7	
Годовики 1	26 ± 3,23		160 ± 7,35		9–18	
Двухлетки 1+	41,6 ± 6,75		280,1 ± 20,08		20–25	

* В таблице также указаны сведения Северо-Западного филиала ФГБУ «Главрыбвод» ФАР МСХ РФ, включая нормативы по разведению молоди лососевых видов рыб с многолетним технологическим циклом выращивания в Ленинградской области (ФАР, 2005 г.).

Особенно важно, что по размерно-весовым показателям, коэффициенту упитанности и, главное, по рабочей плодовитости заводские самки, заготовленные на нерестилищах, превышают, и значительно, самок с нагульных пастбищ — «морских» (табл. 1, А). Они составляют превосходящую группу генетически наиболее перспективных «лидеров», выдержавших жесточайший и длительный естественный миграционный отбор, поэтому изъятие их из естественного нереста является нарушением природного (популяцион-

но-генетического) равновесия. Необходимо принять адекватные компенсационные меры, прежде всего в виде выпуска всех самок (лошальных, не имеющих товарной ценности после рыбоводного использования) обратно на нерестилища, что уже общепринято в мировой рыбоводной практике [16].

Анализ основных показателей развития и роста молоди лосося, выращенной в морских садках до двух- и трехлетнего возраста (1+ и 2+), позволил установить, что ее развитие происходит в основном за счет роста головы

на 170 %, при росте тела всего на 36 % [3]. Причем коэффициент упитанности молоди и высота тела увеличиваются незначительно, на 35–57 %. Наибольшее разнообразие (степень неоднородности) индивидуальных показателей (до 23 %) установлено у двухлеток. У трехлетних смолтов, наоборот, снижается интенсивность процессов развития (коэффициенты вариации снижены у них до 17 %), а увеличение массы тела почти на 250 % указывает на то, что с наступлением смолтификации их развитие сменяется интенсивным ростом, соответствующим морскому нагулу. Сравнение показателей массы молоди, выращенной в различных средах, доказывает многократное ускорение ее развития и роста в солоноватой воде при прочих равных условиях (температуры, кормления и т. д.), особенно значительное с годовалого возраста — в 5–7 раз (табл. 2, Б). Установлено, что только в солоноватой воде процесс смолтификации молоди имеет массовый синхронный характер и выращивание ее в этой среде практически исключает образование «речных» карликовых самцов. В итоге многолетних производственных испытаний был впервые установлен целый ряд важнейших рыбоводно-биологических эффектов резервирования производителей, получения потомства и промышленного выращивания рыб в солоноватой морской воде критической солености: 1) повышение степени выживаемости (см. рис. 2), 2) повышение степени рыбоводного использования производителей (длительное сохранение их высоких рыбоводных качеств) и в целом РМС (см. рис. 2, б), 3) возможность получения доброкачественного потомства в морской среде (см. табл. 1, А, рис. 4, б), 4) повышение темпов развития и роста молоди (см. табл. 1, Б). Сокращение почти наполовину числа выполняемых этапов заводской биотехники может позволить высвободить дополнительные производственные мощности и, объединив усилия заводского и естественного воспроизводства, повысить их эффективность. Мы полагаем также, что применение новой комплексной биотехники формирования и эксплуатации РМС и интенсивного выращивания молоди с использованием эффектов адаптаций системы

«река — море» (расходование — накопление материально-энергетических ресурсов) может объединить интересы естественного и заводского воспроизводства, товарного выращивания в прибрежных морских хозяйствах и даже промысла (заготовки производителей для заводского воспроизводства) на местах нагула.

Таким образом, новый метод воспроизводства лосося позволяет, во-первых, прекратить любой промысел лосося на нерестилищах, увеличивая эффективность естественного нереста на величину искусственного воспроизводства. Во-вторых, он позволяет значительно повысить: рост заводской годовалой молоди (в 5–7 раз, от расчетных 40 г и выше), ее выживаемость на величину заводских отходов при смолтификации и степень нерестового возврата заводских производителей с 0,4 % (для ныне выращиваемых заводами годовиков) до исходно нормативных 2 % (для двухгодовиков).

Для дальнейшего повышения эффективности новой биотехнологии заводского воспроизводства и ее применения (круглогодичного в континентальных установках замкнутого водоснабжения — УЗВ) в аквакультуре мы начали разработку нового метода универсального содержания и выращивания рыб в среде критической солености 4–8 ‰, но уже искусственно «модифицированной». Метод заключается в двух основных биотехнических приемах: 1) в резервировании производителей в солевом растворе критической солености и последующем получении потомства путем их ступенчатого перевода в оптимальные нерестовые условия [17] и 2) в дальнейшем интенсивном выращивании молоди в растворе поваренной соли, с концентрацией близкой к изотонической среде [18].

Экспериментально-производственными проверками эффективности выращивания в этой среде молоди форели и клариевого сома, как перспективных для аквакультуры и удобных лабораторных объектов, при прочих равных условиях было установлено усиление темпов роста молоди в растворах поваренной соли по сравнению с контролем (рис. 5).

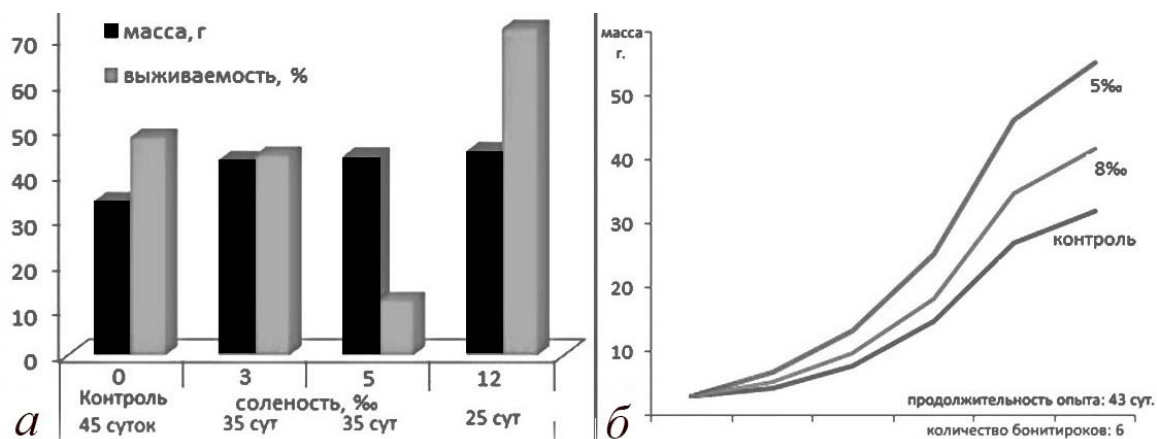


Рисунок 5 — Результаты выращивания молоди форели и клариевого сома в растворах поваренной соли различной концентрации:

- а* — основные показатели первого (поискового) опыта по выращиванию сеголетков форели в растворе соли (3, 5, 12 ‰) и контроле (по 25 шт.);
б — динамика роста сеголетков клариевого сома в опыте (5, 8 ‰) и в контроле (по 150 шт.; по результатам 6 бонитировок, выживаемость 100 %)

Важно, что этот способ направлен прежде всего на использование эффекта ускоренного выращивания крупной (более 40 г) молоди, т. е. на решение важнейшей задачи заводского воспроизводства — выращивание жизнестойкой годовалой молоди рыб [3; 15].

Для круглогодичного производственного использования всех вышеизложенных разработок, предусматривающих управление средой содержания и выращивания рыб, разработаны системы замкнутого водоснабжения рыбоводных заводов и рыбоводных хозяйств, которые являются по существу крупномасштабными УЗВ [19; 20]. В их основе заложен

новый принцип круглогодичного энергосбережения сезонно восстанавливаемых гидро-ресурсов путем гидрокондиционирования управляемой среды выращивания гидробионтов в изолированных от климата условиях. Работа их основана на новых принципах инженерной экологии [3] и управления биотехникой выращивания рыб триадой ведущих экологических факторов (см. рис. 4, *а*). Она заключается в заполнении водой заглубленных подземных, либо полузаглубленных в грунт резервуаров-отстойников (большого объема) и водоснабжении ими наземных рыбоводных емкостей (рис. 6).

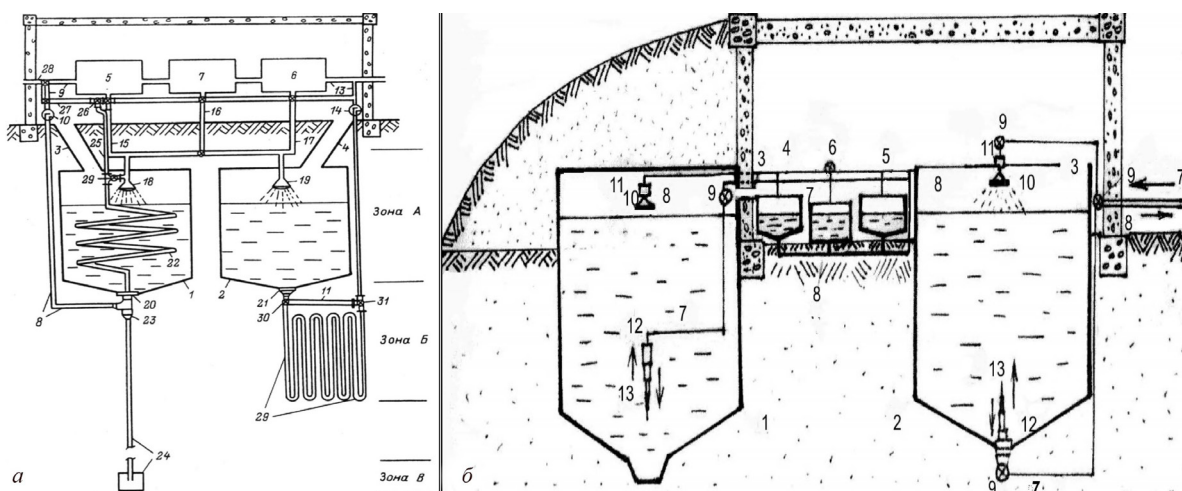


Рисунок 6 — Системы круглогодичного (внесезонного) водоснабжения рыбоводных предприятий комбинированного типа — для воспроизводства весенне- и осеннерестующих видов рыб:
а — УЗВ рыбоводных заводов [19]; *б* — УЗВ рыбоводных хозяйств [20]

Разработанные УЗВ представлены резервуарами (1, 2), которые в соответствующие сезоны года заполняют водой необходимой температуры, состава и внесезонно обеспечивают водоснабжение наземных рыбоводных сооружений (5–7). Их эксплуатацию производят путем заполнения одного из резервуаров «холодной» водой (3–7 °C), другого — «теплой» (9–15 °C) в соответствующие сезоны года и круглогодичного (дополнительного) водоснабжения ими наземных рыбоводных сооружений. При разработке систем УЗВ были предусмотрены дополнительные возможности оптимизации управления средой выращивания рыб путем использования систем внутренних (22) и подземных (29) теплообменников с артезианскими, либо грунтовыми водами (на рис. 6, а: зоны Б, В), их смесителями (18, 19), а также для регуляции уровня забора из резервуаров отстоянной чистой воды телескопическими водозаборниками (рис. 6, б: 12, 13).

В работе систем УЗВ были использованы некоторые общие биологические и биогеоэкологические закономерности, установленные и доказанные нами расчетными и справочными материалами [3; 19]: 1) совпадение температурных диапазонов разведения весеннерестующих рыб с диапазонами резервации осеннерестующих видов и наоборот (рис. 4, а) для экономичного использования в двух автономных оборотных системах лишь двух режимов температур; 2) совпадение температурных диапазонов почв и грунтовых вод ниже слоя сезонного промерзания с нерестовыми сезонными температурами рыб местного климатического пояса (на юге — 9–15 °C для осетровых и карповых, на севере — 2–7 °C круглогодично для лососевых и сиговых); 3) значительное совпадение наиболее распространенных температур артезианских вод (5–9 °C) с необходимыми (3–7 °C) в резервуаре (1); 4) пригодность температур любых геотермальных вод для температурной стабилизации воды (9–15 °C) внутренними теплообменниками (22) и рядом других новых возможностей использования подземных источников в системах обоих резервуаров.

Технико-экономическими расчетами удалось также доказать, что при увеличении объема воды в резервуарах выше 10 тыс. м³ снижается градиент теплопередачи от них в грунт до величины менее 0,1 °C/мес. и при этом за счет эффекта оттаивания скорость и степень очистки воды прогрессивно возрастают [3]. Также пропорционально увеличению объема резервуаров их удельная себестоимость снижается, а продуктивность и рентабельность использования системы УЗВ возрастает, особенно в зонах с коротким (либо неблагоприятным) вегетационным сезоном при максимальной надежности благодаря простоте конструкции. Особенно важно, что такая геотермостатированная система впервые позволит разрешить основное противоречие между ранее альтернативными проблемами УЗВ: очистки воды (необходимости увеличения ее объема оттаивания) и энергозатрат на ее терморегуляцию (необходимости снижения объема).

Выводы

1. С целью повышения эффективности заводского воспроизводства популяций рыб разработаны способы управления их размножением путем стимуляции и задержки полового созревания производителей. Способы позволяют увеличить степень рыбоводного использования производителей осетровых в среднем на 15 %, длительно резервировать производителей промысловых рыб в среде критической солености 4–8 ‰ при нерестовых температурах и получать от них доброкачественное потомство.

2. Установлен эффект ускорения роста молоди балтийского лосося при ее выращивании в морской воде критической солености, особенно значительный с годовалого возраста, по достижении максимальной величины различия средней массы молоди (160 г по сравнению с заводской — 26 г).

3. Рыбоводные эффекты длительного резервирования производителей рыб и ускорения роста молоди проявляются также в растворах пищевой поваренной соли концентрацией 5 ‰, что перспективно для использования в УЗВ.

4. На основе управления размножением рыб разработан способ воспроизводства их популяций, который осуществляется путем резервирования производителей рыб различных экологических форм в среде «критической» солености при видоспецифических преднерестовых пороговых факторах сигнального значения (температуры и освещенности) и последующего синхронного получения от них потомства в оптимальных нерестовых условиях среды.

5. Конечный полносистемный (охватывающий все этапы заводской биотехники) метод воспроизводства популяций (севрюги и балтийского лосося) заключается в эксплуатации их ремонтно-маточных стад в морских садках, получении здесь потомства и, после заводского (речного) цикла выращивания ранней молоди до степени готовности к миграции, эффективному ее дорастиванию в морских садках при критической солености. Метод позволяет прекратить промысел производителей лосося на нерестилищах, значительно повысить рост его заводской годовалой молоди (от 40 г и выше) и увеличить объемы ее выпуска.

6. Для промышленного круглогодичного использования новой биотехнологии разработаны системы замкнутого водоснабжения рыбоводных заводов и рыбоводных хозяйств, основанные на природно-промышленных принципах энергосбережения сезонных гидроресурсов, внесезонного подземного гидрокондиционирования и инженерно-экологической биотехнологии. Возможности их использования доказаны технико-экономическими расчетами.

7. Все инновационные биотехнологические разработки интегрированы в систему управления воспроизводством популяций рыб, поскольку объединены общей целью повышения его эффективности и в логической последовательности взаимосвязаны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранникова И. А. Значение работ центральной лаборатории по воспроизводству рыбных запасов для рыбного хозяйства России (1938–2014) // Рыбное хозяйство. 2015. № 1. С. 78–83.
2. Костюничев В. В., Богданова В. А., Шумилина А. К., Остроумова И. Н. Искусственное воспроизводство рыб на Северо-Западе России // Труды ВНИРО. 2015. Т. 153. С. 26–41.
3. Гарлов П. Е., Нечаева Т. А., Мосягина М. В. Механизмы нейроэндокринной регуляции размножения рыб и перспективы искусственного воспроизводства их популяций. СПб.: Проспект науки, 2018. 335 с.
4. Козлов В. И., Абрамович Л. С. Краткий словарь рыбовода. М.: Россельхозиздат, 1982. 160 с.
5. Гистология для ихтиологов. Опыт и советы / Е. В. Микодина, М. А. Седова, Д. А. Чмилевский [и др.] М.: Изд-во ВНИРО, 2009. 112 с.
6. Гарлов П. Е., Поленов А. Л. Способ приготовления гормонального препарата для стимуляции созревания производителей рыб. 1976. Авт. свид. СССР № 719571. Оpubл.: Бюл. № 9. С. 13–14.
7. Гарлов П. Е., Алтуфьев Ю. В., Поленов А. Л., Дубовская А. В. Результаты использования препарата изолированной передней доли гипофиза для стимуляции созревания самок русского осетра *Acipenser gueldenstaedtii* и севрюги *Acipenser stellatus* // Вопр. ихтиологии. 1987. Т. 27, вып. 5. С. 844–851.
8. Способ стимуляции полового созревания самцов рыб / П. Е. Гарлов, А. Л. Поленов, Ю. В. Алтуфьев [и др.]. 1983. Авт. свид. СССР № 1163817. Оpubл.: Бюл. Госкомизобретений и открытий. 30.06.1985. № 24. 5 с.
9. Гарлов П. Е., Поленов А. Л., Алтуфьев Ю. В., Деревягина Н. Г. Способ резервации производителей рыб. 1977. Авт. свид. СССР № 965409. Оpubл.: Бюл. Госкомизобретений и открытий. 12.10.1982. № 38. 6 с.
10. Хлебович В. В. Критическая соленость биологических процессов. Л.: Наука, 1974. 235 с.
11. Хлебович В. В. Критическая соленость — гомеостаз — устойчивое развитие // Труды ЗИН РАН. Т. 317. Прил. № 3. Пятьдесят лет концепции критической солености: коллективная монография / под ред. Н. В. Аладина и А. О. Смурова. СПб.: Зоологический ин-т РАН, 2013. С. 3–6.
12. Гарлов П. Е. О регуляторном влиянии гипоталамо-гипофизарной нейросекреторной системы осетровых на эндокринные железы и перспективы использования этого явле-

- ния в рыбоводстве // Тез. отчетной сессии ЦНИОРХ (6–10 марта 1972 г.). Астрахань: МРХ СССР, 1972. С. 39–40.
13. Гарлов П. Е. Среда «критической» солёности как перспективная модель для изучения эустресса и развития аквакультуры // Труды ЗИН РАН. Т. 317. Прил. № 3. Пятьдесят лет концепции критической солёности: коллективная монография / под ред. Н. В. Аладина и А. О. Смурова. СПб.: Зоологический ин-т РАН, 2013. С. 75–84.
14. Гарлов П. Е. Способ воспроизводства популяций рыб. 1977. Авт. свид. СССР № 682197. Оpubл.: 30.08.1979. Бюл. Госкомизобретений и открытий. № 32. С. 11.
15. Способ воспроизводства популяций севрюги и балтийского лосося / П. Е. Гарлов, Б. С. Бугримов, Н. Б. Рыбалова [и др.]. 2014. Патент на изобретение № 2582347. Оpubл.: 27.04.2016. Бюл. № 12.
16. Palmé A., Wennerström L., Guban P., et al. Compromising Baltic salmon genetic diversity — conservation genetic risks associated with compensatory releases of salmon in the Baltic Sea // Havsoch vattenmyndighetens rapport, 2012. 18. 115 pp.
17. Способ содержания производителей в искусственной биостимулирующей среде / П. Е. Гарлов, Е. Д. Шинкаревич, Н. Б. Рыбалова [и др.]. 2020. Патент на изобретение № 2726107. Оpubл.: 09.07.2020. Бюл. № 19.
18. Гарлов П. Е. Способ выращивания молоди рыб в искусственной биостимулирующей среде. Заявка на изобретение № 2020121859 от 20.06.2020.
19. Гарлов П. Е. Система водоснабжения рыбоводных заводов. Авт. свид. СССР № 982614. Оpubл.: 23.12.1982. Бюл. № 47. 6 с.
20. Гарлов П. Е. Система водоснабжения рыбоводных хозяйств. 2008. Патент на изобретение № 2400975. Оpubл.: 10.10.2010. Бюл. № 28.

DEVELOPMENT OF FISH ARTIFICIAL REPRODUCTION MANAGEMENT SYSTEM ON AN INNOVATIVE BASIS

P. E. Garlov

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
"Saint-Petersburg State Agrarian University",
196601, Russia, Saint-Petersburg, Pushkin

Efficient ways of managing spawning, growth and survival of sturgeon and salmonid fishes in factory reproduction have been developed and presented as inventions. A new method of spawning control is presented in the form of new drugs and ways to stimulate and inhibit puberty of spawners. Production trials of stimulating drugs of isolated anterior and posterior pituitary lobes in sturgeon breeding have proved an increase in the degree of spawner use by 15 % and saving up to 40 % of pituitary. The effects of prolonged delay in puberty of brood fish with preservation of their high fish-breeding quality when they are commercially reserved in the environment of critical mineralization of 4–8 % (in sea water and in solutions of table salt) and obtaining high-quality spawn even at the upper spawning temperatures have been proved. Many years of production tests have mineralization mineralization: long-term survival and fish breeding qualities of spawners, the possibility of obtaining good quality progeny and accelerating the growth rate of young fish. Based on these effects, methods of artificial reproduction of fish populations have been developed that encompass the main stages of fish breeding biotechnology. The final full-system method of population reproduction consists of stocking and cage holding of spawners at the feeding grounds in the sea, mass breeding there, subsequent factory incubation of eggs and rearing of larvae and young fish to the state of readiness for migration and final accelerated rearing of viable large young fish in an environment of critical mineralization. For the purpose of industrial use of the presented biotechnology, water supply systems for fish hatcheries and fish farms based on natural-industrial principles of off-season underground hydroconditioning and engineering-ecological biotechnology have been developed.

Keywords: biotechnics of sturgeon and salmon fish breeding; factory reproduction of fish populations

REFERENCES

1. Barannikova I.A. [Significance of works of the Central Laboratory for Fish Stock Reproduction for Russian Fishery (1938–2014)]. *Rybnoe Khoziaystvo*. 2015;(1): 78–83. (In Russ.)
2. Kostyunichev V.V., Bogdanova V.A., Shumilina A.K., Ostroumova I.N. [Artificial reproduction of fish in the Northwest of Russia]. *Trudy VNIRO*. 2015;153: 26–41. (In Russ.)
3. Garlov P.E., Nechaeva T.A., Mosyagina M.V. [Mechanisms of neuroendocrine regulation of fish spawning and prospects for artificial reproduction of fish populations]. Saint-Petersburg: Prospekt nauki; 2018. 335 p. (In Russ.)
4. Kozlov V.I., Abramovich L.S. [Brief Dictionary of the fish worker]. Moscow: Rossel'khozizdat; 1982. 160 p. (In Russ.)
5. Mikodina E.V., Sedova M.A., Chmylevsky D.A., et al. [Histology for Ichthyologists. Experience and advice]. Moscow: VNIRO Publishing; 2009. 112 p. (In Russ.)
6. Garlov P.E., Polenov A.L. [Method of production hormonal drug to stimulate puberty of fish producers]. USSR Copyright of invention No. 719671. Published in: *Bulletin*. 1976;9: 13–14. (In Russ.)
7. Garlov P.E., Altufyev Yu.V., Polenov A.L., Dubovskaya A.V. [Results of the use drug isolated anterior pituitary lobe to stimulate maturation females of Russian sturgeon *Acipenser gueldenstaedtii* and Sevruga *Acipenser stellatus*]. *Journal of Ichthyology*. 1987;27(5): 844–851. (In Russ.)
8. Garlov P.E., Polenov A.L., Altufyev Yu.V., et al. [Method to stimulate puberty of fish males]. Copyright of invention No. 1163817. 1983; Published in: *Bulletin State Inventions and Discoveries*. 1985;(24): 5. (In Russ.)
9. Garlov P.E., Polenov A.L., Altufyev Yu.V., Derevyagina N.G. [Method to reserve fish producers]. USSR Copyright of invention No. 965409. 1977; Published in: *Bulletin State Inventions and Discoveries*. 1982;(38): 6. (In Russ.)
10. Khlebovich V.V. [Critical Salinity of Biological Processes]. Leningrad: Nauka; 1974. 235 p. (In Russ.)
11. Khlebovich V.V. [Critical salinity — homeostasis — sustainable development]. *Proceedings of the Zoological Institute of Russian Academy of Sciences. Fifty years of the concept of critical salinity: joint monograph*. N.V. Aladin and A.O. Smurov (Editors). Saint-Petersburg: Zoological Institute RAS; 2013. Vol. 317. (Supplement 3). P. 3–6. (In Russ.)
12. Garlov P.E. [On the regulatory influence of the hypothalamic-pituitary neurosecretory system of sturgeons on endocrine glands and prospects of using this phenomenon in fishery]. *Theses of the report session of the Central Sturgeon Research Institute (March 6–10, 1972)* Astrakhan: USSR Fisheries Ministry; 1972. P. 39–40. (In Russ.)
13. Garlov P.E. [The environment of "critical" salinity as a perspective model for eustress research and aquaculture elaboration]. *Proceedings of the Zoological Institute of Russian Academy of Sciences. Fifty years of the concept of critical salinity: joint monograph*. N.V. Aladin and A.O. Smurov (Editors). Saint-Petersburg: Zoological Institute RAS; 2013. Vol. 317. P. 75–84. (In Russ.)
14. Garlov P.E. [Method to reproduction fish population]. USSR Copyright of invention No. 682197. 1977; Published in: *Bulletin State Inventions and Discoveries*. 1979;(32): 11. (In Russ.)
15. Garlov P.E., Bugrimov B.S., Rybalova N.B., et al. [Method to reproduce sevruga and Baltic salmon populations]. Patent for invention No. 2582347. 2014; Published: 04.27.2016; *Bulletin* No. 12. (In Russ.)
16. Palmé A., Wennerström L., Guban P., et al. Compromising Baltic salmon genetic diversity — conservation genetic risks associated with compensatory releases of salmon in the Baltic Sea. *Havsoch vattenmyndighetens rapport*. 2012. Vol. 18. 115 p.
17. Garlov P.E., Shinkarevich E.D., Rybalova N.B. [Method to keep fish producers in artificial biostimulating medium]. Patent for invention No. 2726107. 2020; Published: 07.09.2020; *Bulletin* No. 19. (In Russ.)
18. Garlov P.E. [Method of young fish cultivation in artificially modified biostimulating environment]. Application for an invention No. 2020121859 dated 06.20.2020. (In Russ.)
19. Garlov P.E. [Water-supply system for fish-farms]. USSR Copyright of invention No. 982614. Published: 12.23.1982; *Bulletin* No. 47. 6 p. (In Russ.)
20. Garlov P.E. [Fish farms water-supply system]. Patent of invention No. 2400975. 2008; Published: 10.10.2010. *Bulletin* No. 28. (In Russ.)

Об авторе

Гарлов Павел Евгеньевич,
профессор, доктор биологических наук,
старший научный сотрудник
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государ-
ственный аграрный университет»
196601, г. Пушкин, Санкт-Петербург,
Петербургское шоссе, 2
(812) 470-04-22; garlov@mail.ru

About the author

Garlov Pavel Evgen'evich,
Professor, Doctor of Biological Sciences
senior research assistant
Federal State Budgetary Educational Institution of
Higher Education "St. Petersburg State Agrarian
University"
2, Peterburgskoe highway, Pushkin, St. Petersburg,
Russia, 196601
+7 812 470-04-22; garlov@mail.ru