МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ,
НАУКИ И КАДРОВОЙ ПОЛИТИКИ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
ОРДЕНОВ ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
И ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

Н. В. Барулин, К. Л. Шумский, А. О. Жарикова

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КРУГЛОГОДИЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА ДИПЛОИДНОЙ, ТРИПЛОИДНОЙ И ОДНОПОЛОЙ ОПЛОДОТВОРЕННОЙ ИКРЫ (ЭМБРИОНОВ) РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ В УСЛОВИЯХ РЫБОВОДНЫХ ИНДУСТРИАЛЬНЫХ ХОЗЯЙСТВ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Монография

Горки
Белорусская государственная
сельскохозяйственная академия
2026

УДК 639.371.13.04(476)

Барулин, Н. В. Научно-практическое обоснование круглогодичного производства диплоидной, триплоидной и однополой оплодотворенной икры (эмбрионов) радужной форели в условиях рыбоводных индустриальных хозяйств Республики Беларусь / Н. В. Барулин, К. Л. Шумский, А. О. Жарикова. – Горки : Белорус. гос. с.-х. акад., 2026. – 195 с. – ISBN 978-985-882-800-4.

В монографии изложены научно-методологические подходы к круглогодичному производству диплоидной, триплоидной и однополой оплодотворенной икры (эмбрионов) радужной форели в условиях рыбоводных индустриальных хозяйств Республики Беларусь.

Для специалистов в области ихтиологии и аквакультуры, аспирантов, магистрантов, студентов вузов, слушателей Института повышения квалификации и переподготовки кадров.

Табл. 36. Ил. 47. Библиогр.: 26 назв.

Печатается по решению Научно-технического совета
Белорусской государственной сельскохозяйственной академии.
Протокол № 4 от 15 мая 2024 г.

Рецензенты:
доктор сельскохозяйственных наук, профессор Н. А. Садомов
(Белорусская государственная сельскохозяйственная академия);
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент А. В. Астренков
(Полесский государственный университет)

ISBN 978-985-882-800-4

© Барулин Н. В., Шумский К. Л.,
Жарикова А. О., 2026
© Белорусская государственная
сельскохозяйственная академия, 2026

ВВЕДЕНИЕ

Современное мировое сообщество вплотную подошло к принципу целенаправленного формирования рыбных запасов исходя из хозяйственных потребностей населения. Данный принцип подразумевает качественный переход от экстенсивных к интенсивным формам ведения рыбного хозяйства, т. е. от добычи к аквакультуре.

Аквакультура, занимающаяся производством продуктов на основе биологических процессов, имеет свою специфику, которая заключается в том, что процесс формирования полезного продукта происходит в водной среде с использованием гидробионтов. Чтобы процесс протекал непрерывно, необходим комплекс условий воспроизводства гидробионтов.

В настоящее время все большее внимание уделяется созданию, последовательному укрупнению и усложнению функционирования аквакультуры, в том числе рыбоводства, от формирования племенных ремонтно-маточных стад, их эффективного воспроизводства и разведения до налаживания круглогодичного выращивания рыб и других гидробионтов со стабильным получением разнообразной рыбоводной продукции, доступной всем слоям населения.

В Беларуси на современном этапе сложились все необходимые условия (природные, научно-технические и социально-экономические), создающие благоприятные перспективы для развития индустриального рыбоводства. Одним из основных направлений определено развитие форелеводства.

С 2012 г. при кафедре действует рыбоводный индустриальный комплекс по выращиванию рыбопосадочного материала лососевых рыб в количестве 3 млн шт. в год, который по применяемым технологиям является единственным в Беларуси. Технология комплекса основана на доинкубации оплодотворенной икры с дальнейшим получением личинки, молоди и рыбопосадочного материала. Завоз икры осуществляется из элитных рыбоводных маточных хозяйств Польши, Франции и США. Однако в связи с вводом санкций странами Европейского союза и США Беларусь столкнулась с проблемой регулярной поставки оплодотворенной икры. С такой же проблемой сталкиваются и рыбные хозяйства Российской Федерации.

Согласно Комплексу мер по развитию рыбоводства в Республике Беларусь на 2020–2025 гг., в юго-восточном регионе Могилевской области планируется построить три комплекса по выращиванию радужной форели мощностью одна тысяча тонн в год каждый.

В настоящее время потребность Беларуси в оплодотворенной икре составляет 4 млн шт. При условии ввода в эксплуатацию новых товарных комплексов ежегодная потребность Беларуси в оплодотворенной икре (эмбрионах) радужной форели составит 32,5 млн шт. (4 млн + 28,5 млн).

В 2021 г. объем производства аквакультуры в России составил 357 тыс. т, из которых на радужную форель приходится 50 тыс. т. По прогнозам, к 2025 г. производство продукции аквакультуры в России увеличится до 598 тыс. т, в том числе производство радужной форели – до 80 тыс. т, для чего необходимо около 630 млн шт. оплодотворенной икры.

В настоящее время в России имеются немногочисленные хозяйства по производству оплодотворенной икры (эмбрионов) радужной форели. Основные из них – это племенной завод «Адлер» и ФСГЦР филиал ФГБУ «Главрыбвод», которые удовлетворяют потребности российского рынка на 10 %. Остальная поставка оплодотворенной икры осуществляется из элитных племенных хозяйств Франции, Испании, США, ЮАР, Дании и других стран.

В настоящее время с учетом санкций Россия имеет трудности с поставками оплодотворенной икры из указанных стран.

Таким образом, в Беларуси в настоящее время возникла острая необходимость в создании собственного маточного рыбоводного индустриального комплекса по производству оплодотворенной икры радужной форели для полного обеспечения потребностей белорусских рыбоводных хозяйств и частичного обеспечения российских рыбоводных хозяйств и других стран ЕАЭС.

Необходимым условием для дальнейшего развития белорусского форелеводства является обеспеченность товарных хозяйств посадочным материалом высоких кондиций, как с точки зрения генетического потенциала, так и физиологического состояния.

В настоящее время выращивание рыбопосадочного материала форели в республике осуществляется из импортируемой икры. В стране имеется несколько отдельных небольших смешанных ремонтно-маточных стад форели. Однако с ними за весь период их существования не проводилась целенаправленная научная работа. В процессе их

эксплуатации проводился случайный племенной отбор, и скрещивание рыб производилось хаотически, в результате допущено скрещивание между различными стадами, породными линиями и формами форели.

Мировая практика показала, что использование при выращивании потомства множества искусственных стад и природных популяций делает его неодинаковым. В процессе выращивания рыбоводы выявили, что одним производителям подходил посадочный материал одного происхождения, другим – другого.

Таким образом, в рыбоводстве был установлен один из основных постулатов селекции: целью работы селекционера является создание породы, максимально приспособленной к конкретным условиям содержания, как природно-климатическим, так и технологическим. В решении этой задачи селекционерам-форелеводам помогает на первом этапе созданное для разведения объекта маточное стадо с высочайшим генетическим разнообразием.

В рыбоводстве важнейшей задачей является сохранение генетических особенностей, уровня продуктивности пород и других селекционных достижений, поддерживаемых в коллекционных чистопородных маточных стадах. В процессе эксплуатации коллекционный материал должен подвергаться систематической оценке по основным рыбоводно-биологическим признакам. Параллельно необходимо проводить работу по сохранению генетического резерва для поддержания и улучшения структуры маточных стад объектов рыбоводства. Все это позволит обеспечить товарные хозяйства качественным посадочным материалом и станет основой для выведения новых местных пород, породных линий, типов и гибридов.

В племенном хозяйстве можно вести на базе коллекционных стад оценку генетической ценности породы или породной линии, генетического дрейфа, инбредной депрессии, миграции генов, влияния естественного отбора, заболеваний и гибели рыб. Генофонд каждой популяции, являясь составной частью генетического потенциала вида, служит основой селекционного процесса создания новых и совершенствования существующих пород рыб.

Сформированные стада (популяции) должны быть генетически устойчивыми. Утеря генов чаще всего происходит в малочисленных популяциях. Поэтому при формировании стад нужно знать и учитывать породное разнообразие и критическую численность рыб различных видов.

Создание в республике маточного форелевого хозяйства в качестве центра по племенной работе и формирование на его базе коллекционных стад как никогда актуальны, так как последние являются основным ресурсом селекции для основных направлений аквакультуры, в том числе рыбоводства. Особенно их роль важна для недопущения падения продуктивности рыб вследствие низких племенных качеств выращиваемых рыб и поддержания общего уровня селекционно-племенной работы. Для успешной работы товарных хозяйств ведущее значение имеет развитие потенциала генофондного материала в местных условиях и его успешное воспроизводство.

Первым этапом селекционно-племенной работы в форелеводстве является подробная инвентаризация существующих ремонтно-маточных стад и формирование с их помощью и посредством завоза из-за рубежа чистопородных стад. Также скорейшему формированию маточных стад будет способствовать проведение ранней диагностики воспроизводительной способности радужной форели. Применение комплексной шкалы оценки производителей форели способствует определению ее племенной ценности.

Формирование племенного ядра в каждом маточном стаде является завершающим этапом племенной работы по созданию промышленного маточного форелевого хозяйства.

Использование в промышленном (интенсивном) форелеводстве для воспроизводства высокопродуктивных производителей позволяет увеличить за счет повышенной рабочей плодовитости и качества личинок производство элитного посадочного материала форели для увеличения товарной продукции.

Только создание специализированного племенного хозяйства позволит проводить планомерную племенную и селекционно-генетическую работу при выращивании и эксплуатации ремонтного материала и производителей, а также обеспечить формирование полноценных чистопородных маточных стад и получение качественного потомства для товарного выращивания.

Строительство в Республике Беларусь полносистемного форелевого племенного центра позволит выстроить целостную производственную структуру, направленную на рациональное и эффективное развитие форелеводства.

Цель настоящей монографии состоит в научном обосновании и разработке импортозамещающей ресурсосберегающей технологии (рыбоводно-технологического обоснования) производства эмбрионов

радужной форели, не уступающей мировым аналогам по основным техническим параметрам (плодовитость, рыбопродуктивность, возраст созревания, сезонность получения, эмбриональная смертность), что позволит круглогодично производить диплоидную, триплоидную и однополую оплодотворенную икру в условиях рыбоводных индустриальных хозяйств Республики Беларусь с возможностью экспорта в государства – члены Евразийского экономического союза.

В качестве примера рыбоводно-технологическое обоснование выполнено из расчета достижения планового показателя в 51,3 млн шт. неоплодотвореной икры или 37 млн шт. оплодотворенной икры (эмбрионов) радужной форели на стадии глазка с дальнейшей реализацией в товарные хозяйства в виде эмбрионов или получения рыбопосадочного материала на площадях маточного хозяйства.

1. КРАТКАЯ РЫБОВОДНО-БИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ

Форелеводство является одним из старейших и наиболее динамично развивающихся направлений товарного рыбоводства в мире. Оно насчитывает более 400 лет в Европе и около 150 лет в США. Форель выращивается как для пищевых целей (получения мяса и пищевой икры), так и для зарыбления под рекреационное и спортивное рыболовство.

Современное форелеводство представляет собой высокоинтенсивное хозяйство с концентрированным выращиванием рыбы при обеспечении оптимальных условий окружающей среды. Уровень его интенсификации определяется различными биотехническими приемами (кратностью водообмена, качеством кормов и способами кормления, методами выращивания на каждом этапе технологического процесса и т. д.).

Существуют четыре основных фактора среды обитания, которые в основном влияют на рост радужной форели: температура воды, наличие в достаточном количестве растворенного кислорода, высокая прозрачность воды для доступа к кормовым ресурсам и отсутствие вредных загрязняющих веществ.

Немаловажным фактором, определяющим шансы на успех для любой деятельности в области аквакультуры, является месторасположение хозяйства. Основные биологические характеристики лососевых рыб указывают на то, что для успешной реализации потенциала форели должны быть соблюдены конкретные критерии при создании ее производства.

Прежде всего, форелевое хозяйство должно иметь надежное круглогодичное снабжение водой высокого качества. По этой причине тщательное изучение качества воды – это первый шаг при оценке потенциала создания производства форели. Кроме того, качество воды, а также топография участка важны при определении фактического уровня производства. Также при оценке производственного потенциала должны приниматься во внимание такие факторы, как температура и расход воды. Рельеф местности играет важную роль при проектировании форелевого хозяйства.

Форель, как правило, культивируется в каналах или прудах с проточной водой. В последние десятилетия все большее значение приобретает ее производство в садках и системах рециркуляции.

Среди источников водоснабжения форелевых хозяйств можно выделить два типа: поверхностные (реки, ручьи, озера, каналы и др.) и подземные (родники, ключи, почвенно-грунтовые воды и артезианские скважины) во́ды.

Наибольший уровень интенсификации возможен при 10-кратном водообмене в течение часа. Максимальные размеры прудов (бассейнов), как правило, не превышают 500 м^2. Обычно форелевые хозяйства разделяют на полносистемные и неполносистемные.

Из всех культивируемых в мире видов форели и иных лососевых видов рыб наиболее часто разводят радужную форель (*Oncorhynchus mykiss*). В естественных условиях она обитает в холодных и прозрачных пресноводных водоемах, но хорошо растет и в обычных водоемах (пресноводных, солоновато-водных и морских) с чистой водой и достаточным содержанием кислорода.

Такую популярность в качестве объекта рыбоводства радужная форель заслужила благодаря своим отличным рыбоводным качествам: хорошей приспосабливаемости к искусственным условиям содержания, лучшей способности усваивать искусственные корма, высоким темпам роста при значительной плотности посадки и т. п. Особенно ярко потенциал развития радужной форели проявляется в первые три года ее жизни.

Родиной радужной форели является западное побережье Северной Америки от Аляски до Мексики, но прародиной большинства искусственных стад можно считать популяцию реки Маклауд в Северной Калифорнии. Именно из этих мест осуществлялись первые поставки рыб в другие регионы, а в 1879 г. здесь было построено первое крупное рыбоводное хозяйство. В начале XX в. радужная форель стала распространенным объектом рыбоводства во всем мире. В настоящее время этот вид лососевых рыб разводится более чем 80 странах с благоприятными условиями выращивания.

По данным FAO, с 1980 по 2008 г. ежегодный мировой объем производства лососевых рыб вырос с 0,88 до 3,13 млн т. При этом значительно изменилось соотношение рыб, выращенных в аквакультуре и добытых посредством рыболовства. Если в 1980 г. оно составляло 20/80 %, то в 2008 г. было 73/27 %.

Согласно анализу данных, в 2008 г. производство лососевых рыб достигло своего пика, в том числе в искусственных условиях было выращено около 2,3 млн т товарной продукции. Следует отметить, что порядка 30 % от указанного объема составляет производство радужной

форели. Удельный вес в производстве распределился по странам следующим образом: Норвегия – 35 %, Чили – 28 %, другие государства – 37 %. Другими наиболее крупными производителями форели являются Франция, Швеция, Италия, Испания, Германия, США, Польша, Дания, Финляндия, Иран.

Форелеводство развивается уже несколько сотен лет, и многие аспекты являются высокоэффективными при использовании отработанных систем хозяйствования. Однако путем применения современных исследований и учета перспектив развития можно увеличить эффективность производства и продаж за счет увеличения плотностей посадки, повышения надежности рециркуляционных технологий, разработки генетически улучшенных для роста породных линий рыб, совершенствования маркетинга. Одним из новых направлений метода является разработка генетически модифицированных гормонов, использование которых способствует снижению издержек производства. Однако в будущем эти разработки могут вызвать ряд проблем, так как общественное мнение по отношению к генетически модифицированным продуктам продолжает оставаться негативным и их безопасность для человека вызывает множество вопросов. В то же время перенаселение планеты требует продолжать увеличение производства, в связи с чем необходимы дальнейшие исследования по снижению затрат к минимуму, чтобы отрасль могла двигаться вперед.

Традиционным объектом аквакультуры в различных странах мира является радужная форель (микижа), благодаря своей адаптивности и богатому фенетическому разнообразию (Войнарович, Хойчи, Мот-Поульсен, 2014; Семенова и др., 2010). Таксономический статус вида остается спорным с *Parasalmo penshinensis* и *Oncorhynchus mykiss* как часто рассматриваемыми синонимами (Семенова и др., 2010; Мельникова, Павлов, Шитова, 2004).

Характерный внешний вид радужной форели соответствует чертам лососевых рыб: телосложение может варьироваться, но обычно оно вытянутое, низкое, с вальковатым сечением. Окраска взрослых особей меняется от темно-серой до серебристой с множеством мелких черных пятен на теле и плавниках. У молоди заметны крупные круглые пятна более светлых оттенков. В период нереста самцы становятся темнее, особенно на брюшке, их боковую линию украшает яркая красная полоса радужных оттенков, что и дало этой рыбе название «радужная». Самки отличаются светлой полосой и более крупными размерами, округлой формой головы и более мягкими очертаниями тела. У самцов

нижняя челюсть слегка изгибается вверх, создавая небольшой крюк (Анисимова, Лавровский, 1991). В природе радужная форель обитает в холодных и прозрачных пресноводных водоемах. Однако для ее жизни не обязательны горные реки и ручьи; она успешно развивается в обычных водоемах, как пресноводных, так и слегка соленых, где вода чистая и содержит достаточное количество кислорода. Радужная форель была интродуцирована в приблизительно 82 страны, где ее разводят в промышленных водоемах, рыбоводных каналах и искусственных водоемах. Схема жизненного цикла радужной форели с основными этапами, имеющими значение для товарной аквакультуры, представлена на рис. 1.

Созревание радужной форели в природе наступает в возрасте от 4 до 6 лет, в то время как в условиях аквакультуры этот процесс происходит в возрасте от 3 до 5 лет. В отличие от других лососевых рыб Тихого океана, радужная форель способна производить нерест несколько раз за свою жизнь. На Камчатке нерест всех форм микижи происходит совместно в мае – июне при температуре воды от 3 до 8 °С (Леман, Есин, 2008), в то время как в аквакультуре благодаря различным технологиям получение икры возможно круглогодично. Абсолютное количество икринок, производимых самками, зависит от их массы: у самок массой до 1 кг количество икринок составляет 1 500–1 700, а у самок массой более 7 кг – 9 000 шт. Относительная плодовитость, выраженная количеством икринок на 1 кг массы рыбы, колеблется от 1 500 до 3 000 шт.

Инкубационный период зависит от температуры воды и составляет 2–3 недели при температуре от 6 до 12 °С. Икра высокого качества обычно имеет желтовато-оранжевый цвет, диаметр икринок варьирует от 3,0 до 6,5 мм, а масса – от 50 до 125 мг. В природе инкубация и раннее развитие личинок проходят в грунте нерестового субстрата, в то время как в аквакультуре инкубация осуществляется в затемненных помещениях. Из икры выходит свободный эмбрион, обладающий большим желточным мешком, из которого он получает питательные вещества. Перед рассасыванием желточного мешка свободные эмбрионы практически неподвижны, в природе они остаются в придонном слое воды, в то время как при искусственном разведении – в инкубационном аппарате. Длительность этого этапа составляет 7–20 дней при температуре воды от 6 до 14 °С.

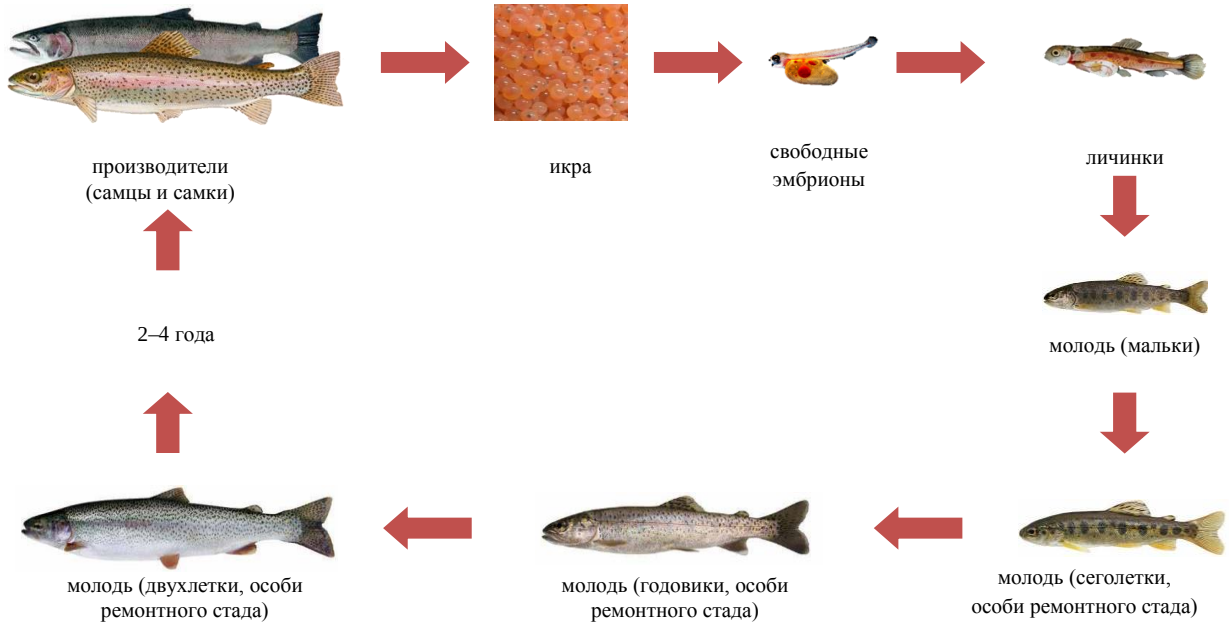


Рис. 1. Фазы жизненного цикла радужной форели

С постепенным истощением питательных запасов желточного мешка личинка начинает переходить на внешнее питание, становится более подвижной и начинает подниматься в воде. Длительность личинной стадии для радужной форели составляет 15–20 дней. После перехода на внешнее питание и прохождения метаморфоз личинка превращается в молодь, также известную как мальки. В жизненном цикле форели иногда выделяют стадии «пестрятки» и «смолта», характеризующиеся физиологическими изменениями, подготавливающими рыбу к переходу в морскую среду (Леман, Есин, 2008). Тем не менее при коммерческом выращивании радужной форели в пресноводных рыбоводных системах стадия смолтификации не проходит. Длительность периода развития мальков составляет 20–30 дней.

Впоследствии молодь получает определенные наименования в соответствии с их возрастом, такие как сеголетка, годовик, двухлетка и т. д. С возрастом у молоди увеличивается масса, становится более выраженной характерная для вида окраска, и начинается формирование половой системы.

Время развития различных возрастных групп зависит не только от температуры воды и уровня кислорода, но также от качества и количества потребляемого корма. Процесс развития от поднявшейся на плав личинки до малька занимает 1,5–3 месяца, выращивание сеголеток продолжается 3–4,5 месяца. От сеголеток до достижения товарной массы 200–250 г рыба вырастает за 4–6,5 месяцев. Для выращивания крупной товарной рыбы массой от 250 до 500 г при температуре воды от 5 до 15 °С требуется дополнительно 2,5–4,5 месяца (75–135 дней) (Войнарович, Хойчи, Мот-Поульсен, 2014).

Минимальной массой, при которой может начаться половое созревание радужной форели, является 0,8 кг, однако в большинстве случаев половозрелые рыбы имеют массу от 2 до 3 кг (Цуладзе, 1990).

Максимальная длина радужной форели может достигать 120 см, а ее масса – 25,4 кг. Средняя продолжительность жизни в природе варьируется от 7 до 11 лет, при этом жилые (оседлые) особи могут производить икру 6–7 раз в течение жизни, созревая ежегодно.

2. ПЛАНИРОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА ФОРЕЛЕВОГО ХОЗЯЙСТВА

2.1. Качество воды

Естественными показателями хорошего качества воды будет присутствие в ней ручьевой форели, гольяна, хариуса или раков. Предполагается, что вода, предназначенная для выращивания радужной форели, характеризуется следующими показателями:

- содержание кислорода – выше 80 % насыщения;
- pH – от 6,5 до 8,2 (оптимально 7,5);
- $БПК_5$ – до 4 мг/л;
- окисляемость – до 15 мг/л;
- жесткость (в немецких градусах) – 15 °С;
- содержание железа – до 0,5 мг/л;
- содержание аммиака до – 0,2 мг/л;
- содержание свободного диоксида углерода – до 5 мг/л;
- содержание взвешенных твердых частиц, химически инертных, – менее 80 мг/л.

Следует иметь в виду, что значение pH воды является существенным фактором при определении токсичности аммиака. Это связано с тем, что с увеличением значения pH увеличивается доля неионизированных токсичных молекул аммиака (ион аммиака практически нетоксичен).

В литературе считается, что 0,024 мг NH_3/л (12 % от летального значения LD_{50} = 0,2 мг NH_3/л неионизированного аммиака) – это максимум, который рыба может переносить в течение длительного времени. Для лососевых рыб это значение составляет 0,0125 мг/л (табл. 1).

Таблица 1. **Содержание свободного аммиака в растворах гидроокиси аммония при различных значениях pH и температуры, %**

Температура, °С	Активная реакция среды (pH)								
	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0,0083	0,026	0,083	0,261	0,82	2,55	7,64	20,7	45,3
1	0,0090	0,028	0,090	0,284	0,89	2,77	8,25	22,1	47,3
2	0,0098	0,031	0,098	0,308	0,97	3,00	8,90	23,6	49,4
3	0,0106	0,336	0,106	0,335	1,05	3,25	9,60	25,1	51,5

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4	0,0115	0,036	0,115	0,363	1,14	3,52	10,30	26,7	53,5
5	0,0125	0,040	0,125	0,394	1,23	3,80	11,10	28,3	55,6
6	0,1360	0,043	0,135	0,427	1,34	4,10	11,90	30,0	57,6
7	0,1470	0,046	0,147	0,462	1,45	4,44	12,80	31,7	59,5
8	0,0159	0,050	0,159	0,501	1,57	4,79	13,70	33,5	61,4
9	0,0172	0,054	0,172	0,542	1,69	5,16	14,70	35,3	63,3
10	0,0186	0,058	0,186	0,586	1,83	5,56	15,70	37,1	65,1
11	0,0201	0,064	0,201	0,633	1,97	5,99	16,80	38,9	66,8
12	0,0218	0,069	0,217	0,684	2,13	6,44	17,90	40,8	68,5
13	0,0235	0,074	0,235	0,738	2,30	6,92	19,00	42,6	70,2
14	0,0254	0,080	0,253	0,793	2,48	7,43	20,20	44,5	71,7
15	0,0274	0,087	0,273	0,859	2,67	7,97	21,50	46,4	73,3
16	0,0295	0,093	0,294	0,925	2,87	8,54	22,80	48,3	74,7
17	0,0318	0,101	0,317	0,996	3,08	9,14	24,10	50,2	76,1
18	0,0343	0,108	0,342	1,070	3,31	9,78	25,50	52,0	77,4
19	0,0369	0,117	0,368	1,150	3,56	10,50	27,00	53,9	78,7
20	0,0397	0,125	0,396	1,250	3,82	11,20	28,40	55,7	79,9
21	0,0427	0,135	0,425	1,330	4,10	11,90	29,90	57,5	81,0
22	0,0459	0,145	0,457	1,430	4,39	12,70	31,50	59,2	82,1
23	0,0493	0,150	0,491	1,540	4,70	13,50	33,00	60,9	85,2
24	0,0530	0,167	0,527	1,650	5,03	14,40	34,60	62,6	84,1
25	0,0569	0,180	0,566	1,770	5,38	15,30	36,30	64,3	85,1
26	0,6100	0,193	0,607	1,890	5,75	16,20	37,90	65,9	85,9
27	0,6540	0,207	0,651	2,030	6,15	17,20	39,60	67,4	86,8
28	0,0701	0,220	0,697	2,170	6,56	18,20	41,20	68,9	87,5
29	0,0752	0,237	0,747	2,320	7,00	19,20	42,90	70,4	88,3
30	0,0805	0,254	0,799	2,480	7,46	20,30	44,60	71,8	89,0

Как видно из табл. 1, при содержании аммиака, например, 0,3 мг/л, температуре воды 20 °С и pH 7,0 содержание неионизированного аммиака составит 0,0012 мг/л, а при pH 8,5 – 0,0335 мг/л, что уже явно выше значения, принятого в качестве критического. Есть и второй аспект этого вопроса. При кормлении рыба выделяет аммиак в качестве продукта метаболизма в количестве, пропорциональном количеству съеденного корма, а также степени его усвоения (полученный коэффициент конверсии корма). В среднем считается, что рыба выделяет 32 г аммиака из 1 кг скормленного корма. Поэтому значение pH воды чрезвычайно важно для определения производственной мощности. Имея значение pH и ожидаемую производительность (количество задаваемого корма), можно рассчитать концентрацию неионизированного аммиака в сточных водах, что, в свою очередь, позволяет определить,

в какой степени вода может быть повторно использована для разведения рыбы. На рис. 2 показано допустимое повторное использование воды при различных значениях pH и температуры, при максимальной концентрации неионизированного аммиака 0,0125 мг/л.

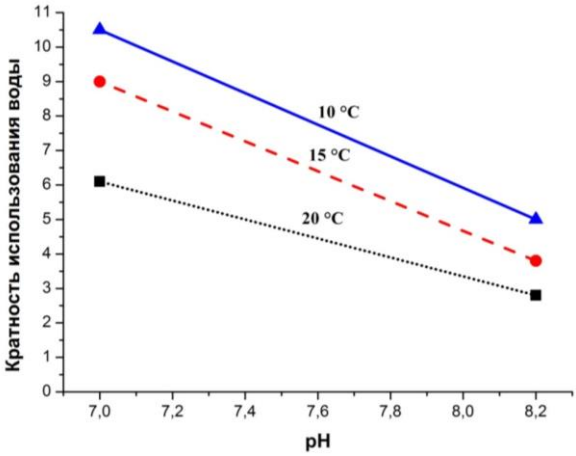


Рис. 2. Допустимое повторное использование воды при различных значениях pH и температуры, при максимальной концентрации неионизированного аммиака 0,0125 мг/л

2.2. Температурный режим

Наиболее важным фактором окружающей среды для разведения форели (по сути, не зависящим от человека) является температура воды. Было показано, что в условиях выращивания при постоянной температуре 16 °C ежемесячный прирост длины тела радужной форели составляет 25,4 мм, тогда как при 8 °C – только 6,3 мм. Исследователи утверждают, что годовалая и более взрослая форель может выдерживать повышение температуры до 25 °C, однако в исследовании «Критерии качества воды для европейских пресноводных рыб» говорится, что «20–21 °C следует рассматривать как верхний допустимый предел температуры для лососевых и форелевых вод в течение самого теплого сезона». Это мнение подтверждается дополнительными наблюдениями: повышение температуры воды до 20 °C вызывало заметное увеличение смертности радужной форели, а также необходимость полного прекращения ее кормления, что, очевидно, плохо сказывалось на дли-

тельности производственного цикла, величине кормового коэффициента, а значит, и на рентабельности разведения. Таким образом, следует помнить, что оптимальная температура для выращивания радужной форели находится в пределах 14–18 °С. Даже кратковременное повышение температуры свыше 25 °С не допускает пригодность воды для разведения, а длительное (более 7 дней) сохранение температуры выше 22 °С значительно ограничивает производственные возможности этого вида.

Тепловые данные по большинству рек публикуются в «Гидрологических ежегодниках поверхностных вод» многих регионов и стран, причем многолетние среднемесячные температуры, средние высокие температуры, а также периодические и наблюдаемые экстремальные температуры важны для планирования форелевых сооружений. Если строительство планируется на водотоке, термический режим которого не изучался, необходимо проводить систематические измерения температуры в течение как минимум одного года. Сравнивая полученные результаты с данными «Гидрологического ежегодника», полученными в ближайшей точке измерения на водосборе, можно будет сделать приблизительную оценку интересующих температур. Такая оценка должна также учитывать возможное протекание водотока через озеро, что, несомненно, повысит температуру летом, или степень затенения водотока, что понизит его температуру.

В некоторых случаях возможно регулирование температуры воды (в определенной степени), а именно если объект расположен ниже озера или водохранилища с тепловой стратификацией. В этом случае необходимо разработать двойную систему водозабора: поверхностной воды и из гиполимниона. Это позволит поддерживать температуру воды в оптимальном для роста радужной форели диапазоне летом и, как правило, не ниже 2 °С зимой.

2.3. Возможность забора воды

Следующим фактором в определении производства предлагаемого объекта является возможность забора воды. Его количество определяется (разрешение на водные права) путем вычитания 25 % от среднего низкого стока (СНС) водотока, который необходим для обеспечения неприкосновенного стока между забором и сбросом объекта. Поэтому разработчику необходимо знать значения СНС, а также (для определения степени риска) ЭНР (экстремально низкий расход). Показатели для

крупных водотоков можно найти в «Гидрологических ежегодниках»; если они отсутствуют, следует привлечь квалифицированных специалистов для оценки характерных потоков.

Определение минимального количества воды, вместе с оценкой ее качества и температуры, позволит определить количество продукции и таким образом спланировать необходимую площадь (объем) помещений для выращивания. Поскольку природные условия, возможности аэрации или насыщения кислородом и рекомендуемая плотность варьируются, приведем несколько показателей. В исторических рекомендациях указано, что для производства одной тонны товарной рыбы на предприятии с полным культурным циклом в «критический» период (низкие потоки и высокие температуры), т. е. в августе и сентябре, необходимо 5–15 л/с воды (макс. температура 15–22 °С соответственно). Некоторые авторы утверждают, что для производства тонны мальков (средней навеской 10 г) при температуре 10 °С и однократном использовании воды требуется скорость потока 12 л/с (пересчитанные цифры); другие авторы считают, что при питании поверхностной водой этот показатель составляет 5 л/с, а если температура не превышает 15 °С, то 3 л/с. По данным исследователей, для производства тонны личинок средней навеской 0,3 г необходим приток 22 л/с на 1 т, для мальков средней навеской 5,5 г – 14 л/с на 1 т, для мальков средней навеской 42 г/шт. – 5,5 л/с на 1 т, для мальков средней навеской 200 г – 4 л/с на 1 т. В случае нескольких видов использования воды, аэрации или насыщения кислородом производительность с «одного литра» может увеличиться во много раз. Известно о ферме, использующей плотность зарыбления посадки 50–75 кг/м^3 и получающей урожай 500 кг из 1 л/с воды с уровнем насыщения кислородом 250–300 %, в то время как другие авторы сообщают об урожае 2 000–3 000 кг годовой продукции форели из 1 л/с воды с использованием чистого кислорода.

2.4. Оценка объекта

Выбор участка требует оценки пригодности земли для строительства. Следует учитывать топографию участка, удобство доступа, возможность подведения электричества, площадь, необходимую для рационального размещения животноводческих помещений, перерабатывающих мощностей и станции очистки воды после производства. Не менее важным является возможность запрудить воду на водозаборе для снабжения предприятия. Для нормальной работы объекта необходимо перекрытие воды более чем на 1,5 м.

2.5. Методы определения производственной мощности

Для рационального планирования количества и типа прудов (бассейнов), размера инкубатория, площади хранилищ и бытовых помещений необходимо установить оптимальную схему и объем производства в данном месте. Поэтому необходимо разработать программу разведения, основанную на модели роста и смертности форели, позволяющую определить состояние биомассы рыбы в определенное время года и так называемый кислородный баланс, в соответствии с которым подбирается наиболее рациональная схема разведения форели.

2.6. Выживание и рост

При планировании объемов производства товарной рыбы необходимо знать количество необходимых нерестовиков, количество икры, инкубации и мальков. Также необходимо прогнозировать прирост массы в течение производственного цикла, чтобы определить необходимое количество воды и корма, места выращивания и их тип. Для расчета производственной мощности необходимо знать показатели, характеризующие популяцию разводимой радужной форели (табл. 2). Таблица составлена на основе литературных данных. Показатели выживаемости демонстрируют результаты, полученные в правильно построенных помещениях и при использовании хороших методов выращивания рыбы. Их значение в «диапазоне» соответствует очень хорошим и достаточным результатам выращивания. Табл. 3 может быть использована для уточнения (гипотетической) модели смертности.

Таблица 2. **Выживание радужной форели весеннего и осеннего нереста**

Стадия развития	Весенний нерест		Осенний нерест	
	Значения выживаемости	Диапазон	Значения выживаемости	Диапазон
Плодовитость, количество икринок на 1 кг массы тела самки		1 500		1 500
Яйца от оплодотворения до инкубации	0,70	0,9–0,6	0,50	0,7–0,2
Вылупление в период выращивания	0,85	0,9–0,75	0,80	0,9–0,3
Сеголетка	0,75	0,8–0,60	0,80	0,85–0,70
Первая зимовка	0,90	0,95–0,80	0,95	0,98–0,80
Двухлетка	0,95	0,97–0,90	0,95	0,97–0,90
От икры до товарной рыбы	0,38	0,53–0,19	0,25	0,51–0,15
Отбор в 3 года	0,95	–	0,95	–
В период нереста	0,60	–	0,60	–

Таблица 3. **Гипотетическое выживание радужной форели на разных стадиях выращивания (множители, включая отсев и их инверсии*)**

Выращивание в инкубаторе	Выведение мальков в первый год							Первая зимовка	
	*Стадия выживания	Выживаемость по календарным месяцам							
		VI	VII	VIII	IX	X	XI		
0,85	0,75	0,915	0,935	0,955	0,965	0,970	0,975	0,90	
Инверсии									
1,176	1,334	1,093	1,070	1,047	1,037	1,030	1,026	1,111	
Выращивание рыбы во второй год									
Выживание в период	Выживаемость по календарным месяцам								
	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
0,95	0,99	0,992	0,992	0,992	0,994	0,996	0,997	0,998	0,999
Инверсии									
1,053	1,010	1,009	1,008	1,008	1,006	1,004	1,003	1,002	1,001

*Удвоения определяют обилие рыбы, начиная с ее конечного состояния, т. е. в порядке, прямо противоположном использованию множителей.

Разработка модели выращивания форели в заданных условиях также требует способности прогнозировать характер роста рыбы. В табл. 4 показано ежемесячное увеличение длины тела радужной форели от стадии инкубационного нагула до конца второго года жизни в зависимости от средней температуры воды. Таблица иллюстрирует темпы роста при средних условиях выращивания.

Таблица 4. **Ежемесячный рост длины тела (мм) радужной форели от кормовой инкубационной стадии (в среднем 25 мм) до конца второго года жизни**

Среднемесячная температура воды, °С	Ежемесячное увеличение длины, мм	Среднемесячная температура воды, °С	Ежемесячное увеличение длины, мм
1	1	10	12,8
2	3	11	14,8
3	5	12	16,9
4	6	13	18,9
5	7	14	20,9
6	8	15	23,0
7	8,7	16	25,0
8	9,7	17	23,0
9	10,8	18	20,9

Ниже показан метод прогнозирования характера роста особей. Предположим, что среднемесячные температуры воды (SST) следующие:

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
t, °C	1,0	2,4	5,4	9,5	11,5	16,9	18,0	17,5	14,0	8,6	5,0	2,5

Среднемесячные температуры анализируемого водотока должны быть округлены в большую сторону.

Предположим далее, что личинки были получены в начале июня. Средняя длина начинающей питаться личинки составляет 25 мм, а активно питающейся – 31 мм. Вопрос: мальков какого размера следует ожидать к концу октября?

Согласно табл. 4 будут получены следующие приросты длины: в июне – 23 мм, в июле – 20,9 мм, в августе – 23 мм, в сентябре – 20,9 мм и в октябре – 10,8 мм. Таким образом, средняя длина мальков в конце октября должна составлять 31 (длина кормящихся мальков) + + 23,0 + 20,9 + 23,0 + 20,9 + 10,8 = 129,6 мм = 13 см. Средняя масса малька определяется по коэффициенту упитанности по Фултону:

$$W = (K(l_0 + l)^3) : 100,$$

где K – коэффициент упитанности;

W – масса рыбы, г;

l_0 – начальная длина, мм;

l – прирост длины (табл. 4), мм.

Используя «научный» калькулятор, среднюю массу измеренной рыбы оценивают по формуле $W = 0{,}0136858 \cdot (l_0 + l)^{2{,}93635}$.

Для тех, кто не любит экспоненциальные функции, масса и коэффициенты упитанности для радужной форели разных размеров приведены в табл. 5.

Таблица 5. **Взаимосвязь между длиной, массой и коэффициентом упитанности у радужной форели**

Длина, мм	Масса, г	Коэффициент упитанности	Длина, мм	Масса, г	Коэффициент упитанности
1	2	3	4	5	6
3	0,3	1,11	19	80,5	1,17
4	0,8	1,25	20	90,5	1,19
5	1,5	1,20	21	109,0	1,18
6	2,8	1,30	22	125,0	1,17
7	4,3	1,25	23	142,0	1,17
8	6,2	1,21	2	160,0	1,16
9	9,0	1,23	25	179,0	1,15
10	12,3	1,23	26	198,0	1,13
11	17,7	1,33	27	218,0	1,11

Окончание табл. 5

1	2	3	4	5	6
12	21,0	1,21	28	240,0	1,09
13	26,0	1,18	29	260,0	1,07
14	30,0	1,09	30	280,0	1,04
15	36,5	1,08	31	310,0	1,04
16	45,0	1,10	32	340,0	1,04
17	55,0	1,12	33	382,0	1,06
18	66,5	1,14	34	432,0	1,10

В нашем примере средняя масса мальков в конце октября составит 26,0 г. Используя описанный метод и применяя коэффициенты выживаемости, приведенные ранее, можно рассчитать продолжительность производственного цикла заготовительной рыбы и массу рыбы в каждом месяце этого цикла. Эти трудоемкие расчеты можно заменить использованием компьютерных программ разведения, таких как датская DJURNAL или польская BAHOR, которые позволяют моделировать рост форели любого начального размера и в любое время.

2.7. Кислородный баланс

Предполагается, что форель может использовать примерно 40 % кислорода, растворенного в воде. На практике это означает, что только определенная часть растворенного кислорода, превышающая так называемый порог полной кислородной адаптации, будет доступна для выращиваемой рыбы. Уровень порога аэробной адаптации зависит от температуры воды, как и растворимость кислорода в воде. Предполагается, что порогом для полной адаптации к кислороду является значение насыщения 60 %.

Потребность форели в кислороде в зависимости от температуры воды и размера рыбы представлена в табл. 6. Содержание кислорода, указанное в таблице при 100 % насыщении, при составлении кислородного баланса должно быть пересчитано в соответствии с фактической степенью насыщения. Имеется также иной способ определения потребности радужной форели в кислороде. Он предполагает, что при температуре 20 °С потребление кислорода составляет:

- нерестовики и инкубатор – 0,04 мг O_2/кг рыбы в секунду;
- откормочная форель – 0,06 мг O_2/кг рыбы в секунду;
- мальки – 0,1 мг O_2/кг рыбы в секунду.

Количество располагаемого (доступного) кислорода рассчитывается как разница между его содержанием в поступающей воде и пороговым значением, ниже которого форель не может усвоить кислород. Это значение можно взять из табл. 6, согласно которой оно составляет 5 мг O_2/л.

Таблица 6. **Зависимое потребление кислорода от температуры**

Температура, °С	Кислород 100 % насыщения, мг/л	Адаптационный порог, мг/л	Количество в наличии кислорода на 100 % насыщения	Потребление кислорода, мг/кг рыбы			
				рыба < 25 г		рыба > 25 г	
				1 с	1 мин	1 с	1 мин
1	14,2	8,5	5,7	0,009	0,54	0,005	0,3
2	13,8	8,3	5,5	0,011	0,66	0,006	0,4
3	13,5	8,0	5,5	0,015	0,90	0,008	0,5
4	13,1	7,9	5,3	0,018	1,00	0,009	0,5
5	12,8	7,6	5,2	0,025	1,40	0,012	0,7
6	12,5	7,4	5,0	0,026	1,60	0,013	0,8
7	12,2	7,3	4,9	0,030	1,80	0,015	0,9
8	11,9	7,1	4,8	0,034	2,00	0,017	1,0
9	11,6	6,9	4,7	0,040	2,40	0,020	1,2
10	11,3	6,8	4,5	0,045	2,70	0,023	1,4
11	11,1	6,6	4,5	0,050	3,00	0,025	1,5
12	10,9	6,5	4,3	0,055	3,30	0,028	1,7
13	10,6	6,3	4,3	0,061	3,70	0,031	1,9
14	10,4	6,2	4,2	0,070	4,20	0,035	2,1
15	10,2	6,1	4,1	0,076	4,60	0,038	2,3
16	10,0	6,0	4,0	0,084	5,00	0,042	2,5
17	9,8	5,8	3,9	0,091	5,50	0,056	2,8
18	9,6	5,7	3,8	0,100	6,00	0,050	3,0
19	9,4	5,6	3,7	0,110	6,60	0,055	3,3
20	9,2	5,5	3,7	0,120	7,20	0,060	3,6
21	9,0	5,4	3,6	0,130	7,80	0,055	3,9
22	8,8	5,3	3,5	0,141	8,50	0,072	4,3
23	8,7	5,2	3,4	0,160	9,60	0,080	4,8
24	8,5	5,1	3,4	0,167	10,00	0,084	5,0
25	8,4	5,0	3,3	0,181	10,90	0,086	5,5

Масса рыбы, которую можно выращивать на конкретном притоке, может быть рассчитана по данным табл. 6 или по формуле

$$G = (Q \cdot X_{dysp}) : Z,$$

где G – масса рыбы, г;

Q – приток воды, л/с;

X_{dysp} – содержание одноразового кислорода, %;

Z – потребность в кислороде, мг O_2/кг рыбы в секунду.

Необходимо выполнить первый этап расчета мощности путем составления таблицы среднемесячных высоких температур (SWT), среднемесячных низких потоков (SNQ) и одноразового количества кислорода для каждого месяца в соответствии с вышеуказанными данными.

2.8. Производственная мощность планируемого объекта

Все данные должны быть сведены в таблицу с разбивкой по месяцам. Первая часть таблицы должна включать:

- среднемесячные высокие температуры (SWT);
- среднемесячные температуры (SST);
- среднемесячные низкие потоки (SNQ);
- количество доступного кислорода, рассчитанное по табл. 6 с учетом насыщения воды при условиях SWT и SNQ.

Вторая часть таблицы должна содержать данные о планируемом производстве. Его объем будет ограничен доступным кислородом в так называемый критический период (высокие температуры при низких потоках и относительно большая масса рыбы в сооружениях для разведения). Доступное количество кислорода должно первоначально распределяться следующим образом: для товарной рыбы – 78 %, для мальков – 17 %, для инкубационных цехов – 5 %.

Эти цифры рассчитаны для объекта, где мы предполагаем проводить полный цикл разведения, используя собственные инкубационные модули. Первый этап установления производственной мощности включает в себя расчет среднемесячной массы рыбы на протяжении всего цикла разведения исходя из среднемесячной температуры воды и данных табл. 4. Если мы планируем производить весеннюю нерестовую форель, то в качестве даты начала кормления маточного поголовья длиной 25 мм принимаем начало июня; если планируем производить осеннюю нерестовую форель – начало апреля, со средней длиной 55 мм. Зная среднюю массу рыбы, предназначенной для так называемой товарной рыбы в критический период, необходимо перейти к определению объема производства товарной рыбы:

- рассчитываем возможную биомассу рыбы, которая будет произведена в августе и сентябре при 78 % доступного кислорода, предполагая на основании табл. 6 потребление кислорода при температуре, равной SWT;

- зная среднюю массу рыбы в критический период, вычисляем ее количество;

- количество минус потери (до достижения товарного размера (см. табл. 3) даст количество товарной рыбы и ее общую массу, т. е. целевой объем производства;

- принимая коэффициенты выживаемости, приведенные в табл. 2 и 3, рассчитываем количество рыбы в каждом месяце выращивания, принимая за отправную точку количество товарной рыбы;

- на основе средней массы и численности получаем биомассу рыбы в каждом месяце выращивания;

- проверяем, покрывает ли ориентировочное распределение доступных запасов кислорода потребности рассчитанного количества мальков и производителей. Если нет, распределение доступного кислорода корректируем и расчет повторяем;

- записываем средние значения массы и количества, а также общую массу (откормочной рыбы, мальков и икры) в отдельные строки;

- принимаем число и общую массу нерестов и отборов за константу в течение всего цикла размножения;

- на основании табл. 6 рассчитываем потребление кислорода мальковыми и инкубационными модулями в течение всего цикла размножения;

- проверяем, является ли достаточным количество доступного кислорода для предполагаемого производства.

Поскольку объем производства рассчитывается исходя из условий в критический период, обычно оказывается, что в оставшиеся месяцы имеется избыток кислорода. Он может быть использован в определенной степени путем оптимизации производственного профиля. Конечно, универсального рецепта не существует, но тем не менее есть несколько способов сделать это, как с точки зрения профиля производства, так и с точки зрения технических решений. Например, можно увеличить производство мальков за счет товарной рыбы, или, наоборот, – основывать производство товарной рыбы на покупке мальков, или разводить форель в разные сроки нереста, что значительно продлит период продажи товарной рыбы и тем самым увеличит общую массу рыбы сверх «критического периода». Применяя технические решения, можно использовать в два или даже в три раза больше питательной воды при значительной разнице в уровнях питательной и сбросной воды (проверьте ожидаемое содержание неионизированного аммиака (табл. 1, рис. 1)). По приблизительным данным, при каскад-

ном сбросе воды (вытекающей из пруда с рыбой) с пониженным содержанием кислорода до 60 % можно добиться увеличения содержания кислорода примерно на 1 мг/л на каждые два сантиметра сброса.

Другим способом повышения содержания кислорода является использование механических аэраторов, которые следует выбирать в зависимости от условий. При низкой скорости потока это должны быть устройства, форсирующие поток, например лопастные или инжекторные аэраторы, а при сильном потоке – пропеллерные аэраторы, выбрасывающие забортную воду вверх. Отличным решением являются аэрационные колодцы, в которых вода поступает через щель между дном и стенкой, разделяющей колодец на две части на глубину около 4 м. С обеих сторон колодца на дне установлены диффузоры для подачи воздуха от воздуходувки. В результате отмечается:

- высокая степень насыщения воды кислородом в результате длительного контакта с воздухом и повышенной растворимости, обусловленной глубиной скважины;

- удаление газообразных продуктов метаболизма, таких как углекислый газ, из приточной воды;

- значительное повышение уровня текущей воды в результате эффекта эрлифтного насоса.

При планировании строительства аэрационного насоса следует учитывать, что увеличение глубины колодца повышает процент насыщения воды кислородом, но также требует установки более мощного двигателя для питания воздуходувки на 1 кВт на каждый метр. Это делает колодцы глубиной более 4 м неэкономичными.

Взаимосвязь между глубиной колодца, на которой происходит отток воздуха, и поглощением кислорода водой описывается формулой

$$S = –0{,}09 + 0{,}58A,$$

где S – глубина погружения распылителя, м;

A – поглощение кислорода, %.

Ниже 3 м эта зависимость теряет свою линейность и скорость увеличения поглощения начинает снижаться. Аэрационный колодец может также выступать в качестве так называемого эрлифтного насоса для поднятия уровня аэрируемой воды. Движущей силой здесь является разница в удельном весе воды и ее смеси с воздухом. Производительность зависит от степени погружения (отношение подъема к глубине погружения) распределения воздуха по отношению к потоку воды. Степень погружения рассчитывается по формуле

$$S = (H_g - H_p) / H_g,$$

где S – степень погружения, см;

H_g – глубина погружения, см;

H_p – высота подъема, см.

Производительность такого насоса можно рассчитать по формуле

$$Q = (0{,}758 S^{3/2} L^{1/3} + 0{,}01196) D^{2.2},$$

где Q – максимальная производительность насоса при оптимальном расходе воздуха, л/с;

S – степень погружения, см;

L – длина (высота) насоса, см;

D – диаметр, см.

Применение интенсивных методов аэрации, таких как инжекторно-сифонная система, использование подогретой воды или воды, забираемой из глубоких слоев озер, создает риск газопузырьковой болезни в результате насыщения атмосферными газами. В природных условиях вода часто перенасыщена одним или несколькими атмосферными газами (азот, кислород, углекислый газ, аргон), если общее давление всех их, растворенных в воде (P_{calc}), превышает сумму фактического атмосферного (P_{atm}) и гидростатического (P_{hydr}) давлений. Мерой перенасыщения является процент насыщения воздуха, также выраженный в миллиметрах ртутного столба (мм рт. ст.), т. е. величина полного перепада давления ΔP_{calc} определяется следующим образом:

$$\Delta P_{calc} = (PO_2 + PN_2 + P\mathrm{Ar} + PCO_2 + PH_2O) - P_{atm} - P_{hydr},$$

где PO_2, PN_2, $P\mathrm{Ar}$, PCO_2, PH_2O (водяной пар) – парциальное давление указанных газов в воде, мм рт. ст.

Чрезмерно высокие общие значения вызывают газопузырьковую болезнь, форма которой (острая, хроническая) зависит от величины общего перепада давления и продолжительности его действия, но даже значительный переизбыток кислорода (250–300 %) не вызывает опасных симптомов, так как следует помнить, что кислород составляет лишь около 20 % воздуха и увеличение его содержания вызывает изменение пропорции состава. Для мальков лососевых рыб граничный безопасный уровень составляет 30 мм рт. ст., т. е. приблизительно 104 % перенасыщения. Когда пределы перепада давления не превышены, каскадирование является эффективным средством деаэрации, а радикальным решением проблемы избытка газа, а также недостатка

кислорода является колонка, заполненная материалом с большой удельной поверхностью, через которую пропускается вода (Karpiński, 1997).

Наконец, все большее распространение получает прямое смешивание воды с чистым кислородом, вплоть до насыщения, которое иногда значительно превышает 100 %. По данным, полученным от компании «Oxymat», каждый дополнительный килограмм кислорода, внесенный в воду, позволяет увеличить производство товарной рыбы на 2,5 кг.

Представленный метод определения производственных возможностей или выбора оптимальной программы выращивания, несомненно, несовершенен и трудоемок. Поэтому его следует рассматривать как одно из возможных решений, тем более что уже существуют селекционные программы, с помощью которых можно быстро и легко смоделировать любую селекционную ситуацию и стратегию. Однако следует помнить, что все расчеты (в том числе с использованием компьютерных программ) должны быть основаны на предположениях, соответствующих логике и передовым знаниям в области селекции.

2.9. Потребность в воде на различных этапах выращивания

Потребность в воде в период инкубации эмбрионов и на начальном этапе выращивания мальков следующая:

- эмбрионов от оплодотворения до стадии глазка – 0,4 л/с на 100 000 шт.;
- эмбрионов от стадии глазка до выклева – 0,8 л/с на 100 000 шт.;
- от выклева до начала кормления – 1,5 л/с на 100 000 шт.

Потребность в воде в инкубационных, питомниковых, нагульных и нерестовых бассейнах рассчитывается на основе кислородного баланса по методике, представленной ранее.

При проектировании следует помнить, что поступающая вода не только обеспечивает необходимый рыбам кислород, но и должна, по возможности, удалять продукты метаболизма. Такие условия будут поддерживаться, когда полная смена воды происходит каждые 15–30 мин, а скорость потока, измеряемая в сантиметрах в секунду, равна двух-трехкратной длине выращиваемой рыбы. Повышенная скорость потока не вредит форели, но приводит к значительным затратам энергии на преодоление течения и, следовательно, снижает эффективность использования корма.

2.10. Рециркуляция

Уже в середине 1970-х гг. рециркуляция, т. е. повторное использование воды, стала применяться при разведении и выращивании теплолюбивых рыб из-за огромных затрат на нагрев воды в открытой системе. Необходимым условием успеха была хорошо функционирующая система биологической очистки для удаления продуктов метаболизма (аммиака, нитритов и углекислого газа). Эти установки требовали тщательного обслуживания и были дорогостоящими как в строительстве, так и в эксплуатации. Значительный технологический прогресс привел к использованию рециркуляции в форелеводстве, поскольку она позволяет избежать двух основных ограничений. Во-первых, количество доступной воды ограничено разрешением на право пользования водными ресурсами, что чаще всего препятствует значительному увеличению производства. Во-вторых, крайне сложно найти место для строительства объектов, которые позволили бы сделать объемы производства достаточно рентабельными. С другой стороны, при соответствующей реконструкции и использовании оборотной воды можно добиться значительного увеличения производства при том же или даже меньшем объеме забираемой воды. Даже используя небольшие водотоки с пропускной способностью в несколько десятков литров в секунду, можно производить более сотни тонн товарной рыбы.

Существующие системы рециркуляции требуют, чтобы каждый пруд был оборудован элементом для удаления ила, расположенным выше по течению от водосброса и недоступным для рыбы. Осадок собирается в специально построенном донном углублении, заканчивающемся входом в трубопровод, ведущий в отстойник. Входное отверстие закрыто установленной трубой, выступающей над уровнем воды в эксплуатируемом пруду. Осадок периодически удаляется путем поднятия трубы, закрывающей вход в трубопровод.

Следующим элементом системы рециркуляции является аэрационный колодец, часто также выполняющий роль эрлифтного насоса или устройства, нагнетающего в воду чистый кислород. Насыщенная кислородом вода проходит через биологический фильтр, где продукты обмена веществ нейтрализуются (аммиак, нитриты) и удаляются (углекислый газ, взвешенные частицы). В нижней части фильтра находится устройство для равномерного распределения подаваемого воздуха. Фильтр заполняется пластиковыми формочками или гораздо более дешевым готовым керамзитом, которые имеют удельный вес немного больше, чем вода, и большую удельную поверхность, обеспечивая субстрат для нитрифицирующих бактерий.

Заполнение отдельных фильтрующих камер периодически промывается с помощью обратного потока воды и аэрации. Промытый осадок по трубопроводу подается в отстойник.

2.11. Площадь и объем объектов

Если прудовые рыбоводы традиционно используют термин «площадь поверхности», то современные форелевые рыбоводы часто используют термин «объем». Это связано с тем, что рыбоводы используют небольшие площади, а также широко используемый показатель плотности зарыбления форелью, выраженный в килограммах на кубический метр воды. Как правило, размер сооружений подбирается в соответствии с размером помещенных в них рыб. Вылупление мальков происходит в так называемых питомниках – лотках или резервуарах, которые обычно имеют единичную площадь не более 20 м^2 и глубину 40 см. Максимальная плотность посадки здесь не должна превышать 30 кг/м^3.

Пруды (или бассейны) для мальков предназначены для рыб первого года жизни, когда они обычно достигают массы от 0,5 до 60 г/гол. Это *бетонные лотки* (площадь обычно не превышает 20 м^2), бетонные и земляные пруды, предпочтительно траншейного или роторного типа (площадь не превышает 100 м^2). Плотность зарыбления прудов мальками обычно не превышает 50 кг/м^3. Некоторые авторы приводят количество воды, необходимое для 1 кг форели, в зависимости от ее удельного веса, температуры и частоты водообмена (табл. 7). Использование оксигенации позволяет проводить инкубационное выращивание и получать доступных мальков до 2 г/шт. при плотности 50–75 кг/м^3.

Таблица 7. **Вода (в литрах), необходимая для килограмма форели с удельным весом более 3 г, при различных температурах и частоте замены**

Температура воды, °С	Вода, л									
	Частота замены, мин					Частота замены, мин				
	60	30	15	10	5	60	30	15	10	5
	Навеска 3–40 г					Навеска более 40 г				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
7	44	22	11	7	3,7	20	11	5,5	4	1,8
10	72	36	18	12	6	36	18	9	6	3
12	90	45	22,5	15	7,5	46	23	11,5	7,5	3,8
14	120	60	30	20	10	60	30	15	10	5

Окончание табл. 7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
15	134	67	33	22	11	66	33	16,5	11	5,5
16	152	76	38	25	13	78	39	19	13	6,5
18	180	90	45	30	15	90	45	22	15	7
20	228	114	57	38	19	114	57	28	19	9
22	284	142	71	47	24	144	72	36	24	12
24	360	180	90	60	30	180	90	45	30	15

Нагульные пруды (бассейны). Наиболее популярными являются пруды (бассейны) с дорожками, которые характеризуются постоянным соотношением размеров (длина к ширине и глубине как 30:3:1) и притоком и оттоком воды по всей ширине. Такие пруды, если позволяет pH воды, строятся в виде батарей по три штуки, одна за другой, что позволяет лучше использовать воду. Вода должна подаваться со скоростью четыре раза в час. Это немаленькие потоки, так как легко подсчитать, что батарея из трех прудов (бассейнов) (90 м^3, 30×3×1 м) нуждается в притоке 100 л/с. При хороших тепловых условиях, например при температуре 15 °С, в этих прудах может быть достигнута плотность около 80 кг/м^3 (рыба – 15 см). Смена воды четыре раза в час в прудах (бассейнах) размером 30×3×1 м обеспечивает быстрое удаление растворимых продуктов метаболизма, позволяя при этом осаждать фекалии в конечной части пруда.

Нерестовые пруды (бассейны). Учитывая, что нерестовое поголовье является наиболее ценной частью зарыбления, необходимо обеспечить оптимальные условия для нерестовиков и инкубаторов.

В идеале постоянная температура воды в 12 °С должна быть обеспечена в течение как минимум шести месяцев до нереста. По мнению некоторых авторов, в нерестовом пруду (бассейне) необходима относительно высокая прохлада: 0,3–0,5 м/с чистой и хорошо оксигенированной воды. Пруды (бассейны) с естественным субстратом обеспечивают лучшие условия для нереста, чем пруды (бассейны) из бетона или пластика. Поэтому нерестовый пруд (бассейн) должен напоминать естественное русло реки с минеральным дном и формой, обеспечивающей (при наличии притока) скорость воды не менее 0,3 м/с. Норма зарыбления пруда (бассейна) должна быть определена с помощью методов, описанных ранее, но с учетом того, что рекомендуется низкая плотность зарыбления. Оказывается, что максимальная плотность зарыбления нерестовых прудов (бассейнов) не должна превышать 10 кг/м^3.

2.12. Технические средства

Каждое форелевое хозяйство должно иметь сооружения для обеспечения удаления загрязняющих веществ перед сбросом воды после производства в принимающий водный объект. Самым простым и дешевым (с точки зрения эксплуатации) решением является пруд-отстойник, обеспечивающий отстаивание воды, вытекающей из сооружения, не менее 40 мин. Если поток воды распределен равномерно, значительная часть взвешенных веществ культуры будет седиментирована (осаждена). Конечно, чем дольше время задержания, тем лучше условия очистки воды. Идеальным решением было бы пропустить производственную воду через неглубокие земляные пруды с мощной растительностью. Очистка производственной воды будет подробно рассмотрена в одной из следующих глав.

Согласно рекомендациям Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН и Всемирной организации здравоохранения, каждое рыбоводческое предприятие должно иметь хранилища для кормов, оборудования и химикатов, а также социально-бытовые и санитарные помещения для персонала и внутренние дороги с твердым покрытием.

Размер кормохранилища должен позволять хранить продукты, покрывающие как минимум месячную потребность, но срок хранения не должен превышать двух месяцев. Выгоднее покупать полные грузовики корма, т. е. 24 т (30 паллет). С учетом размеров поддона (85×125 см) и необходимого пространства для погрузочно-разгрузочных работ площадь хранения 24 т на поддонах составит 60 м^2. На складе кормов также должно быть место для весов и контейнеров для ежедневного рациона. Конструкция здания должна обеспечивать защиту от влаги, прямых солнечных лучей и хорошую вентиляцию. Здание должно быть оборудовано пандусом для быстрой разгрузки корма.

Склад оборудования должен обеспечивать надлежащее хранение (включая сушку сеток). Здание для хранения химических веществ и лекарств должно эффективно защищать их от сырости, мороза и несанкционированного доступа.

Каждый объект должен иметь помещения, предназначенные для гардероба, комнаты для сушки одежды, зоны приема пищи, умывальных и туалетных комнат. Санитарные стоки должны сбрасываться в канализацию или герметичный септик.

К складу кормов и скрубберов должна вести асфальтированная подъездная дорога. Кроме того, должна быть погрузочная площадка для погрузки живой рыбы в автоцистерны. По санитарным соображениям рекомендуется размещать эту станцию за пределами зоны разведения. Вода, вытекающая из транспортных резервуаров, должна отводиться через специальный коллектор под разводящей частью сооружения.

Внутренняя транспортировка рыбы с помощью стационарных трубопроводов, расположенных в дамбах, значительно облегчает сортировку, зарыбление и продажу рыбы, одновременно снижая стресс, вызванный этими манипуляциями.

3. ПРАВИЛА ВЕДЕНИЯ СЕЛЕКЦИОННО-ПЛЕМЕННОЙ РАБОТЫ. ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ РЕМОНТНО-МАТОЧНЫХ СТАД

3.1. Основные задачи и направления селекционно-племенной работы

Селекционно-племенной работе принадлежит одна из главных ролей в развитии аквакультуры. Формирование и поддержание чистопородных маточных стад, составляющих наиболее ценную часть генофонда разводимых рыб и одновременно являющихся основными ресурсами для селекции, становится все более актуальной задачей для развития рыбоводного потенциала страны.

Основные задачи организации селекционно-племенной работы:

- сохранение и поддержание в маточных стадах генетического разнообразия на стабильном уровне через поддержание селекционных признаков, определяющих однородность, отличимость и стабильность конкретной породы, линии и породных типов, в чистоте;
- улучшение существующих селекционных признаков;
- выведение новых селекционных признаков и создание селекционных достижений;
- перспективное планирование селекционно-племенной работы с племенным поголовьем для получения высококачественного посадочного материала, удовлетворяющего потребности товарных хозяйств;
- совершенствование биотехники содержания рыб.

При составлении плана селекционно-племенной работы необходимо определить главные цели селекционного процесса:

- определение объектов для разведения;
- изучение биологических особенностей выбранных объектов;
- разработка методологии разведения рыб в условиях крупномасштабного производства;
- создание маточных стад пород рыб с биологическими признаками, наиболее полно соответствующими поставленным задачам;
- внедрение схемы крупномасштабной селекции (КМС) как наиболее эффективного способа использования наследственного потенциала высокопродуктивных пород и промышленных кроссов, в частности в форелеводстве;
- определение перспективных направлений для качественного улучшения созданного генофонда рыб.

Все вышеуказанные цели вызывают необходимость постановки единой рыбоводно-селекционной задачи, которая основана на принципе наиболее полного использования биологического потенциала культивируемых объектов с целью получения от них максимального экономического эффекта.

Основные направления для достижения указанной задачи:

1. Выращивание за максимально короткие сроки крупной половозрелой форели массой не менее 1 кг, которая пригодна для дальнейшей переработки и получения пищевой икры. В этом случае экономическая эффективность выращивания форели в 1,5 раза выше при тех же затратах. Следовательно, для этого необходимо проводить взаимосвязанный отбор по массе тела и рабочей плодовитости. Также необходимо проводить для наиболее полной реализации генетического потенциала отбор рыб по таким критериям качества производителей, как ускоренное половое созревание самок и достижение высокого уровня выживаемости потомства от них за счет улучшения биотехники содержания и выращивания форели.

2. Достижение круглогодичного производства посадочного материала, для чего необходимо разведение пород с чередующимися друг за другом нерестовыми циклами. Применение подобных схем обеспечивает наиболее полную загрузку рыбоводного оборудования (увеличивает продуктивность хозяйства) и служит предпосылкой для организации непрерывного производства товарной продукции. Главным направлением селекции в данном случае служит отбор производителей по срокам созревания в нерестовом сезоне.

Для реализации намеченных работ основными методами селекции являются отбор и скрещивание, однако в зависимости от конкретной цели методические приемы и способы их проведения могут отличаться. Важнейшими элементами селекционного процесса являются оценка, отбор и подбор пар производителей для их последующего скрещивания.

Критерии оценки рыб.

Планомерная систематическая оценка особей маточного стада является основным элементом селекционного процесса. Полученные данные позволяют определить уровень изменчивости рыб, определить границы отбора производителей и их подбора для скрещивания. Оценку проводят по количественным и качественным признакам.

К количественным относят хозяйственно полезные признаки, определяющие общую продуктивность и ряд технологических приемов.

Они характеризуются комплексным наследованием, и их проявление обусловлено в значительной степени влиянием внешней среды. Для характеристики породы по количественным признакам применяют в основном биометрические параметры: среднюю арифметическую, среднее квадратичное отклонение, коэффициент вариации.

Качественные признаки четко выражены в фенотипе, и их проявление вызвано одним или несколькими генами. К ним относят окраску тела, группу крови и др. На такие признаки практически не влияют условия внешней среды. Для характеристики пород по этим признакам используют частоты генов и генотипов, а также специальные методы биологической статистики.

Для поддержания породы в чистоте необходимо осуществлять регулярный систематический мониторинг маточных стад по комплексу признаков отличимости, однородности и стабильности каждого селекционного достижения. Кроме того, он должен включать в себя периодическую генетическую паспортизацию и, что важно, оценку производителей по качеству потомства как надежный критерий оценки племенной ценности маточных стад.

При использовании комплекса пород следует выявить главные определяющие различия между ними и проводить дифференцированное использование их с наибольшей эффективностью.

Для совершенствования существующих или получения новых селекционных достижений необходимо расширить набор признаков, подлежащих оценке, с целью углубленного изучения динамики роста в онтогенезе, особенностей нереста, развития воспроизводительной системы, адаптации к условиям искусственного разведения и т. д. Это позволит получить информацию о биологической структуре сообщества разводимых рыб и выделить потенциальные объекты для селекции: отводки, линии или отдельные группы.

Результат селекции в значительной степени зависит от числа признаков, по которым ведется селекция. Чем меньше признаков учитывается при отборе, тем быстрее достигается цель селекции. Однако это может привести к отрицательным последствиям – снижению жизнеспособности организмов. Во избежание селекционной депрессии отбор проводят по нескольким признакам, опираясь на результаты бонитировки, т. е. комплексной оценки животных по совокупности признаков и распределения их на классы или группы в соответствии с этой оценкой.

Для оценки выбираются признаки, важные по биологической и экономической перспективности их для селекции. Интервал и крите-

рии отбора определяют или нормативными величинами, или максимальными показателями по конкретному признаку в конкретных условиях выращивания, опираясь на среднюю величину и стандартное отклонение. Такой подход придает универсальный характер оценке производителей и может применяться независимо от особенностей применяемой биотехники выращивания.

Хозяйственно полезные признаки.

1. Масса тела – показатель, отражающий прирост биомассы в конкретных условиях содержания. Данный признак служит общепринятым критерием оценки и отбора на ускорение темпов роста, которые довольно сильно зависят от внешних факторов среды обитания (температурный и гидрохимический режимы, плотность посадки, количество и качество корма). Наследуемость этого признака невысока, причем у самцов выше, чем у самок. Несмотря на это, селекция по данному признаку достаточно эффективна, что подтверждено рядом исследований. Селекция рыб по данному признаку в молодом возрасте способствует более раннему созреванию и улучшает продуктивные качества.

2. Линейные параметры тела – прирост массы сопровождается изменением линейных параметров тела. Наиболее тесная связь отмечается между массой и длиной тела, которые также связаны с высотой и толщиной тела, длиной головы. Для сравнения пластических признаков используют относительные показатели – индексы тела. Также необходимо учитывать экстерьерные признаки.

3. Плодовитость самок – основным репродуктивным показателем самки является рабочая плодовитость. Ее изменчивость у форели колеблется в пределах 20–50 % у самок и 40–70 % у самцов. Величина рабочей плодовитости возрастает с кратностью нереста производителей. Относительная плодовитость также используется для оценки производителей. Однако этот показатель недостаточно информативен, так как не учитывает размер яйцеклеток, который для рыб с крупной икрой, к каким относятся лососевые, имеет существенное значение при оценке репродуктивных признаков.

Отбор должен производиться выше средних показателей по стаду. Однако нужно учитывать, что индивидуальная рабочая плодовитость самок обычно отрицательно коррелирует с размером икринок и в случае проведения сопряженного отбора по плодовитости и величине яйцеклеток в число особей, оставленных для дальнейшего воспроизводства, могут войти не все самки с высокой рабочей плодовитостью.

4. Индекс репродуктивности (ИР) – относительно новый селекционный критерий, который измеряется отношением общей массы продуцируемой икры к единице массы тела самки. При определении ИР берется масса икры, полученной при отцеживании самки (при искусственном нересте самки способны удерживать до 20 % икры в полости тела). В гонадосоматическом индексе (ГСИ) учитывается масса всех гонад и икры.

Наименьшие значения ИР отмечены у самок крупных по размеру, но с относительно невысокой плодовитостью (пластические признаки преобладают над генеративными). Таких особей в стаде может быть до 15 %. В свою очередь, высокие значения индекса присущи тугорослым самкам со средней и высокой плодовитостью (в стаде до 12 %). Интервал отбора должен быть установлен от средних показателей и выше.

5. Масса овулировавших икринок – этот признак является конечным в репродуктивной характеристике самок и исходным в оценке потомства. Величина зрелых яйцеклеток возрастает с каждой кратностью нереста самок. От размера икры лососевых рыб зависит рост зародышей и личинок. Выявлено, что у одновозрастных самок в 70 % случаев масса икринок отрицательно коррелирует с рабочей плодовитостью, лишь в 40 % случаев она положительно коррелирует с массой тела самок. При этом четко прослеживается влияние породной принадлежности: у камлоопса – самая мелкая икра, у стальноголового лосося – самая крупная.

Даже при понижении массы тела самки продуцируют икру нормального размера. С величиной икринок не связаны ни оплодотворяемость, ни выживаемость потомства, т. е. данный показатель определяется породой и индивидуальными особенностями самок. Поэтому по этому показателю для сохранения гетерогенности требуется проводить отбраковку по минимальному и максимальному значениям.

6. Плодовитость самцов – общее количество сперматозоидов составляет 35–45 млрд шт. (800 млрд шт.) на 1 кг массы тела (также зависит от породы и индивидуальных особенностей рыб). С каждым созреванием самцы продуцируют все большее число спермиев. Выход спермы составляет 22–54 %. Рабочая плодовитость самцов вычисляется как произведение величины объема эякулята и концентрации сперматозоидов. Она варьирует от 40 до 70 %. Концентрация спермиев определяется центрифугированием спермы и зависит от величины сперматокрита (сперматокрит r = 0,88). Однако ведущим селекционным критерием у самцов является показатель относительной плодовитости (отношение рабочей плодовитости к массе тела).

Отбор самцов по данному признаку положен в основу метода линейной селекции форели. Количество подходящих самцов составляет около 20 % от стада (с показателем не менее 0,1).

7. Активность сперматозоидов – по этому признаку оценивают качество спермы, учитывая процент подвижных сперматозоидов и продолжительность их поступательного движения. Период активности спермиев у форели – менее 30 с. Время подвижного состояния снижается с увеличением температуры воды: вращательное движение длится в среднем 27,5 с при 5 °С и 19 с при 15 °С. На активность спермиев также влияют величина pH и концентрация ионов кальция в составе разбавителя спермы.

Интенсивность движения сперматозоидов, а также их оплодотворяющая способность постепенно снижаются к концу нерестового сезона. Для выявления индивидуальных различий самцов по качеству спермы рекомендуется проводить оценку на оплодотворяющую способность при различной величине разбавлений спермы с удалением ее избытка.

Эффективность применения последовательного (тандемного) комплексного отбора признаков повышается при их положительной корреляции. При одновременном отборе по нескольким признакам применяется метод отбора по независимым уровням. Это значит, что отбор признаков производится в рамках установленных интервалов (границах) отбора, не подходящие особи по какому-либо признаку в установленных рамках отбраковываются.

Технологические признаки.

1. Скорость полового созревания – возраст созревания рыб связан с темпом их роста и зависит от условий выращивания, прежде всего температуры, заметное влияние оказывает режим кормления. Обычно самки созревают в трехгодовалом возрасте, самцы – в двухгодовалом. Созревание лососевых сопровождается снижением скорости роста, т. е. рыбы могут созреть, не достигнув товарной массы. Доказано, что возможна успешная селекция по темпу роста и времени полового созревания одновременно. Раннее созревание производителей позволяет ускорить темп селекции.

2. Срок нереста в сезоне – у форели отличается большим разнообразием в естественных и искусственных популяциях. Этот признак генетически закреплен и является отличительным для каждой популяции или породной группы. Высокий уровень изменчивости и повторяемости обусловливает эффективную селекцию по данному признаку.

Отбор производителей осуществляют в соответствии со свойствами породы или целями селекции по этому признаку. В существующей породе отбираются особи, наиболее близкие к массовому нересту (обычно в середине нерестового сезона), так как они обладают высокой гетерогенностью и представляют собой генетический гомеостаз (однородность и стабильность породы). При формировании новых пород необходимо устанавливать собственные критерии отбора.

Оценку и отбор производителей необходимо проводить в сжатые сроки (между первой и последней закладкой икры – не более семи дней) во избежание разнокачественности потомства, сформированная группа должна быть многочисленной для проведения дальнейших работ из максимально широкой выборки.

3. Оценка племенной ценности производителей – обычно проводится по качеству их потомства на ранних этапах онтогенеза по выживаемости эмбрионов, личинок и молоди. Исследование рыб по этому признаку позволяет получить оценку степени влияния близкородственных скрещиваний (инбридинга) на жизнестойкость. Селекция производителей по выживаемости их потомства позволяет увеличить конечный выход рыбной продукции и тем самым повысить рентабельность производства. Оценку проводят отдельно для каждой семьи или пары рыб в два этапа: сначала по оплодотворяемости икры (не менее 80–90 %), затем по выживаемости эмбрионов (80–85 %). После отбора количество семей должно составить 30–35 шт. (однако нужно учитывать нормативные показатели качества потомства и племенную оценку производителей), в которых самки обладают сходными показателями плодовитости и выживаемости потомства. Во избежание инбридинга желательно использовать самцов неродственной генерации. Все это снижает возможность генетического дрейфа.

Комбинационная способность производителей.

Оценка производителей по такой способности позволяет повысить гетерозисный эффект товарного рыбоводства. Выделяют два типа комбинационной способности:

- общая способность – средняя ценность определенной группы во всех возможных сочетаниях с другими группами;

- специфическая способность – характеризует продуктивность конкретных гибридных сочетаний.

Генетические особенности пород.

Формирование породы по определенным признакам и их закрепление в поколениях неизбежно вызывает изменение генетической струк-

туры селекционируемой группы особей. Во избежание снижения гетерогенности рыб и для определения достижения новой породы необходимо производить постоянный генетический контроль, который осуществляется с помощью различных методов молекулярно-генетического анализа. Генетическая характеристика пород отражается в генетическом паспорте.

3.2. Статистическая оценка и ведение племенной документации

Для обработки данных результатов бонитировки и оценки производителей по экстерьерным, репродуктивным показателям и индексам тела с применением корреляционного анализа взаимосвязи важнейших признаков в процессе разведения пород необходимо создать специальную электронную бонитировочную базу (журнал), в которой отражать полученные данные, переводя их в формат статистических показателей и получая результат корреляционных взаимосвязей признаков. Это позволит организовать регулярный оперативный мониторинг маточных стад и совершенствовать схему селекции рыб.

3.3. Технология формирования ремонтно-маточных стад

3.3.1. Оценка биологических характеристик, отбор, содержание маточного стада

Маточное стадо должно состоять из самок массой 0,8–3,0 кг и самцов массой 0,4–1,5 кг. Соотношение самок и самцов должно быть 1:3. Одного самца можно использовать несколько раз на протяжении нерестового периода. В связи с этим количество самцов относительно самок уменьшается до 30 %. Самцы и самки должны быть хорошо упитанны, обладать резкими и сильными движениями, иметь яркую брачную окраску в период нереста.

Для поддержания нормальной жизнестойкости потомства и исключения близкородственного скрещивания (инбридинга) необходимо один раз в 3–5 лет завозить из благополучных хозяйств сперму или оплодотворенную икру. Впервые нерестящихся производителей обычно не используют, так как от них получают мелкую икру и нежизнестойкое потомство.

Выживаемость потомства от производителей, содержащихся в бассейнах УЗВ, достигает 80 %.

Необходимо выбраковывать, не использовать для воспроизводства самок и самцов с измененной формой головы и тела, недоразвитыми жаберными крышками, укороченным и тонким хвостом, искривленным позвоночником, больных и травмированных. Половая зрелость у самцов обычно наступает раньше, чем у самок.

3.3.2. График роста производителей форели при регулируемых температурах в УЗВ

В целях меньшего травмирования производителей контроль за их весовым и линейным ростом производят один раз в году, в период проведения преднерестовой бонитировки. Для контроля необходимо взвесить и измерить не менее 20 % рыб. Для получения оптимального качества половых продуктов и сохранности производителей следует использовать специальные корма. Особенно важно предохранять самок в течение месяца до нереста от манипуляционного стресса (переноса, транспортировки). После этого производителей для временного содержания помещают в бассейны с усиленным водообменом, причем самцов от самок содержат отдельно. Температура воды – 5–10 °С, pH 6–8. В период кратковременного содержания производителей перестают кормить. Икру у впервые нерестящихся производителей обязательно отцеживают, но не применяют для оплодотворения, так как она в процессе инкубации дает большой отход. Зрелая икра хорошего качества сохраняется в теле самки до 5–8 сут. Сперма в теле самцов сохраняет хорошее качество дольше, чем икра самок.

Для оценки стада производителей используют следующие важнейшие характеристики:

- длина тела (см);
- масса тела (масса тела до взятия и после взятия икры у самок, г);
- плодовитость – подсчитывается для каждой самки.

Основные отличия условий формирования ремонтно-маточных стад форели в УЗВ от способа их формирования в естественных условиях состоят в следующем:

- в условиях УЗВ формирование ремонтно-маточного стада происходит за первый год. Можно содержать только радужную форель или другие породы;
- для подготовки производителей к инкубации в четыре тура потребуется содержать 4 различные по степени готовности к нересту группы или породы форелей, которые будут созревать в необходимое для получения половых продуктов время. Для производителей создается ре-

жим подготовки воды, имитирующий естественные условия периодов года, в течение которых у рыб протекает процесс созревания: осень – зима (рис. 3);

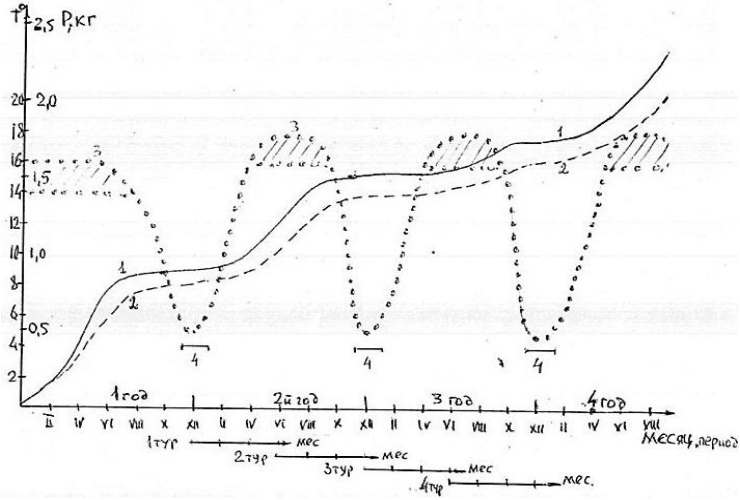


Рис. 3. График программного роста производителей форели при регулируемых температурах в УЗВ: *1* – рост самок; *2* – рост самцов; *3* – температурный режим для созревания производителей; *4* – сроки созревания форелей

- рекомендуется рассмотреть возможность иметь для хозяйства криобанк спермы форели, тогда содержание самцов будет минимальным. Дюары с криоконсервированной спермой можно, по договоренности с криобанком сельскохозяйственных животных, имеющимся в республике, содержать в общем хранилище;

- содержание самцов, благодаря консервации спермы, можно сократить с 30 % относительно самок до 10 %;

- так как период созревания производителей коррелируется с размерами, а не с возрастом, формировать маточное стадо можно в первый год выращивания ремонта от 10 г. Отбор производится от рыб по классической схеме племенной работы и индивидуального отбора, указанной выше. Полученная икра от впервые созревающих самок для воспроизводства не используется;

- в условиях УЗВ плотность посадки ремонтно-маточного стада коррелируется с насыщением в воде кислорода. На сбросе из бассейнов рекомендуется 7–8 мг/л при водообмене 1–2 раза в час. Плотность посадки рыб – от 30 до 50 кг/м^3. Масса икринки от впервые нерестящихся самок – 50 мг, от повторно нерестящихся – 60 мг;

- суточный рацион кормления ремонтного стада при температуре 16–18 °С составляет 1–3 %, а производителей – 0,8–0,9 % от массы тела при кормовом коэффициенте 1,2 для ремонта и 3 для производителей. Период кормления длится вплоть до отсадки производителей для получения половых продуктов;

- созревание половых продуктов у производителей происходит лишь с постепенным снижением температур от 18–16 до 10–5 °С. Режим снижения температур перед взятием половых продуктов – около 1 °С/сут;

- производителей в период их созревания лучше содержать в одном бассейне, перегороженном сеткой. Контроль за периодом созревания осуществляется один раз в 7–10 дней, а с появлением зрелых самок – один раз в 3–5 дней. В период массового созревания наблюдения проводятся каждый день. Это позволит не допустить перезревание икры. Кормление производителей после взятия половых продуктов осуществляется на 2-й день.

3.3.3. Технологические операции при формировании ремонтно-маточных стад форели в УЗВ

Операция	Время проведения	Содержание и выполнение
Отбор производителей	Период отбора на племя	Производителей (самцов и самок) отбирают по массе (самки – 0,9, самцы – 0,8 кг), длине, экстерьерным показателям. Предпочтительны особи с четко выраженными вторичными половыми признаками, хорошим качеством половых продуктов: крупная, хорошо пигментированная икра массой от 50 до 60–80 мг и диаметром не менее 4,5–6,0 мм; сперма консистенции сливок, объем эякулята не менее 5–10 мл, активность сперматозоидов – 20–30 с, концентрация сперматозоидов – не менее 5–12 млн/мм^3

<table>
<tr><td>Отбор мальков</td><td>В возрасте 60–70 дней</td><td>В возрасте 60–70 дней в племенной группе мальков, достигших массы 10 г, отбраковывают особей слабых, с различной формой уродств, темным покровом тела, истощенных. Отобранная для воспроизводства группа мальков должна иметь лишь единичный отход, т. е. быть наиболее жизнестойкой</td></tr>
<tr><td>Отбор впервые нерестящихся рыб</td><td>В возрасте 300 дней</td><td>Через 300 дней выращивания отбирают группу с хорошими экстерьерными показателями массой не менее 0,8–0,9 кг. Остальную рыбу выращивают как товарную продукцию. Полученную икру отправляют в товар</td></tr>
<tr><td>Отбор повторно нерестящихся рыб</td><td>В возрасте 12 мес</td><td>Через 12 мес выращивания из племенной группы отбирают лучших. При отборе учитывают более быстрый темп роста самцов в первый год жизни. Поэтому наряду с крупными экземплярами отбирают и средние. Масса отобранной рыбы должна быть не менее 1,5–1,4 кг</td></tr>
<tr><td>Отбор нерестящихся в 3-й раз</td><td>В нерестовый период</td><td>Отбор осуществляют в период нерестовой кампании. Оставляют рыб с пропорциональной широкой формой тела, яркой окраской, небольшой головой. Масса самцов должна быть не менее 1,6 кг, самок – 1,8 кг. Рыб в маточное стадо отбирают во время нереста не только по внешним признакам, но и по качеству половых продуктов. Средняя масса отобранной самки должна составлять 1,7 кг, рабочая плодовитость самок – 2 тыс. икринок на 1 кг массы тела</td></tr>
<tr><td>Отбор нерестящихся в 4-й раз</td><td>В нерестовый период</td><td>Четырежды нерестящихся рыб в период нереста отбирают в маточное стадо так же, как и нерестящихся в 3-й раз. Их средняя масса к этому времени должна составлять 2,2–2,0 кг, рабочая плодовитость самок – 3–4 тыс. икринок</td></tr>
<tr><td>Формирование ремонтного стада</td><td>При формировании ремонтно-маточного стада</td><td>На 1 выбывшего из стада производителя выращивают следующее количество особей форели:
<table>
<tr><td>возраст</td><td>кол-во, шт.</td><td>средняя масса, г</td></tr>
<tr><td>мальки</td><td>16</td><td>10</td></tr>
<tr><td>впервые нерестящиеся</td><td>8</td><td>1 000–800</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

		нерестящиеся 2-й раз	4	1 500–1 400
		нерестящиеся 3-й раз	2	1 800–1 600
Создание резерва производителей	В нерестовый период	Для обычных форелевых хозяйств резерв производителей составляет у самок 30 %, у самцов 10 %. В УЗВ запас производителей составляет 50 и 10 % соответственно. Структурный состав его аналогичен структуре основного стада		
Двухлинейное содержание маточного стада	Круглогодично	В хозяйствах всегда содержат две группы производителей различного происхождения с целью устранения инбридинга и повышения жизнестойкости потомства		

4. ТЕХНОЛОГИЯ КРУГЛОГОДИЧНОГО ПОЛУЧЕНИЯ ОПЛОДОТВОРЕННОЙ ИКРЫ РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ

4.1. Биотехнология воспроизводства форели на основе управления сезонностью размножения

Данная биотехнология включает следующие элементы:

- длительное выдерживание рыб при постоянных преднерестовых температурных режимах (ПТР) при помощи холодильных машин;
- выведение рыб на нерестовый температурный режим (НТР), основанное на системе переменных температур и длительности, соответствующей продолжительности выдерживания производителей;
- сезонное варьирование комбинированного использования системы: подогрев воды – естественный температурный режим – охлаждение;
- осеннее, зимнее, весеннее и летнее получение потомства;
- программирование температурных режимов инкубации икры и адаптации личинок, полученных в нетрадиционные сезонные сроки;
- автоматизированная система управления термическим режимом и водоснабжением и контроль параметров среды (АСУ и К).

Установлено, что период адаптации рыб после стрессовых нагрузок (отлов, перемещение) довольно длителен (14 сут). Поэтому при работе с производителями следует избегать их пересадки из бассейна в бассейн. Это возможно лишь в период перевода в режим нерестовых температур.

При содержании рыб в бассейнах при низких температурах, имеющих оборотную систему водоснабжения и холодильную машину, наибольшая эффективность наблюдается при переменном температурном режиме: снижение температуры после посадки каждой партии рыб и повышение ее перед следующей посадкой. Использование оптимальных температурных режимов при содержании производителей обеспечивает высокую выживаемость и рыбоводный эффект их использования.

Преднерестовые режимы зависят от планируемых сроков получения зрелых половых продуктов. Для длительной резервации форели (от 2 до 6 мес в период с апреля по сентябрь) в АСУ устанавливается температура 4–6 °С, а для относительно кратковременного выдерживания (менее 2 мес) – 6–7 °С. Градиент снижения температуры при выведении на НТР составляет 1–3 °С в сутки.

Обязательно использовать низкие температуры – 4–6 °С. Суточные колебания температуры воды в оптимальном варианте не должны превышать 1 °С, однако кратковременное повышение на 2 °С не влияет отрицательно на репродуктивные качества производителей.

Перевод производителей в нерестовый температурный режим.

Методика выведения форели из состояния резервации на НТР для разных сроков получения половых продуктов зависит от продолжительности выдерживания рыб при низких температурах. Перевод форели в завершающую фазу (репродуктивного) полового цикла после длительного выдерживания при низких температурах не может быть осуществлен простым линейным повышением температуры с определенным суточным градиентом.

Возможно использование трех режимов перевода в НТР:

1. В течение первых трех суток температура повышается с градиентом 1 °С в сутки, после этого достигнутая температура в 8 °С поддерживается в течение 2–3 суток. Последующие сутки она повышается до 10 °С и поддерживается на этом уровне еще трое суток. Только после этого планируемая нерестовая температура может быть достигнута линейным повышением с суточным градиентом в 1 °С в сутки. В дальнейшем необходимо ориентироваться на установленный общий баланс воздействия нерестовых температур. Возможна формализованная процедура расчета на ПК режима перевода на НТР по заданным значениям баланса нерестовых температур и интервалов времени (по окончании которого необходимо получать икру).

2. Выведение на НТР производителей форели после выдерживания менее 2 месяцев при температуре 4–5 °С несколько отличается. Первые сутки температура повышается до 7 °С, в последующие – до 10 °С. Последняя температура сохраняется в течение трех суток, далее температура повышается до заданной нерестовой с градиентом 1 °С в сутки.

3. При выдерживании форели при температуре 6–7 °С эффекта созревания добиваются ежесуточным повышением температуры с градиентом 2 °С в сутки, поскольку содержание при этом режиме незначительно замедляет процесс завершения оогенеза. В этом случае достижение заданной температуры форсируется без переходных этапов.

Продолжительность перехода в нерестовое состояние с постоянным повышением температуры воды до нижнего нерестового значения должна быть не менее 20 суток. Дальнейшее повышение температуры чередуется со снижением ее в пределах нерестовых значений. Общий тепловой баланс воздействия нерестовых температур после выдерживания при низких температурах должен быть достаточным. В противном случае рыбы дают потомство с низкой жизнестойкостью. При минимальном воздействии нерестовых температур наблюдается наименьшее количество самок, продуцирующих жизнестойкое потомство.

Конкретный режим длительного преднерестового выдерживания при низких температурах и перевод производителей в нерестовое со-

стояние должен определяться на основе дополнительных исследований особенностей форели специалистами предприятия, в том числе с учетом ее расовых принадлежностей.

4.2. Содержание маточного стада форели в УЗВ

В УЗВ маточное стадо форели содержат на теплой воде в бассейнах, для получения икры снижают температуру воды до 5–10 °С.

Технология содержания ремонтно-маточного стада после завершения нерестовой кампании складывается из следующих процессов:

Операция	Время проведения	Содержание
Выбраковка производителей	В период нереста и после его завершения	В процессе нерестовой кампании бракуют производителей с прогонистой формой тела, яловых, с признаками гематомы и другими заболеваниями, уродливых, старых и травмированных. Оставленных на племя производителей, а также на ремонт подсчитывают, определяют среднюю массу по всем возрастным группам и размещают в бассейны. Самок и самцов содержат вместе. Отбор производителей и рыб старших возрастных групп ремонта проводят из расчета три самки и один самец (3:1)
Контроль за условиями содержания маточного стада	На протяжении всего периода содержания	Используют бассейны площадью 10–100 м^2. Плотность посадки зависит от возраста и массы производителей и ремонта и составляет: - у производителей – от 30–50 кг/м^3; - у ремонта – от 20 до 60 кг/м^3
Кормление	Весь период содержания	Для кормления производителей и ремонта используют гранулированные корма. Диаметр гранул составляет 8 мм. В зависимости от температуры воды и массы тела рыбы суточная норма гранулированного корма составляет 1,5–3 % от массы тела. Дневную порцию корма выдают два раза с помощью кормораздатчика или вручную в светлое время суток

Контроль за ростом рыбы	Ежемесячно	Не реже одного раза в месяц проводят контрольный облов, взвешивание рыбы для уточнения темпа роста и суточного рациона кормления. В каждой возрастной группе производителей и ремонта определяют среднюю массу рыбы. Находят общую биомассу по каждой емкости, вычисляют кормовые затраты и прирост рыбы. Проводят анализ полученных данных и вносят коррективы в технологию кормления
Ихтиопатологический контроль	Ежедневно	Осуществляют контроль за поведением рыбы, следят за ее реакцией на корм. Визуально обследуют форель на наличие внешних повреждений поверхности тела. Во время проведения контрольного облова (особенно в конце сезона) вскрывают несколько производителей для определения хода развития половых продуктов и физиологического состояния маточного стада
Учет отхода	Ежедневно, по мере появления	Погибшую рыбу сачком отбирают с поверхности воды или со дна рыбоводной емкости. Отход записывают в специальный журнал по каждому садку, бассейну или пруду отдельно. Его учитывают при расчете кормовых рационов
Чистка рыбоводных емкостей	Периодически по мере загрязнения	Постоянно ведут контроль за санитарным и гигиеническим состоянием рыбоводных емкостей, проводят регулярную чистку дна и стенок бассейнов. Бетонированные бассейны очищают скребком или щеткой, а затем смывают загрязнения струей воды
Контроль за гидрохимическим режимом	Ежедневно	С помощью измерительных приборов ежедневно измеряют температуру воды (раз в сутки), содержание растворенного кислорода, реакцию среды (pH), аммонийный азот. Другие гидрохимические показатели определяют по мере необходимости раз в 7 дней. При ухудшении кислородного режима принимают срочные меры по аэрации воды, увеличению водообмена и др.

Подготовка производителей к получению половых продуктов	4 раза в году	По завершении нерестового периода проводят корректирующий отбор производителей и ремонтной группы. Оставленных на племя производителей взвешивают, подсчитывают, определяют среднюю массу и физиологическое состояние, проводят через профилактические ванны и размещают на нагульное выращивание

4.3. Искусственное воспроизводство радужной форели

4.3.1. Признаки, свидетельствующие о созревании производителей

Характерной чертой оогенеза радужной форели является очень раннее приобретение ооцитами способности к созреванию. Известно, что сроки наступления дифференцировки пола у радужной форели зависят от температуры воды в период инкубации и выращивания молоди (Molony, 2001). Пол у форели можно различить уже в возрасте от 95 до 104 суток при выращивании в воде температурой 13,4–14,5 °С. У самок брюшко увеличивается и отвисает, генитальное отверстие припухает, краснеет, выдвигается при нажатии в виде сосочка – генитальной поры, или папиллы (Лукин, 1998).

В нерестовый период радужная форель приобретает ярко-выраженный брачный наряд. Боковая полоса у самцов становится значительно ярче, и жаберные крышки расцвечиваются. Тело самцов становится более темным. Нижние челюсти у них изгибаются в виде мощного крючка. Тело самки в этот период переливается радужными цветами с фиолетовыми и лиловыми оттенками (Галастун, 1977).

4.3.2. Способы подготовки производителей к нересту

В преднерестовый период производят отбраковку или не допускают к нересту истощенных, больных и травмированных рыб с искривлением позвоночника, катарактой **глаз**, тонким и плоским хвостовым стеблем, недоразвитыми жаберными крышками, гематомой печени (ее легко установить при прощупывании).

В ремонтной группе (к моменту первого нереста) отбраковке подлежат особи со слабовыраженными половыми признаками, прогонистой формой тела, серебристой окраской.

Признаком приближающегося нерестового сезона в рыбоводном хозяйстве является сбор зрелых производителей на водоподаче бассейна вблизи поверхности и нередко даже их прыжки против течения воды. Это указывает на то, что самцы и самки готовы к миграции к местам нерестилищ. Заблаговременно необходимо провести бонитировку, разделение созревающих производителей на самок и самцов.

Решающим фактором подготовки к нересту в природе является подъем температуры воды до нерестовых значений и усиление течения.

В соответствии с Техническим заданием в проектируемом Центре производителей и старший ремонт ремонтно-маточного стада форели будут содержать в проточных рыбоводных каналах и в бассейнах рыбоводной системы с УЗВ. Каждая партия маточного стада будет состоять из 4 генераций:

– 1-я генерация – получение диплоидной икры, нерест зимой, выращивание в проточной системе;

– 2-я генерация – получение диплоидной икры, нерест весной, выращивание в УЗВ;

– 3-я генерация – получение однополой икры, нерест летом, выращивание в УЗВ;

– 4-я генерация – получение триплоидной икры, нерест осенью, выращивание в УЗВ.

Все генерации, содержащиеся в УЗВ, помещают в рыбоводные системы с отдельным температурным и световым режимами.

В проточной системе изменение температуры воды тесно связано с температурным режимом водоисточника.

Для осуществления нереста второй генерации производителей, содержащихся в УЗВ, специальной подготовки не требуется, достаточно смоделировать в УЗВ естественное изменение температуры воды для достижения нерестовой температуры в марте – апреле и получения половых продуктов весной. Для остальных генераций производителей получение икры возможно с помощью специальных приемов подготовки производителей. К таким приемам относятся температурная, световая и гормональная индукция созревания.

Примерная схема подготовки производителей различных генераций к нересту представлена в табл. 8.

Для наиболее полного использования возможностей проточной системы с естественным температурным режимом и снижения трудозатрат, а также стресса производителей при переводе из проточной системы в систему с УЗВ, целесообразно рассмотреть вопрос перевода первой генерации производителей, содержащейся в проточной системе, на нерест весной, а второй генерации – зимой.

Таблица 8. **Подготовка к нересту производителей РМС различных генераций (групп)**

Генерация и условия содержания	Сроки нереста, сезон	Температурная индукция	Световая индукция*	Гормональная индукция
1-я, уличная система	Зима	Перевод производителей осенью (за 2 мес. до нереста) в УЗВ; подъем температуры в системе до 12 °С, нерест; после нереста: снижение температуры в системе до 3–5 °С; перевод производителей в проточную систему весной	После перевода производителей в УЗВ: зима: 12 д : 12 н весна: 12 д : 12 н лето, осень – естественный режим освещения	Экстракт гипофиза лососевых, рилизинг-фактор (гонадолиберин) после разделения самок и самцов
2-я, УЗВ	Весна	Зима: снижение температуры в системе до 3–4 °С; весна: подъем температуры в системе до 12 °С; лето: поддержание температуры в системе на уровне 16–18 °С; осень: снижение температуры в системе до 6–10 °С	Не требуется	Не требуется
3-я, УЗВ	Лето	Зима: снижение температуры в системе до 6–10 °С; весна: снижение температуры в системе до 3–4 °С; лето: подъем температуры в системе до 12 °С; осень: поддержание температуры в системе на уровне 16–18 °С	Зима: 12 д : 12 н; весна: 6 д : 18 н; лето: 12 д : 12 н; осень: 18 д : 6 н	Экстракт гипофиза лососевых, рилизинг-фактор (гонадолиберин) после разделения самок и самцов
4-я, УЗВ	Осень	Зима: поддержание температуры в системе на уровне 16–18 °С; весна: снижение температуры в системе до 6–10 °С; лето: снижение температуры в системе до 3–4 °С; осень: подъем температуры в системе до 12 °С	Зима: 18 д : 6 н; весна: 12 д : 12 н; лето: 6 д : 18 н; осень: 12 д : 12 н	То же

*Указано соотношение часов освещения и затемнения рыбоводных емкостей: д – день, н – ночь.

4.3.3. Нерестовый период

За две недели до нереста производителей сортируют по возрасту и полу и размещают в специальные бассейны или каналы, разделенные решетками на отсеки, площадью от 5 до 100 м^2 с глубиной воды 1 м. В местах водоподачи бассейны закрывают решеткой или сетчатым экраном для предотвращения выпрыгивания рыбы.

Плотность посадки производителей в бассейны зависит от водообмена (табл. 9).

Таблица 9. **Зависимость плотности посадки производителей форели от водообмена**

Водообмен, мин	Плотность посадки, экз/м^3
До 20	40–50
30–40	20–30
До 60	10–20

Температура воды в нерестовый период должна составлять 10–12 °С без резких колебаний в течение суток. Содержание кислорода в воде следует поддерживать на уровне 9–10 мг/л. При уменьшении количества кислорода в воде плотность посадки уменьшают или с помощью технических средств (аэрации) повышают его содержание.

До начала созревания в нерестовый период производители получают полноценный витаминизированный корм. В гранулированных кормах долю премикса увеличивают в два раза. Суточная доза гранулированного корма не должна превышать 0,5 % массы тела. Рыб кормят два раза в сутки.

Для осмотра производителей $^1/_3$ площади бассейна отгораживают решеткой по направлению от слива воды к водоподаче. Пространство, в котором концентрируют производителей, следует уменьшать по мере просмотра самок и размещения их по степени готовности к получению половых продуктов в других бассейнах или отсеках каналов. Сортируют самок в емкостях объемом 0,1 м^3 при слое воды до 0,3 м, добавляя анестезирующее вещество.

Самок сортируют на три группы: зрелых, близких к зрелости и тугих (далеких от созревания). От зрелых самок икру получают в тот же день или на следующий. Зрелая икра свободно перемещается в полости тела и легко выделяется при изгибании тела или легком поглаживании брюшка по направлению к половому отверстию. Близкие к зрелости самки имеют мягкое брюшко, однако икра при легком поглажи-

вании не выделяется. Эту группу самок просматривают через 5–7 сут. Тугих самок просматривают не реже одного раза в 10 сут при температуре 7–11 ºС.

Контроль за самцами не ведут, так как они созревают на 0,5–1 месяц раньше самок и всегда имеются в необходимом количестве. Доброкачественные молоки имеют белый цвет и густую консистенцию. Водянистые или сывороточные, а также с примесью крови и слизи молоки использовать нельзя. Самцы в процессе нереста могут быть использованы неоднократно (до 6 раз) с интервалом в 4–6 сут (не менее 30–40 градусо-дней).

В отношении качества половых продуктов лучшие результаты дает оплодотворение икры 3–4-годовалых самок спермой трехгодовалых самцов.

Если нерестовый период продолжается не более 0,5 месяца, производителей не кормят; если более 0,5 месяца, то применяют ограниченное кормление 2–3 раза в неделю, особенно рыб, далеких от созревания. Суточная норма корма составляет 0,5–1 % массы тела и выдается за 1–2 приема. Кормление прекращают за 2 дня до сортировки рыб и получения от них половых продуктов. На второй день после нереста кормление производителей возобновляют.

4.3.4. Стимулирование созревания производителей форели гормонами

Стимулирование форели применялось ранее не так широко, как других видов. Применение стимулирования позволяет рыбоводам:

1) регулировать продолжительность нерестового периода рыб: ускорять созревание или получать гибриды в нужное время.

2) улучшать эффективность нереста, заставляя рыб нереститься в заданное время; максимально увеличить выживаемость оплодотворенных и инкубируемых эмбрионов в условиях хозяйства.

Для стимуляции созревания производителей используется ряд гормонов.

Аналог лютеинизирующего освобождающего гормона (LHRHa). Этот препарат растворяют в дистиллированной воде или физиологическом растворе и вводят внутримышечно в дозе 1–100 мкг/кг массы рыб.

Гонадотропин. Этот препарат растворяют в дистиллированной воде или физиологическом растворе и вводят внутримышечно в дозе 1–10 мг/кг массы рыб.

Необходимо внимательно следить за поддержанием соответствующего физиологического состояния производителей.

Существует несколько признаков половой зрелости.

Самки:

- брюшко округлое и мягкое;
- генитальное отверстие вспухшее, отекшее, выдвинутое вперед и покрасневшее;
- анус также часто вспухший и покрасневший;
- ярко выражены вторичные половые признаки.

Самцы:

- молоки выделяются при легком надавливании;
- ярко выражены вторичные половые признаки.

С производителями нужно обращаться с исключительной осторожностью. Они отличаются крайней ранимостью и чувствительностью и в результате падения или грубого обращения могут погибнуть.

Введение гормонов. Для введения гормонов используют 2 места на теле рыб. Внутрибрюшную инъекцию производят в области брюшка ниже брюшного плавника. Внутримышечную инъекцию делают в верхней части тела выше латеральной линии. В любом случае игла должна проходить под чешуей рыб, а не через нее. Обычно препараты вводят двукратно, с перерывом от 12 до 24 ч. Предварительная инъекция готовит организм рыб к нересту, а конечная доза вызывает овуляцию. Предварительная доза составляет обычно 10 % от общей. Для некоторых особей может потребоваться несколько предварительных доз. Половые продукты следует получать спустя 6–12 ч после последней инъекции.

Анестезирующие (успокаивающие) вещества. Сбор половых продуктов производят как можно быстрее после начала овуляции. Необходимо продумать организацию и проведение сбора икры и спермы, подобрать в достаточном количестве мелкий инвентарь, кроме того, должны быть проверены и продезинфицированы инкубационные аппараты.

Во избежание травмирования самок при пересадке в сачок следует брать не более 3 самок одновременно. В целях повышения производительности труда, уменьшения травмирования, увеличения выхода икры и спермы производителей перед взятием у них половых продуктов следует успокоить, для чего применяют различные анестезирующие вещества (Aqua Tech.htm (http://www.aquaculture-com.net/findex.htm)).

В настоящее время наиболее широко применяют и рекомендуют следующие препараты.

Эвгенол (гвоздичное масло) – натуральный транквилизатор, применяемый для разных видов рыб. Из-за низких доз (30–50 мг/л) он не влияет на вкус рыбы.

Трикаин метансульфонат (MS-222) – наиболее часто и широко применяемый анестетик. Дозировка анестезирующего вещества зависит от количества растворенного в воде кислорода, жесткости и температуры воды, обычно применяют 25–300 мг/л.

2-феноксиэтанол – рекомендуемая концентрация 0,2 мл/л воды. Для очень крупных рыб – 0,3 мл/л. Анестезия происходит через 5–10 мин. После переноса в чистую воду рыбы просыпаются в течение 10 мин.

Применяют также Пропаксат – 2–4 мг/л, Хинальдин, Прописцин и др.

Дозировка анестезирующего вещества зависит от количества растворенного в воде кислорода, жесткости и температуры воды. В удобную емкость наливают 100 л воды. Перед началом массового анестезирования раствор проверяют, помещая в него 1 самца. Если рыба через 1–2 мин засыпает, а затем, посаженная в свежую воду, через 5 мин начинает плавать, можно проводить массовое анестезирование. Форель может погибнуть в растворе анестетика не из-за его ядовитости или высокой концентрации, а из-за недостатка кислорода в воде. Поэтому раствор при работе следует постоянно аэрировать. В обычных условиях, при температуре воды 5 °С, раствор анестетика может быть использован несколько раз.

4.3.5. Получение половых продуктов

Многие заводчики не понимают, что способ обращения с производителями и сам процесс нереста могут оказать решающее влияние на качество полученных икринок. Общее правило – обращаться с рыбой как можно бережнее.

Чувствительность самок к механическим повреждениям возрастает по мере приближения нереста. Поэтому при наличии соответствующих условий отлов производителей и разделение их по полу следует проводить не менее чем за две недели до предполагаемого нереста. Чтобы минимизировать необходимые манипуляции, во время первой проверки зрелости самок следует разделить их на три группы: первая – «стерильные» самки, которые не будут нереститься. Они отличаются серебристой окраской, стройной формой и твердым брюшным покровом.

Этих рыб снова помещают в нерестовый пруд (бассейн), если они не предназначены для продажи; вторые – это еще неполовозрелые самки, довольно характерно окрашенные (слегка коричневый оттенок), с брюшной полостью, явно заполненной икринками, и слегка выступающим генитальным сосочком; третьи – зрелые, «капающие» самки. Они характеризуются наличием выступающего генитального сосочка и выделяют икринки при легком нажатии на мягкие брюшные покровы.

Количество манипуляций можно значительно сократить, если имеется продолговатый бетонный бассейн, оснащенный как минимум 3 перегородками. Неполовозрелые самки помещаются ниже самцов (считая от входа), так как считается, что они выделяют феромоны для стимуляции овуляции у самок. В третий отсек помещают самок, готовых к нересту. Любые манипуляции с нерестовиками следует проводить осторожно; не берите сразу несколько рыб в сотейник, не бросайте их сверху в воду или на сортировочный стол.

Чтобы получить икру наилучшего качества, самок следует сцеживать в период полной половой зрелости (овуляции). Овуляция (вытекание яйцевых зерен из гонад в полость тела) обнаруживается во время осмотра половозрелых самок. Поскольку эта процедура трудоемка и занимает много времени, а также вызывает стресс у рыб, ее обычно проводят не чаще чем раз в 5–10 дней. В связи с этим возникает вопрос: в какое время после овуляции происходит заметное снижение качества яйцеклеток?

Эксперименты французских исследователей показали, что самый высокий процент оплодотворения был получен из икры, взятой в день овуляции, после чего процент оплодотворения постепенно снижался. У молоди, нерестящейся в первый и второй раз, этот процесс проходил гораздо быстрее, чем у самок старшего возраста. Оплодотворяемость свыше 80 % у молодых самок была получена до 15-го дня после овуляции, у старых самок – до 30-го дня.

Согласно исследованиям, заметное снижение выживаемости яйцеклеток происходит через 14 дней после овуляции. Таким образом, осматривая самок с интервалом в 5–10 дней, можно обеспечить получение качественных половых продуктов. Однако действует правило: чем выше температура, тем короче интервал между просмотрами.

Оптимальная температура нереста радужной форели находится в пределах 5,6–13 °C. При более низких и более высоких температурах качество икры снижается. Было продемонстрировано значительное влияние низкой температуры, в диапазоне 2–4 °C, во время нереста на

выживаемость икры. Однако было установлено, что можно добиться достаточно удовлетворительной выживаемости (65 % до вылупления), когда икру получают при температуре 1 °С. Эти наблюдения согласуются с мнением других исследователей о том, что естественное размножение радужной форели может происходить в диапазоне температур 0,3–12,8 °С. Однако, похоже, что верхний температурный предел для естественного размножения выше, поскольку Кайя (1977) описал популяцию радужной форели, живущую в изолированном от водопада участке геотермально обогреваемого ручья и размножающуюся при температуре воды 16 °С.

В хозяйствах с использованием схемы разведения каждое маточное стадо можно определить по PIT-меткам, содержащим уникальный электронный идентификационный номер. За созреванием икры и спермы в рыбе начинают наблюдать за несколько недель до сбора половых продуктов.

Контроль за состоянием половых продуктов осуществляют за несколько недель до предполагаемого сбора. Решающее значение для успеха оплодотворения и селекции имеет своевременный отбор половых продуктов. Маточное стадо рыб прекращают кормить по крайней мере за 14 дней до сбора половых продуктов. Зрелая самка имеет стальной цвет и характерную форму брюха с выраженным яйцеводом.

Прежде чем извлекать икру, очень важно, чтобы все оборудование (инкубационные аппараты, трубы, ведра, сачки и т. д.) было продезинфицировано Йодофором, дезсредством Actomar K30 или аналогичным дезинфицирующим средством. Инкубационные аппараты также должны быть продезинфицированы формальдегидом (500 частей на миллион) в течение приблизительно 1 дня с последующим добавлением препарата Iodbac (0,1 %) в течение 1 ч. Такая дезинфекция должна осуществляться в условиях хорошей вентиляции.

Поскольку у форели нет яйцеводов, зрелая икра, высвобождаемая из яичников во время овуляции, выпадает в полость тела. Поэтому во время нереста самку не следует держать головой вниз, так как икринки будут стекать к голове, что значительно усложнит процесс сцеживания. Сцеживание следует начинать с осторожного высушивания самки, чтобы предотвратить попадание воды в собранные яйца. Затем начните массировать заднюю часть полости тела, постепенно расширяя массаж по мере получения икры. Если во время извлечения икры самка начинает напрягаться, массаж следует немедленно прекратить, так как яйца не могут быть извлечены, если мышцы живота напряжены.

Насильственное сцеживание может повредить внутренние органы самки или привести к разрыву икринок.

Чтобы уменьшить стресс и облегчить процесс получения половых продуктов, обычно используются средства, называемые анестетиками. В целом их можно разделить на те, которые обладают миорелаксантным действием, т. е. расслабляют мышцы, но не полностью устраняют реакцию рыбы (Прописцин или ранее используемый Пропанидид, который появился на рынке), и те, которые полностью обездвиживают рыбу (MS-222 или 2-феноксиэтанол).

Предварительная оценка качества икры проводится в начале сбора икры. Чтобы не перепутать плохие яйца с хорошими, самку следует сначала сцедить в небольшой контейнер. Только определив нужное качество, аккуратно перелейте икру в большую миску. Оценка качества значительно облегчается, если покрасить сосуд в черный цвет. Ниже описаны несколько типов дефектных яиц, а также причины возникновения дефектов.

Перезревшая икра в результате слишком позднего сцеживания, кажется опухшей и довольно твердой. Цвет радужно-белый, за исключением хорошо заметного оранжевого диска. Перезревших самок сцеживают по общим правилам, но полученную икру выбрасывают.

Треснувшая икра обычно является результатом неправильного обращения с самкой или сцеживания «насильно». Однако даже при очень деликатном обращении с радужной форелью трудно избежать этого явления, которое пагубно сказывается на процессе оплодотворения. Белок из разорвавшейся яйцеклетки образует взвесь в овариальной жидкости, которая препятствует движению сперматозоидов и их проникновению в яйцеклетку. Значительное загрязнение овариальной жидкости белком будет заметно, если икру сцедить в черную миску. Другим методом является так называемый тест на мутность, который включает в себя взятие небольшого количества сцеженной икры в стеклянный сосуд и заливание его водой. Японские исследователи обнаружили, что если в 100 $см^3$ овариальной жидкости присутствовал белок из 26 раздавленных яичных зерен, происходила коагуляция сперматозоидов. Если количество треснувший икры составляло 3 % от общего числа яиц, оплодотворение было невозможно. Если треснувшие яйца составляли всего 0,15 % от числа извлеченной икры, то потери на яйцекладку не превышали 20 %. Для предотвращения пагубного влияния треснувшей икры японские авторы предлагают метод, включающий промывание собранной икры на ситечке раствором следую-

щего состава: 55,05 г NaCl, 1,97 г KCl, 3,14 г $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ растворяют в 7,51 л воды. Другой способ – проводить промывание в жидкости D532 (73,1 г NaCl, 24,2 г Трис, 22,5 г глицин, 1,1 г $CaCl_2$, pH 9,0) или в растворе 100 г пищевой соды (продается в любой аптеке) на 10 л воды.

Икра, полученная от самок с раком печени, в значительной степени погибает в течение инкубационного периода. Поэтому рекомендуется выбрасывать как икру, так и больных самок. Гепатому можно распознать во время нереста, так как у больной самки печень твердая и увеличенная, что легко прощупывается при получении икры.

Икра, полученная от двухлетних самок. Наши собственные наблюдения показали, что икра двухлетних самок подвергаются значительным потерям. Это не следует относить исключительно на счет первого нереста, поскольку эффект от первого нереста трехлетних рыб не отличается от результатов инкубации икры четырех- и пятилетних нерестовиков. До сих пор причины высокой смертности икры от двухлетних самок неизвестны, и, возможно, улучшив технику выращивания в результате селекционной работы, в будущем можно будет использовать их экономически выгодно, как это уже было достигнуто в хозяйствах по выращиванию форели на западном побережье США.

Икру и сперму у производителей радужной форели получают путем отцеживания с применением анестезирующих веществ.

Самку берут в руки с рыбоводного стола, предварительно завернув в марлю или полотенце, и насухо обтирают брюшную сторону. При отцеживании икры хвостовой стебель находится в левой руке, а голова рыбы скользит по сгибу правой руки, при этом спинка рыбы должна быть обращена к рыбоводу, а голова – несколько приподнята. Рекомендуется работать с рыбой в шерстяных перчатках – это помогает ее удержать.

Отцеживание осуществляют с помощью легкого, но достаточно энергичного движения пальцев правой руки, сдавливающих брюшко рыбы так, чтобы икра вытекала непрерывной струей. Брюшная часть рыбы массируется движениями руки от головы к анальному отверстию. Когда икра перестает вытекать из папиллы, следует слегка потрясти рукой брюшко, а затем повторить отцеживание – и так до полного прекращения вытекания икры.

При отцеживании икры следует избегать чрезмерного давления, так как можно повредить оболочки икры. Икру отцеживают в сухую емкость из инертного материала, в которой она не должна занимать более $^1/_3$–$^1/_2$ объема. Полученную икру следует взвесить.

Форель овулирует икру порционно, через некоторые промежутки времени. Спустя 2–5 сут после первой, основной, овуляции, дающей 75–85 % икры, происходит вторая, более скудная овуляция. В связи с этим важно либо проверять уже сцеженных самок и снова получать от них икру, либо содержать их совместно с самцами, в присутствии которых происходит спонтанный нерест вторично овулировавшей икры. Следует избегать накопления несцеженной или невыметанной икры в яичниках самки, так как это приводит к посленерестовой гибели самок или к ухудшению качества икры в будущем.

Существует несколько способов сбора молок. Для их получения самцу в половое отверстие осторожно вводят трубку, соединенную с пробиркой. С помощью второй трубки воздух из пробирки отсасывают, и молоки свободно вытекают в пробирку. Аналогичным образом производят сбор спермы пипеткой (толщиной у вершины 1,5 мм), которую вводят на глубину 1 см в семявыводящий проток. Возможно отцеживание спермы прямо в партию икры от 5–7 самок с предварительным контролем ее качества. Как правило, первую порцию спермы не используют, но визуально оценивают ее качество. У впервые нерестящихся особей ремонтной группы оценивают продукционные качества самцов, проводят соответствующую выбраковку. Время отцеживания икры и спермы до их смешивания не должно превышать 5–10 мин.

Кроме отбора половых продуктов вручную можно проводить их вытеснение при помощи воздуха. Для этого в полость тела производителя постепенно нагнетают воздух, и созревшая икра или сперма свободно выходит через генитальное отверстие. После освобождения полости от икры воздух осторожно удаляют через трубку из тела путем отсасывания.

Сбор половых продуктов проводят при температуре воздуха, близкой к температуре воды, в которой содержатся производители, избегая воздействия на них прямого солнечного света.

Для облегчения работы с крупными производителями используется гвоздичное масло в концентрации 0,05 мл/л воды (выдерживание в растворе – 1–3 мин), хинальдин в концентрации 0,02 мл/л (выдерживание в растворе – 1–2 мин).

4.3.6. Осеменение и закладка икры на инкубацию

Во время сбора спермы очень трудно предотвратить загрязнение ее мочой, что снижает качество спермы, особенно если она будет хра-

ниться в замороженном виде. Это можно эффективно предотвратить, введя в анальный сосочек трубку из мягкого пластика. Трубка разрезается по диагонали по длине для облегчения введения. Она должна быть расположена достаточно глубоко, чтобы при нажатии на брюшные целомы вытекала прозрачная слизь.

Одну порцию икры, состоящую из приблизительно 5 000–10 000 шт. икринок, осеменяют спермой от по меньшей мере 2–3 самцов. Это обеспечивает оплодотворение всей икры даже в том случае, если по каким-то причинам один из самцов будет бесплоден. В практике разведения принято оплодотворять икру от 3–7 самок спермой 2–3 самцов. Следует иметь в виду, что использование небольшого количества самцов снижает уровень генетической изменчивости и, следовательно, полезную ценность производимой рыбы.

Исследования показали, что так называемый частично-факторный план спаривания способствует лучшим результатам в плане снижения инбридинга, заболеваний и т. д. Такая система означает, что сперма от одного самца используется для оплодотворения половины икры от каждой из двух самок, тем самым каждая самка оплодотворяется от двух самцов (рис. 4). Каждая оплодотворенная половина икры от определенной особи относится к одному родству, и все выклюнувшиеся личинки имеют одних мать и отца. Вторая половина оплодотворенной икры представляет собой отдельное семейство со своим родством. Тем не менее эти две семьи являются полуродственными, так как они имеют одну и ту же мать, но два разных отца, и наоборот.

Эта методика используется все большим числом производителей икры и мальков, и это позволяет исследователям наблюдать существенные различия в производительности между семьями радужной форели и делать соответствующий выбор семей для дальнейшего размножения. Остальные фермеры используют традиционный метод оплодотворения: икра от нескольких самок оплодотворяется спермой от нескольких самцов.

Когда применяется методика частичного факториала, икра от каждой самки делится на два ведра (рис. 4). Подсчитывается число икринок в 10 мл. Каждая часть икры помечается идентификационным номером PIT-метки самки. До оплодотворения икра хранится в прохладной среде (4–6 °C). Принято считать, что самка производит около 1 500–2 000 икринок/кг и около 10 000 икринок/л, в зависимости от размера рыбы и ее возраста. Подобная процедура применяется для получения молок (спермы) от самцов. Молоки разделяют на две емкости, помечают идентификационным номером PIT-метки.

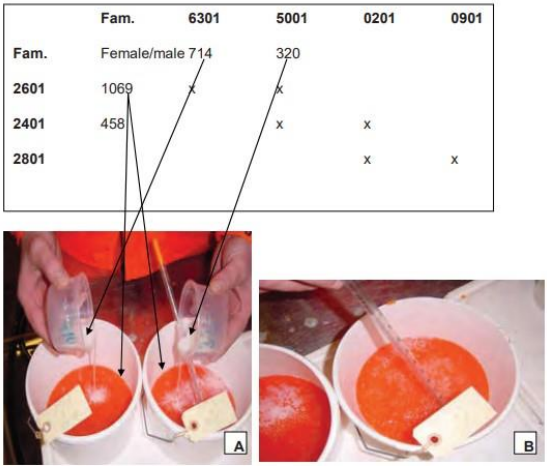


Рис. 4. Частично-факторная методика спаривания: А – 2 порции икры от выбранной самки (№ 1069 от семьи 2601) оплодотворяются молоками от 2 самцов (№ 714 от семьи 6301 и № 320 от семьи 5001 соответственно); В – икру и молоки смешивают (сухое оплодотворение)

В форелеводстве осеменяют икру сухим и полусухим способами. При сухом способе икру и сперму тщательно перемешивают, затем добавляют воду (до покрытия икры) и снова тщательно перемешивают. При полусухом способе к икре добавляют сперму, предварительно разведенную водой перед осеменением, и сразу же приступают к перемешиванию половых продуктов.

Через 5–10 минут после перемешивания икру начинают отмывать от остатков молок, слизи, овариальной жидкости, крови во избежание появления сапролегниоза во время инкубации. Для этого периодически сливают воду и добавляют свежую. Воду приливают в сосуд по его стенкам, чтобы не подвергать икру, оболочка которой еще недостаточно уплотнилась, механическим воздействиям. Отмывка длится до тех пор, пока икра и вода, в которой она находится, не станут чистыми.

В период поглощения воды объем икры увеличивается примерно на 40 %. Икра остается очень чувствительной к движению (воздействиям) во время этого процесса. Через несколько часов икра может быть продезинфицирована.

Отмытую икру сливают в емкости и оставляют в них в течение 2–3 ч для завершения процесса ее набухания. При отсутствии проточ-

ной воды периодически (через 20–30 мин) заменяют воду в емкости с икрой. При наличии водопровода воду через резиновый шланг подают на дно емкости с икрой. Набухание икры следует проводить при рассеянном свете в затемненном помещении и в полном покое. В результате набухания объем икринки увеличивается на 15–20 %, а масса – на 16 % (Григорьев, Седова, 2008).

Вместо воды можно использовать оплодотворяющие растворы, в несколько раз увеличивающие подвижность сперматозоидов и время открытия микропиле.

По завершении промывки и очистки икру помещают в инкубационные аппараты.

В качестве оплодотворяющих растворов используют раствор Хамора (NaCl 6 г/л, $CaCl_2$ 0,2 г/л, $(NH_2)_2CO$ 4,5 г/л); физиологический раствор (0,85%-ный раствор NaCl), изотонический раствор NaCl с добавлением молока и оплодотворяющий раствор (9,04 г/л NaCl, 0,24 г/л KCl и 0,26 г/л $CaC1_2$).

Различные партии оплодотворенных яйцеклеток (семьи) размещают в разные лотки для маркировки, каждый лоток помечают определенным идентификатором семьи. Икру инкубируют при температуре 4–9 °С с оптимумом около 7 °С. Решающее значение имеет обеспечение обильного потока воды через слой икры. Икра очень чувствительна к свету и должна быть защищена от прямых солнечных лучей. Предпочтительнее, если икра получает настолько мало света, насколько это возможно (т. е. во время чистки и других операций остается покрытой или используются полосы света № 82).

Состояние икры ежедневно контролируется, при этом лотки приподнимают очень аккуратно (на 2–3 см), чтобы создать небольшое движение вокруг икры. Мертвые икринки удаляются с помощью сифона. Чтобы предотвратить поражение грибами (например, *Saprolegnia*), икру следует обрабатывать фунгицидом (формальдегид или аналоги) на регулярной основе (по дням).

Перед загрузкой икры в инкубационные аппараты проводят ее учет двумя способами: весовым и объемным.

При весовом способе взвешивают не менее 3 порций икры по 10–20 г каждая, определяют количество икринок в каждой пробе и находят среднее количество икринок в 1 г. Общую массу икры умножают на найденную величину и получают общее количество икры. Точность этого способа вполне достаточна при проведении обычных рыбоводных работ.

При объемном способе берут не менее 3 объемов икры по 10–50 мл каждый и находят среднее количество икринок в 1 мл. Общий объем полученной икры умножают на найденную величину и получают общее количество икринок.

Обычно процент оплодотворения икры определяют на следующий день после получения. Зародышевый диск в это время хорошо развит, на нем под микроскопом просматриваются 2 или 4 бластомера. Исследуют 100 икринок, сразу определяя процент оплодотворения. Для этого снимают оболочку икры и исследуют зародышевый диск под бинокулярным микроскопом.

По завершении промывки и очистки икра помещается в инкубационные аппараты.

В селекционной практике сохраняется мнение, что в течение 12 ч после оплодотворения яйцеклетка нечувствительна к ударам. Фактически она особенно чувствительна в период набухания (т. е. сразу после оплодотворения), после чего чувствительность снижается, только чтобы снова возрасти. Практически говоря, она теряет эту чувствительность только после эструса. Поэтому наиболее рациональным представляется следующий вариант действий. Через две-три минуты после оплодотворения воду с икрой следует слить и после двукратного промывания дать икре, залитой большим количеством воды, желательно обеспечивающей небольшой поток, набухнуть. Период набухания икры зависит от температуры, поэтому при температуре воды ниже 3 °С обработку можно начинать через три часа; при более высокой температуре икру следует оставить в покое на два часа. Только набухшую икру можно считать, перевозить или сажать в инкубационные аппараты.

4.3.7. Подсчет яиц

Количество икры определяется несколькими методами. В каждом случае манипуляция проводится после набухания икры и как можно более осторожно.

Объемный метод. Объемное измерение является наиболее распространенным. Следует иметь в виду, что размер икры зависит в основном от возраста самок, поэтому преобразованные данные могут быть использованы для приблизительного определения количества (табл. 10).

Таблица 10. **Подсчет икры объемным методом**

Возраст самок, лет	Количество икры в 1 л
2	18 260–11 836
3	10 516–7 000
4	10 000–9 500
5	7 400–5 500
6	5 250
7	5 850
8	7 850

Метод прямого подсчета. Икра подсчитывается на пластине Брандштаттера с 500 или 1 000 пустотами. Этот метод точен, но если он должен использоваться для подсчета общего количества икры, например для определения плодовитости, рекомендуется подсчитывать икру только после набухания.

Метод косвенного подсчета. Это объемный метод: используя чайную ложку или пластину Брандштаттера, отсчитайте три образца по 500 икринок в каждом, затем, используя лейку Спичакова и мерный стакан, измерьте объем воды, вытесненный известным количеством икры. После этого в той же лейке измерьте количество воды, вытесненной всей порцией подсчитанных яиц. Используя правило трех (соотношение), вычислите количество полученной икры.

Весовой метод. Аналогично объемному методу отмеряем 3 образца по 500 икринок, взвешиваем каждый образец и определяем среднюю массу образцов. Затем взвешиваем всю партию икры и подсчитываем количество икры.

При использовании каждого из описанных методов следует помнить, что получение надежных результатов зависит от измерения каждой партии собранной икры отдельно.

4.3.8. Технологические операции по искусственному воспроизводству радужной форели

Операция	Время проведения	Содержание
Отбор производителей и ремонта	Во время нереста	Для нереста отбирают производителей с хорошими морфологическими признаками. Предпочтение отдают особям с малой головой, хорошо развитой мускулатурой, мясистым вальковатым хвостовым стеблем, ярко выраженными и развитыми плавниками. Ремонтные особи должны иметь ярко выраженные половые признаки. Необходимо обращать особое внимание на характерные для каждой возрастной группы размерно-весовые показатели

Подбор производителей и ремонта	Во время нереста	При взятии половых продуктов подбирают группу одновозрастных и близких по размеру самок. Отцеженную от них икру осеменяют спермой самцов второго и третьего нереста с высоким качеством половых продуктов. Впервые нерестящихся самок и самцов отцеживают обязательно. Но на инкубацию закладывают только икру, отвечающую рыбоводным требованиям. Осеменяют эту икру спермой самцов среднего возраста
Обеспечение необходимым инвентарем и оборудованием места сбора икры	Во время нереста	Бассейны объемом 2 $м^2$ – 4 шт., подвод воды, гидрожелоба, носилки, весы, полиэтиленовые тазы, эмалированные и полиэтиленовые миски, мерные стаканы, перья. Полотенца, марля, столы, растворы хинальдина и Хамора, емкости, в которых проводят анестезирование производителей
Вылов производителей из рыбоводных емкостей	Перед получением половых продуктов	Вылов ведут из предварительно подготовленных рыбоводных емкостей (бассейны приспущены). Рассортированных по половому признаку и степени зрелости производителей к месту сбора половых продуктов переносят в носилках
Анестезирование производителей	Перед взятием половых продуктов	Применяют раствор хинальдина, который готовят разведением 1 мл хинальдина в 10–20 мл этилового спирта или ацетона. Полученную смесь добавляют в воду объемом 50 л. Эффективность раствора проверяют на отдельных экземплярах форели (2–3 шт.). В нормально работающем растворе хинальдина рыба через 0,5–1 мин прекращает активно двигаться и переворачивается на бок. Время восстановления нормального движения форели после ее помещения в проточную воду составляет 2–5 мин. Раствор хинальдина используют многократно. По мере загрязнения слизью и обеднения кислородом его заменяют на новый

Получение половых продуктов	В нерестовый период	Сперму и икру можно отцеживать поочередно или параллельно. Обычно применяют метод поочередного (последовательного) отбора половых продуктов. Самок и самцов вылавливают сачком из анестезирующего раствора. Споласкивают чистой водой, обтирают брюшко полотенцем, удаляя лишнюю воду. Рыбу берут левой рукой за хвостовой стебель, обернутый марлей или вафельным полотенцем, и кистью правой руки плавно, щадяще проводят отцеживание. Локтем правой руки слегка прижимают к себе голову рыбы. Рыбовод держит производителя хвостом вниз в наклонном положении под углом 45° к миске или тазику. Папилла самки должна находиться почти вплотную к краю миски, тазика, в которые собирают икру. Икру удобно собирать в тазики с перфорированным дном или покрытые туго натянутой марлей. Это позволяет сразу удалять избыточную полостную жидкость. Длительность отцеживания не должна превышать 1–1,5 минуты. В каждую миску или тазик отцеживают икру от 5–10 самок в зависимости от их рабочей плодовитости. Общий объем икры в миске, тазу не должен превышать $^1/_3$–$^1/_2$ их объема. После получения икры приступают к отцеживанию самцов. Действия рыбовода остаются такими же, как и при взятии икры у самок. На осеменение икры от 5–6 самок достаточно спермы 3 самцов. Первые капли спермы не собирают. Основную массу молок собирают в сухие бюксы, стаканчики, мерные пробирки, чашки Петри отдельно от каждого самца. После визуальной оценки качества сперму от всех самцов одновременно выливают на икру и тщательно перемешивают. Процесс получения половых продуктов должен быть непрерывным и проходить в помещении или под навесом, куда не проникают прямые солнечные лучи и не попадают капли дождя

Соблюдение режима использования самцов	В период нереста	В период нереста самцов используют до 5–10 раз. Использованных самцов отсаживают в отдельные бассейны и через 2–5 суток вновь берут от них очередную порцию молок. Более качественную сперму самцы продуцируют в первые отцеживания (3–5 раз). С увеличением количества отцеживаний качество спермы может несколько ухудшиться
Осеменение икры	В период сбора половых продуктов	К икре от 5–10 самок приливают сперму от 3–5 самцов, предварительно собранную в отдельный сосуд (пробирка, стаканчик, бюкс и др.) и плавными движениями тщательно перемешивают в течение 10–20 секунд. Для перемешивания икры пользуются крупным пером домашней птицы (гуся, утки, курицы). Перо должно быть сухим и чистым. При отсутствии перьев икру перемешивают кистью сухой руки
Оплодотворение икры	В период сбора половых продуктов	После тщательного перемешивания к икре добавляют немного воды или оплодотворяющего раствора Хамора. Добавляемые к икре они должны иметь такую же температуру, при которой созрели самки. Для этого емкость с оплодотворяющим раствором держат в бассейне с водой, имеющей нужную температуру. Раствор Хамора готовят заранее и в таком количестве, чтобы его хватило для оплодотворения всей полученной икры. Состав раствора: 6 г поваренной соли, 4,5 г мочевины, 0,2 г хлористого кальция в расчете на 1 л воды. Сразу после добавления воды или оплодотворяющего раствора икру плавно перемешивают и оставляют в покое на 5–10 минут. Затем приступают к отмывке икры от спермы и других инородных частиц (экскрементов, крови и др.)

Промывка оплодотворенной икры	После оплодотворения	Процесс отмывки продолжается 10–15 мин до полного удаления мути, посторонних частиц и утраты икрой клейкости. Промывают икру способом частой смены воды или в проточной воде. Используют при этом тазики с двойным дном, где верхнее дно перфорировано и через него снизу поступает свежая вода. Промывающая вода не должна шевелить икру
Контроль за процессом набухания икры	После промывки	Процесс набухания продолжается не менее 2 часов. В течение этого времени воду в тазу многократно меняют (через каждые 20–30 минут) или емкость с икрой ставят под слабый ток воды, подведенной на дно таза с помощью шланга. При набухании икра должна находиться в спокойном состоянии и быть защищена от прямых солнечных лучей

4.3.9. Реабилитация производителей

Реабилитацию производителей радужной форели, участвующих в нерестовой кампании, проводят в отдельном бассейне при разреженной плотности посадки. В ходе наблюдений обращают внимание на такие факторы, как аппетит, поведение, наличие повреждений и покраснений покровов. Особей с отклонениями переносят в отдельные бассейны для проведения комплекса оздоровительных мероприятий и принятия мер, предотвращающих развитие болезней. Не восстановившихся после этого особей отбраковывают.

Отбраковку производителей проводят ежегодно по завершении нерестовой кампании и периода реабилитации по следующим критериям:

– переломы хвостового стебля и плавников;

– травмы глаз, жаберных крышек, челюстей;

– покраснение, изъязвление, некроз кожных покровов;

– наличие гематом в любой части тела;

– длительно не заживающие повреждения покровов, потертости более 10 % поверхности;

– отказ от питания на этапе реабилитации;

– наличие заболеваний, не поддающихся лечению и подтвержденных ихтиопатологическими исследованиями.

После принятия решения об отбраковке особей их забивают, фиксируют номер метки (при наличии), измеряют длину и массу, определяют место временного хранения до утилизации и вносят эти данные в акт о выбраковке и рыбоводный журнал.

На этапе реабилитации проводят профилактические мероприятия, облегчающие течение реабилитационного периода и повышающие выживаемость производителей. Информация о лечебно-профилатических мероприятиях на этапе реабилитации приведена в табл. 11.

Таблица 11. **Лечебно-профилактические мероприятия на этапе реабилитации производителей**

Операция (мероприятие)	Периодичность и (или) продолжительность	Оборудование и материалы
Кормление кормами с пробиотиком	1–2 раза в сутки	Вручную
Осмотр рыбы	Каждые 5 суток	Визуальный осмотр
Профилактические и лечебные мероприятия	Ванны из 5%-ного раствора поваренной соли в течение 3–5 минут. Инъекции 5–10 мг аскорбиновой кислоты и 10–15 мг α-токоферола из расчета на 1 кг массы производителя. Продолжительность инъекций составляет 5–7 суток	Поваренная соль, аскорбиновая кислота, α-токоферол, мерные емкости, электронные весы, ведра, медицинские шприцы объемом 5 мл
Дезинфекция рыбоводных емкостей, инвентаря, спецодежды	Дезинфицирующие средства в соответствии с их инструкциями	Емкости для разведения, ветошь, щетки

4.4. Технология инкубации икры

4.4.1. Критические стадии в развитии икры

Икру распределяют на рамках в лотках инкубационного аппарата. В одном аппарате помещают икру, собранную в тот же самый день или в ближайшие дни. Наблюдение за состоянием икры проводят каждые 4–5 дней, выдвигая лотки аппаратов и подсвечивая лампочкой (не более 20 W). В период инкубации икры необходимо круглосуточное дежурство. Следует следить:

- за постоянным притоком воды;
- за поддержанием постоянной температуры 8–12 °С, лучше 9 °С;
- за концентрацией кислорода – не менее 7 мг/л на сбросе.

В первые 3 дня инкубации можно осторожно отобрать погибшие (белые) икринки. Отбор икры обычно проводят специальными пинцетами с проволочными петлями на конце или стеклянной трубочкой, вставленной в резиновую грушу. Количество погибшей икры регистрируют в журнале регистрации данных по инкубации, для каждого аппарата и рамки отдельно. Для любого вида форели период инкубации и среднее время вылупления личинок не являются постоянными величинами для данной температуры воды: колебания могут составлять ±6 дней в зависимости от физиологического состояния обоих производителей. Тщательный отбор икры проводят только на стадии глазка. В это время икру промывают от образовавшихся веществ. При достижении стадии глазка определяют относительное время вылупления личинок.

При благоприятных условиях отход икры за 30–35 дней инкубации обычно не должен превышать 15 %. Однако колебания температуры воды, загрязнение различными вредными веществами (нитритами), механическое воздействие на чувствительных стадиях развития и образование сапролегнии резко повышают отход икры и эмбрионов.

Критические стадии развития, на которых не рекомендуется обрабатывать икру, от стадии поздней морулы до стадии замыкания желточной пробки и роста хвостовой почки. Нельзя проводить дезинфекцию зародышей за 5 дней до выклева, так как это приведет к деформации их тела и гибели (табл. 12).

Таблица 12. **Чувствительные и устойчивые стадии эмбриогенеза зародышей лососевого типа**

Чувствительные	Устойчивые (можно перемещать и проводить дизенфекцию)
Уплощение бластодиска – бластула	До стадии утолщения бластодиска
Начало гаструляции	На стадии обрастания желтка бластодермой
Появление краевого узелка	На стадии роста хвостового отдела
Закрытие бластопора	На стадии пигментации глаз
Перед выклевом	

Влияние абиотических факторов (колебания температуры воды, снижение концентрации кислорода в воде, появление токсических веществ) вызывают различные аномалии формы тела – искривление позвоночника, неполное развитие жаберных дужек, отсутствие анального плавника и др.

В отличие от малоконтролируемых условий внешней среды при инкубации зародышей в обычных инкубцехах, в условиях УЗВ априори создаются и находятся под контролем все показатели воды. Здесь полностью исключается отрицательное влияние внешних факторов.

4.4.2. Ранний онтогенез форели

Зародыш (икра) форели, начиная с момента ее оплодотворения и до момента вылупления, проходит несколько этапов инкубации.

Первый этап – образование перивителлинового пространства – бластодиска на анимальном полюсе. Длительность этого этапа, как и всех последующих, зависит от температуры воды. Особенно интенсивно этот процесс проходит в первые 1–2 ч после оплодотворения. Затем, с определенными предосторожностями, икру можно перевозить и загружать в инкубационные аппараты.

Второй этап – дробление бластодиска. Дробление бластодиска может начаться уже через 8 часов (при температуре 13 °С). Образуется стадия двух бластомеров, затем число бластомеров постепенно увеличивается. В конце этапа наблюдается перегруппировка жировых капель, укрупнение и сосредоточение их на анимальном полюсе. Завершается этап образованием эпителиальной бластулы. Общая продолжительность этапа при температуре 6–7 °С составляет 6 сут.

Третий этап – гаструляция. Этот этап характеризуется интенсивным обрастанием желтка бластодиском – гаструлой – и при достижении $^{1}/_{10}$ его поверхности образуется краевой узелок и первичный комплекс всех органов. При обрастании удлиняется тело зародыша.

Четвертый этап – образование тела эмбриона. Происходит образование и дифференцировка отдельных органов, сегментация туловища. Образуются мозговые, слуховые и глазные пузыри. Тело эмбриона занимает половину окружности желтка.

Пятый этап – замыкание желточной пробки и отделение зачатка хвостового отдела. Желток полностью покрыт разросшимся бластодиском. По продолжительности он несколько короче четвертого этапа. Появляются зачатки грудных плавников, жаберные дужки, сердечная трубка, образуется гемоглобин в эритроцитах, отмечено движение эмбриона.

Шестой этап – пигментация глаз и начало пульсации сердца. Образуется печень, начинается кровообращение, к концу этапа появляется ротовая щель, глаза хорошо пигментированы, на теле заметны ме-

ланофоры, образуется анальное отверстие. Наступает стадия, малочувствительная к механическим воздействиям, или стадия пигментированных глаз, стадия глазка. В это время икру можно осторожно промывать, перекладывать и перевозить в другие форелевые хозяйства. К этому времени формирование всех жизненно необходимых органов зародыша бывает закончено. Начинает пульсировать сердце. Это стадия подвижного эмбриона. При достижении эмбрионом окончательных размеров, начинают активно действовать железы вылупления, которые расположены на голове, передней части желточного мешка, грудных плавников и полости рта. Секрет этих желез имеет протеолитическую природу, и, возможно, его выделение связано с содержанием растворенного в воде кислорода. Недостаток кислорода приводит к массовому вылуплению личинок.

Седьмой этап – вылупление. В результате действия фермента, выделяемого железами вылупления, оболочка икры утончается и разрывается под действием движения эмбриона. Происходит вылупление. Нормальный эмбрион разрывает оболочку икринки при помощи хвоста. Эмбрионы, разорвавшие оболочку икринки головой, впоследствии погибают. Вылупление может произойти за 3 дня, а может растянуться до месяца. На длительность вылупления преобладающее влияние оказывают температура и гидрохимический состав воды. На этом этапе появляется ротовое отверстие.

Зависимость продолжительности эмбрионального развития радужной форели от температуры представлена в табл. 13. Развитие форели происходит более равномерно и с меньшими отклонениями при постоянной температуре воды (Титарев, 1980).

Таблица 13. **Длительность стадий развития икры радужной форели**

Стадии развития икры	Время после осеменения, сут, при *T*, °C					
	6	7	8	9	10	12
1	2	3	4	5	6	7
1. Начало дробления	1–2	1–2	1–2	1–2	1–2	1–2
2. Дробление	2–4	2–5	2–4	2–3	2–6	2–5
3. Бластула	5–17	5–10	5–8	4–5	4–5	6–7
4. Начало обрастания	11–21	11–17	8–13	6–8	6–8	7–9
5. Начало формирования эмбриона	13–23	13–18	13–15	9–12	8–10	8–13
6. Образование глазных и слуховых пузырей	15–24	14–20	14–18	13–15	10–11	14–16
7. Сегментация туловищного отдела	16–22	14–22	14–19	13–15	11–12	15–17

Окончание табл. 13

1	2	3	4	5	6	7
8. Начало пигментации глаз	26–32	26–38	19–28	24–27	17–25	20–21
9. Начало пульсации сердца	30–34	27–30	21–28	21–24	18–20	21
10. Начало пигментации тела	44–51	36–39	26–30	25–31	24–28	22
11. Вылупление:						
начало	55	54	53	42	36	26
массовое	63	57–59	58–61	44	39	29
окончание	68	64	64	53	50	32

4.4.3. Выдерживание предличинок

Вылупившиеся предличинки спокойно лежат на дне аппарата, изредка недалеко перемещаются. С уменьшением размера желточного мешка предличинки становятся все более подвижными, у них появляются поведенческие реакции: отрицательная реакция на свет, они группируются в плотные скопления, положительно реагируя на приток воды и соприкосновение друг с другом.

Длина только что вылупившихся предличинок, в зависимости от размера икринок, может колебаться от 10 до 19 мм, масса – от 40 до 100 мг. Пищеварительный тракт и желудочный аппарат не развиты. С развитием предличинок у них повышается интенсивность дыхания, выделение продуктов обмена, кровеносная система усложняется, они переходят в этап активного состояния. Предличинки имеют большой желточный мешок, пронизанный густой сетью кровеносных сосудов. По мере роста предличинок и перехода их в состояние личинок размеры желточного мешка уменьшаются, в это же время у них усиливается пигментация. Слой воды при выдерживании предличинок должен составлять не более 10–15 см. В это время постепенно увеличивают освещенность лотков, не допуская попадания на предличинок прямых солнечных лучей.

После рассасывания желточного мешка на $^{2}/_{3}$ первоначальной величины предличинки начинают подниматься в толще воды для наполнения газом плавательного пузыря.

В период выдерживания предличинок основное внимание должно уделяться гидрохимическому режиму (температуре воды, содержанию кислорода, проточности воды, продуктам обмена – азотистым соединениям). Для этой цели несколько раз в сутки регулируют проточность и измеряют концентрацию кислорода. Концентрацию соединений азо-

та следует измерять каждый день. Приток воды в лотки не должен быть большой, чтобы не повредить желточный мешок предличинок. Для предотвращения заболеваний весь инвентарь должен содержаться в дезинфекционном растворе. Состояние предличинок проверяется каждые 2 дня, фиксируются образцы для анализа их развития.

4.4.4. Технологические операции при инкубации икры

Операции	Время проведения	Содержание
Подготовка аппаратов к работе	Перед загрузкой икры на инкубацию	Проверяют систему водоподачи и сброса воды, оснащенность аппаратов рамками для раскладки икры, сетками. Водоподающую систему промывают, аппараты после промывки дезинфицируют и вновь промывают чистой водой
Контроль за гидрохимическим режимом	На протяжении всего периода инкубации	Оптимальная температура при инкубации 10 °С. Допустимы ее колебания у радужной форели до 4–12, у форели Дональдсона – 8–12, у форели камлоопс – 6–12 °С. Содержание в воде растворенного кислорода не должно быть ниже 7 мг/л. Практически качество воды по всем параметрам должно соответствовать ОСТ 15 372-87. Температура воды измеряется 3 раза в сутки (в 7, 13, 19 ч). Гидрохимический анализ проводят не реже 1 раза в день
Установка расхода воды в аппаратах	В период инкубации	Расход воды в лотковых аппаратах устанавливают в расчете на 100 тыс. икринок от 11 до 30 л/мин
Закладка икры на инкубацию	В период получения икры	Оплодотворенную набухшую икру с помощью мерного ковша или стакана раскладывают на рамки лоткового аппарата в 1–1,5 слоя. Норма загрузки икры – до 100 тыс. шт.
Учет количества икры	Во время закладки икры	Учет количества заложенной на инкубацию икры осуществляют объемным или весовым методом по средней величине контрольных измерений. Всю икру в инкубационные аппараты закладывают порционно с помощью мерных емкостей или взвешиваний.

		Чтобы определить количество инкубируемой икры проводят контрольные измерения. В определенном объеме (не менее 50 мл) или навеске (не менее 50 г) подсчитывают количество икринок. Контрольных измерений проводят не менее трех, лучше – из каждой закладываемой партии икры. Определив количество икринок в каждом контрольном измерении, находят среднюю величину. Затем общий объем заложенной на инкубацию икры пересчитывают по средней величине контрольных измерений
Определение степени оплодотворения	На 9–10-е сутки от начала инкубации	Степень оплодотворения икры определяют с помощью осветляющего раствора (на 1 л 5–10 % раствора уксусной кислоты добавляют 7 г поваренной соли). В растворе оболочка икринки становится прозрачной, и в ней четко просматривается белая полоска тела зародыша. При оптимальной для инкубации икры температуре (10 °С) пробу берут на 9–10-е сутки от начала инкубации в количестве не менее 100 шт. икринок
Уход за инкубируемой икрой	В течение инкубационного периода	Уход за инкубируемой икрой заключается в контроле за гидрохимическим и температурным режимами, круглосуточном наблюдении за бесперебойным водоснабжением, своевременном удалении погибших икринок и профилактической обработке икры лечебными препаратами против сапролегнии (профилактические растворы: йодоформ (100 мг/л) или перекись водорода (500–1 000 мг/л) при длительности экспозиции 10–15 мин (Рыжков и др., 2011) и др.). Обработку икры лечебно-профилактическими растворами проводят раз в неделю в периоды пониженной чувствительности.

		Повышенной устойчивостью к повреждающим факторам икра обладает в течение первых двух суток при оптимальной температуре 10 °С, затем на 7–8-е сутки и далее с двухнедельного возраста до стадии трех суток перед вылуплением
Уход за икрой после наступления стадии пигментированного глазка	По истечении 15–20 дней	Всю икру промывают, тщательно отбирают погибшую и неразвившуюся. Отбор проводят сифонами, пинцетами, резиновыми грушами со стеклянной трубкой, специальными электронными сортировальными устройствами с фотоэлементом, флотационным способом
Отбор икры флотационным способом	На стадии пигментированного глазка	Флотационный способ отбора икры основан на разности удельных масс развивающихся и отмерших икринок. За несколько часов до начала отбора погибшей икры приготавливают 10,7%-ный солевой раствор (960 г поваренной соли растворяют в 8 л воды). При необходимости концентрацию раствора можно увеличивать или уменьшать (добавляя концентрированный солевой раствор или твердую соль либо чистую воду). Температура солевого раствора должна быть равной температуре воды в инкубационном аппарате. Развивающуюся икру на стадии пигментированного глазка осторожно извлекают из инкубационных аппаратов и помещают в солевой раствор. Одновременно можно обрабатывать 1–2 л икры. Через 2–3 мин икра в солевом растворе делится на 2 группы: погибшая остается на плаву, живая опускается на дно. Мертвую икру удаляют с помощью сачков или дуршлага. Солевой раствор сливают в другую, равную по объему, емкость. Живую икру осторожно промывают и снова помещают в инкубационные аппараты для завершения инкубации.

		Продолжительность нахождения икры в растворе соли не должна превышать 10 мин. Обычно икра находится в солевом растворе не более 1–3 мин. Перед началом работы проверяют эффективность раствора данной концентрации на небольшом количестве икры. В дальнейшем при работе строго выдерживают оптимальную концентрацию раствора. Для этого используют перенасыщенный раствор NaCl, который по мере надобности подливают в рабочий. Точную концентрацию раствора выдерживают, пользуясь солемером. При отборе икры флотационным способом используют эмалированную или полиэтиленовую посуду. Посуда из оцинкованного железа не пригодна, так как хлористый цинк, образующийся в процессе работы, является ядом для икры
Контроль за вылуплением эмбрионов	В конце периода инкубации	Вылупление эмбрионов происходит в аппаратах
Регулирование светового режима инкубации икры	В период инкубации икры	Инкубацию икры проводят в затемненным условиях. Затемняют полностью инкубационный цех или же лотковые аппараты закрывают светозащитными крышками, затемняют темной тканью, бумагой или другими светонепроницаемыми материалами
Выдерживание свободных эмбрионов		
Подготовка оборудования для выдерживания свободных эмбрионов	Перед размещением на выдерживание эмбрионов	Вылупление эмбрионов продолжается в течение 6–10 дней, выдерживание – 10–30 дней. Низкая температура воды (5 °С и ниже) значительно удлиняет процесс рассасывания желточного мешка и увеличивает количество погибших личинок. Для выдерживания свободных эмбрионов используют лотки площадью 1–4 (2) $м^2$, слой воды в этот период – 0,1–0,2 м.

		Подготовка включает в себя промывку всей системы водоподачи, промывку и дезинфекцию водоподающих и сбрасывающих устройств, сетчатых стаканов, лотков, бассейнов, рамок (поддонов), на которых происходит вылупление (доинкубация) икры, перенесенной из инкубационных аппаратов
Контроль за расходом воды в период вылупления	По завершении периода инкубации	В период вылупления расход воды в аппаратах увеличивают вдвое. В это время оболочки от икры удаляют газовыми сачками или специальными перфорированными совочками. В лотках и бассейнах удельный расход воды должен быть 1–1,5 л/мин на 1 тыс. свободных эмбрионов. Водообмен в лотках и бассейнах должен проходить за 10–15 мин
Контроль за плотностью посадки	В период выдерживания	Плотность посадки не должна превышать 10 тыс. шт/м^2 при уровне воды 0,1–0,15 в первые и 0,2–0,3 м в последующие сутки. Использование сетчатых поддонов (вкладышей) в особо благоприятных условиях (чистая вода с содержанием растворенного в ней кислорода 9–11 мг/л) позволяет увеличить плотность посадки до 30 тыс. шт/м^2
Контроль за условиями содержания	В период выдерживания	Процесс выдерживания, как и вылупления, должен проходить в темноте, поэтому лотки и бассейны закрывают крышками. Постоянно следят за гидрохимическим и температурным режимами, равномерностью тока воды. Своевременно удаляют погибшие и уродливые эмбрионы, оболочки икры с помощью сифонов, резиновых груш со стеклянными трубками на конце, очищают загрязненные участки в емкости

4.5. Технология упаковки и транспортировки икры (эмбрионов)

4.5.1. Общие принципы транспортировки

Транспортировка – один из наиболее ответственных моментов в работе с икрой, от успеха которой зависит дальнейшая жизнестойкость организма. Поэтому организации перевозки должно быть уделено особое внимание. Основная задача при перевозке – обеспечение дыхательного обмена эмбрионов, поддержание оптимальной температуры внутри контейнера, а также предохранение икры от механических воздействий. При перевозке оплодотворенной икры необходимым документом является ветеринарное свидетельство (форма № 1), которое выдается главными ветеринарными врачами районов, городов и т. д. и действительно в течение трех дней.

Перед упаковкой икры все необходимое транспортировочное оборудование и инвентарь тщательно промывают горячей водой и обрабатывают 0,5%-ным раствором марганцовокислого калия. Икру помещают на 5 мин в 2%-ный раствор танина. Для профилактики сапролегнии используют раствор малахитовой зелени в разведении 1:100 000.

Икру, во избежание ее обсыхания, перевозят на влажных марлевых салфетках. Салфетка полностью должна закрывать икру.

Для подсчета количества упакованной икры используют мерную посуду с сетчатым дном объемом от 0,25 до 1 л, что значительно ускоряет и облегчает работу. Количество икры, загружаемой в контейнер, а также данные, характеризующие соотношение количества и массы икры, приведены в таблицах.

Рамки с икрой устанавливают одна на другую, перевязывают веревкой и помещают в контейнер, на дне которого лежит крестовина. Сверху икру прикрывают пустой рамкой, стопку в контейнере закрепляют при помощи клиньев.

Икру форели раскладывают на рамки, выстланные салфетками или простынями, непосредственно в контейнере, наполненном водой. Вода ослабляет удары падающих икринок. Кроме того, в воде эмбрионы располагаются бластодиском кверху, т. е. занимают естественное для своего развития положение. После заполнения тары икрой контейнер наклоняют и воду выпускают через имеющееся для этой цели у дна ящика отверстие, которое затем закрывают пробкой, икру укрывают краями простыни или марли, а сверху кладут влажную толстую ткань.

Упаковка икры форели в контейнер должна исключать перемещение и вращение икринок, которые могут вызвать повышенный отход.

При перевозке, продолжающейся несколько суток, необходимо проводить душевание икры. Душевание, проводимое при помощи лейки один раз в сутки, вполне удовлетворяет дыхательную потребность эмбрионов.

Купание икры проводится при задержке в пути более 3 сут.

Вода для душевания или купания должна отвечать необходимым требованиям: она должна быть отстояна в течение суток, насыщена кислородом, не содержать вредных примесей. Температура воды должна соответствовать температуре в контейнере. Минимальное количество воды, необходимое для душевания икры в одном контейнере, 5–10 л. Излишки воды сливаются через отверстие у дна, которое затем закрывается пробкой.

4.5.2. Температурный режим в контейнере

Температурный режим при перевозке имеет определяющее значение. Повышение температуры, так же как и колебания ее, хотя и не вызывают сразу видимых нарушений развития, но при дальнейшей инкубации приводят к увеличению отхода, сокращению периода эмбрионального развития, преждевременному выклеву нежизнестойких личинок, которых вынуждены выпускать под лед. Повышение температуры до пороговой ведет к остановке развития. Кроме того, при повышении температуры усиливается интенсивность дыхательного обмена икры и может иметь место нарушение развития из-за недостатка кислорода.

Развитие икры форели проходит при температуре 10–12 °С.

При работе с икрой осенненерестующих форелей надо помнить, что требования к температурным условиям в период эмбриогенеза меняются даже в пределах одного вида в зависимости от стадии развития.

У икры форелей на ранних этапах развития, до начала формирования сосудистой системы, требование к теплу повышено, тогда как после указанного периода эмбрионы отличаются большей стойкостью к понижению температуры.

Продолжительность сохранения постоянной температуры внутри контейнера зависит от начальной температуры внутри его и температуры окружающей среды. Начальная температура в контейнере устанавливается в зависимости от температуры помещения, в котором загружают и выдерживают икру. Поэтому рекомендуется загружать икру при температуре в помещении 5 °С.

При использовании пенопластовых контейнеров, имеющих невысокую изотермичность, рекомендуется использование чехла (мехового, войлочного, стеганого) или упаковки стопки рамок в несколько слоев мокрой марли. Контейнер без чехла можно использовать при непродолжительных перевозках и незначительной разнице температур внутри контейнера и наружного воздуха.

Если перевозка проходит при плюсовых температурах, температура в контейнере начинает повышаться. Для понижения температуры используют лед, который помещают на верхнюю рамку. Лед необходимо упаковывать в двух-трехслойный пакет, так как применение его без упаковки приводит к возникновению большой разницы температур в контейнере под крышкой и у дна.

Так как результаты перевозки в основном зависят от соблюдения температурного режима, работу надо проводить по заранее разработанному плану, для чего сопровождающий должен знать, при каких температурах будет проходить перевозка.

В контейнерах, доставленных на место доинкубации икры, температура обычно отличается от температуры воды в инкубационных аппаратах. Уравнивание ее проводится следующим образом: при разнице температуры до 1 °С икру в контейнере можно поливать водой из цеха; если разница более 1 °С, рекомендуется контейнеры оставить в цехе или вынести на улицу и, не открывая крышек, выдержать их до уравнивания температуры.

4.5.3. Выбор стадии развития икры для перевозки

Икра на разных стадиях развития неодинаково реагирует на одни и те же факторы внешней среды. Имеются периоды повышенной чувствительности к различного рода внешним воздействиям, в том числе и к механическим (см. табл. 12). В это время эмбрионы легко повреждаются и гибнут.

Так, икра осенненерестующих рыб, начиная со стадии поздней морулы и кончая стадиями замыкания желточной пробки и роста хвостовой почки, очень чувствительна даже к самым незначительным механическим воздействиям. Поэтому перевозка ее на этих стадиях запрещается.

В развитии икры форели наблюдаются два периода пониженной чувствительности, в которые и рекомендуется ее перевозить. Первый период начинается сразу же после набухания и продолжается до нача-

ла дробления бластодиска (2–3 дня). В это время икру обычно транспортируют с мест сбора на заводы. Второй период начинается со стадии замыкания бластопора или самого начала пигментации глаз и продолжается почти до выклева личинок. На этих стадиях развития проводят продолжительные перевозки икры.

Икру форели рекомендуется транспортировать на стадии дробления, т. е. сразу же после набухания, и с самого начала пигментации глаз (стадия глазка).

Следует особо отметить, что икру во влажной атмосфере можно перевозить только после полного набухания. У форели оно практически заканчивается спустя 5 ч после помещения ее в воду.

Транспортировка икры на стадиях, предшествующих выклеву, может привести к повышенному отходу и выклеву личинок в пути. В случае острой необходимости транспортировки икру загружают на рамки в один слой, при этом с особой тщательностью оберегают ее от механических воздействий. По этой же причине независимо от продолжительности транспортировки не производят душевание ее. Однако наиболее целесообразно в этом случае транспортировать икру в полиэтиленовых пакетах с водой и кислородом, загрузив ее в количестве, соответствующем плотности посадки личинок.

4.5.4. Отход при перевозке

Показатели выживаемости икры зависят не только от соблюдения основных биотехнических требований при перевозке в контейнерах, но во многом и от количества перевозимых эмбрионов (табл. 14–16).

Перед перевозкой икры на ранних стадиях развития необходимо определить процент оплодотворения, для чего икру форели в начале развития фиксируют на стадиях дробления 5%-ным раствором формалина, разведенным в солевом растворе (7 г поваренной соли на 1 л воды). Через 4–6 ч, когда желток затвердеет, снимают оболочки и просматривают зародышевый диск под микроскопом. У оплодотворенной развивающейся икры бластомеры зародышевых дисков четко выражены, чего не наблюдается на зародышевых дисках неоплодотворенной икры. С начала пигментации глаз неразвивающуюся икру легко различить невооруженным глазом. Погибшую икру отбирают из аппаратов на протяжении всей инкубации, поэтому на поздних стадиях развития икру в контейнер загружают с единичным отходом. Нормативный отход для расчетов принят 5 %.

Таблица 14. **Норма загрузки икры радужной форели в пенопластовый контейнер**

Масса икринки, мг	Количество при перевозке многослойным способом, тыс. шт.	
	на рамке	в контейнере
58–65	325–350	650–700

Примечание. В стандартный пенопластовый контейнер входит 20 рабочих рамок высотой 1,5–2,0 см или 2 рамки высотой 15 см.

Таблица 15. **Соотношение массы и количества икры радужной форели**

Масса икринки, мг	Количество икры в 1 л	
	тыс. шт.	г
58–65	9–10	580–600

Расчет количества контейнеров для перевозки 20 млн шт. зародышей. В один контейнер помещается 650 тыс. шт. зародышей. Потребуется в 1-м туре перевезти зародышей. Следовательно, необходимо 8 контейнеров: 5 000 000 : 650 000 = 8 шт.

Таблица 16. **Температурные показатели развития икры радужной форели**

Нерестовые температуры, °С	Оптимальные температуры развития, °С		Верхние пороговые температуры, °С
	на стадиях развития		
	дробления – гаструляции	после появления кровеносной системы	
6,0–11,0	6,0–10,0	6,0–10,0	14

5. ТЕХНОЛОГИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛОМ РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ. ХРОМОСОМНЫЕ МАНИПУЛЯЦИИ. ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ОДНОПОЛОГО И ТРИПЛОИДНОГО ПОТОМСТВА

5.1. Общие биологические и технологические принципы управления полом радужной форели

Существуют значительные экономические преимущества в контроле полового развития рыбы. Современные технологии позволяют производить моносексуальные или стерильные популяции, обладающие несколькими преимуществами. Самки рыб обычно более ценны, чем самцы, из-за высокой стоимости икры и производства потомства. Использование популяций, состоящих полностью из самок или стерильных особей, также исключает появление сексуально зрелых самцов, что повышает экономическую эффективность. Стерильные рыбы также могут обладать повышенным потенциалом роста или лучше приспосабливаться к условиям выращивания. Наконец, повторные нересты у радужной форели могут быть полезными для аквакультурных операций, поскольку модифицированные популяции могут продолжать производить потомство нужного пола в течение многих лет.

Чтобы понять, как и почему описанные ниже методы могут контролировать пол лососевых рыб, важно понять, как происходит естественное половое развитие рыбы. Лососевые рыбы, подобно млекопитающим, развиваются как самцы или самки, основываясь на XY-подобной системе определения пола. Эмбрионы получают один набор хромосом от яйцеклетки и один от сперматозоида. Клетки или организмы, такие как сперматозоид, у которых есть один набор хромосом, называются гаплоидными. Клетки или организмы, у которых два набора, называются диплоидными. Все яйцеклетки (икринки) несут одну хромосому X, тогда как половина сперматозоидов несет хромосому X, а вторая половина – хромосому Y. Яйцеклетки (икринки), оплодотворенные спермой с хромосомой X, становятся XX и являются самками; те, которые получают хромосому Y, становятся XY и являются самцами (рис. 5). Однако рыбы отличаются от млекопитающих тем, что применение гормонов на правильном этапе раннего развития может изменить их пол.

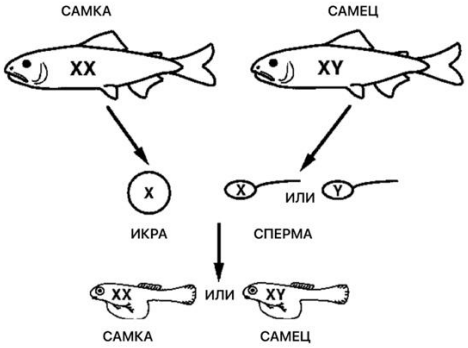


Рис. 5. Определение пола у радужной форели

Существует два общих способа производства 100 % самок, 100 % самцов или стерильных популяций радужной форели. Первый способ включает в себя манипуляцию хромосомами икры и сперматозоидов, а второй – обработку личинок половыми стероидными гормонами. Можно использовать мужские половые стероиды (андрогены) для производства самцов или стерильных рыб и женские стероиды (эстрогены) для производства самок (рис. 6).

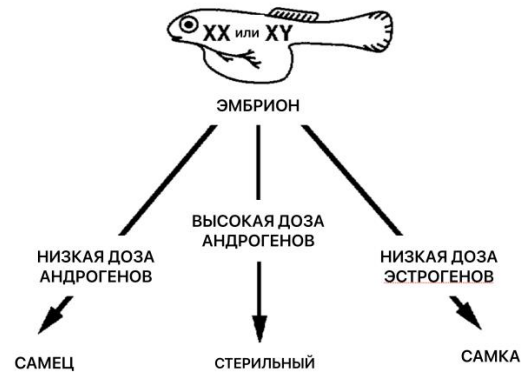


Рис. 6. Эффект от обработки молоди радужной форели половыми стероидами

Прежде чем приступить к конкретным методологиям, давайте сначала введем несколько основных концепций контроля пола.

Производство самок. Производство всех самок путем манипуляции хромосомами называется гиногенезом. Этот процесс включает в себя инактивацию ДНК сперматозоида так, чтобы он не вносил никаких отцовских хромосом в эмбрионы. Икринки фактически обманываются, думая, что они были оплодотворены. Затем эти икринки подвергаются воздействию шока путем нагрева или экстремального давления, чтобы второй набор материнских хромосом (называемый полюсным телом), обычно выделяемый при оплодотворении, оставался. Полученные эмбрионы имеют два набора материнских хромосом и являются XX, или полностью женскими (рис. 7).

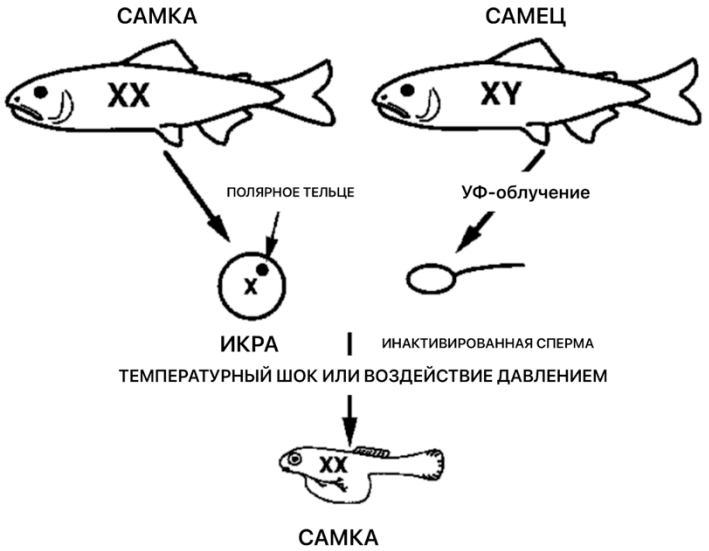


Рис. 7. Создание полностью женской популяции радужной форели путем гиногенеза

Производство самцов. Андрогенез – это манипуляция хромосомами для производства самцов. В этом методе ДНК икринки инактивируется, и используются обычные сперматозоиды для оплодотворения. Затем оплодотворенная икринка подвергается воздействию тепла или давления для удвоения отцовских хромосом. Полученные эмбрионы либо XX – женские, либо YY – мужские (напомним, что половина сперматозоидов несет хромосому X, а половина – хромосому Y).

Потомство этого процесса должно быть выращено до зрелости, чтобы определить, которые из потомков – YY, а которые – XX. Для инактивации ДНК яйца необходимо использовать токсичные химические вещества. Из-за этих неудобств процесс андрогенеза не используется широко.

Однако при разведении с нормальными самками YY-самцы порождают потомство, состоящее на 100 % из самцов (рис. 8). Гораздо более простой способ получения мужских популяций – это подвергнуть молодую рыбу воздействию андрогенов. Эти мужские половые стероиды, так же как и при производстве только самок, применяются методом обмакивания или кормления.

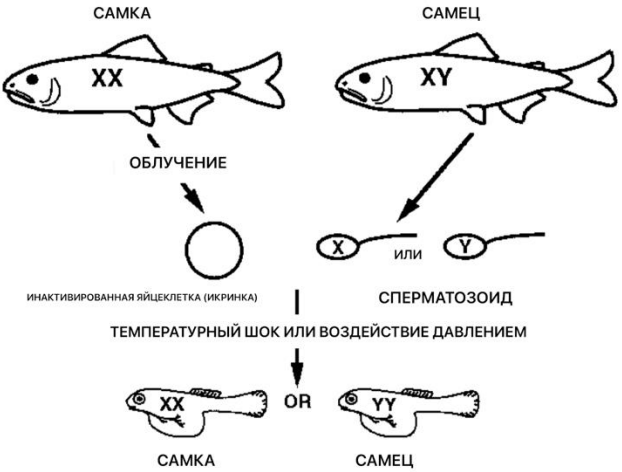


Рис. 8. Создание самцов радужной форели путем андрогенеза

Производство стерильных рыб. Процесс, при котором хромосомы манипулируются для стерилизации рыб, называется триплоидией. В этом методе используется обычная сперма для оплодотворения яиц. Затем применяется тепловой или гидростатический шок, что приводит к удержанию дополнительного набора материнских хромосом (полюсного тела). Полученные эмбрионы теперь имеют три набора хромосом: один от отца и два от матери. Животные с нечетным количеством наборов хромосом обычно стерильны. Рыбы с тремя наборами хромосом называют триплоидами (рис. 9).

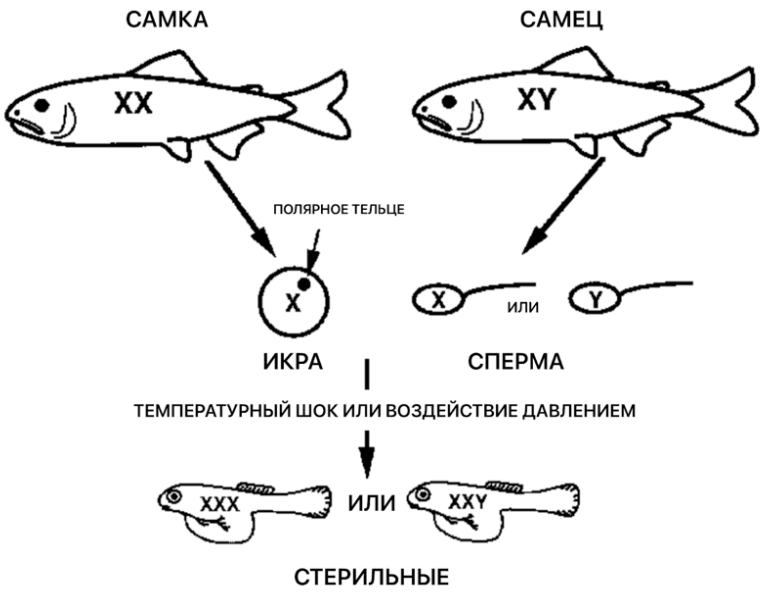


Рис. 9. Создание стерильной радужной форели путем триплоидии

Стерильную рыбу также можно получить, обрабатывая молодую рыбу очень высокими дозами андрогенов. Эти дозы значительно выше тех, которые используются для изменения пола. Стероиды могут быть применены через погружение или кормление.

Обработка молодой рыбы половыми стероидами для производства популяций полностью женской рыбы обычно включает использование эстрогена – эстрадиола. Этот стероид можно применять путем погружения в него только что выклюнувшихся личинок, кормления личинок с добавлением эстрадиола или комбинации погружения и кормления.

5.2. Хромосомные манипуляции

5.2.1. Гиногенез

Производство популяций радужной форели, состоящих полностью из самок, методом гиногенеза требует инактивации спермы до ее использования для оплодотворения. Затем оплодотворенные икринки

подвергаются воздействию шока для сохранения полюсного тела. Эта техника создает полностью женскую популяцию для всех видов лососевых рыб, кроме лосося кижуча. Несмотря на то что процедура кажется сложной, она очень проста.

Для выполнения гиногенеза понадобится следующее:

- раствор для разбавления спермы;
- источник ультрафиолетового (УФ) света;
- УФ-светомер;
- защитные очки от УФ-излучения;
- стеклянные подносы;
- горячая ванна.

Самый простой способ инактивации спермы – подвергнуть ее воздействию ультрафиолетового излучения. Другие формы излучения также могут инактивировать сперму, но они очень опасны и рекомендуются только в лабораторных условиях. Прямой или отраженный УФ-свет вреден как для кожи, так и для глаз. Носите защитную одежду и УФ-очки при работе с источниками УФ-света.

УФ-свет вызывает образование связей в ДНК сперматозоида таким образом, что она не может соединяться с ДНК икринки после оплодотворения. Поскольку УФ-свет не проникает очень глубоко в жидкости, важно, чтобы вся сперма подверглась воздействию облучения, потому что даже небольшое количество активированной спермы может произвести много рыб, которые не являются самками. Чтобы обеспечить воздействие радиации на всю сперму, разбавьте ее разбавляющим раствором и распределите смесь тонким слоем на стеклянных подносах перед облучением.

Сперма радужной форели остается жизнеспособной только короткое время после контакта с водой. Разбавляющие растворы состоят из высоких концентраций солей или сахаров, которые сохраняют сперму жизнеспособной до тех пор, пока ее не разбавят водой. Существует множество видов разбавляющих растворов, но мы рекомендуем два. Первый – это раствор глюкозы. Для приготовления этого раствора просто добавьте 54 г глюкозы в 1 л дистиллированной воды или 27 г в 0,5 л и т. д. Второй разбавляющий раствор, который работает немного лучше, чем раствор глюкозы, состоит из нескольких солей и глюкозы (табл. 17).

Таблица 17. **Состав разбавляющего раствора для спермы радужной форели**

Реагент	Концентрация, г/л
Раствор 1	
KCl	9,0
NaCl	2,35
NaH_2PO	0,51
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	0,29
$CaCl \cdot 2H_2O$	0,29
Раствор 2	
$NaHCO_3$	5,0
Глюкоза	5,0
Стрептомицина сульфат*	6,0
Бензилпенициллин	5 000 000 МЕ/л

*Не обязательно, если растворы не предназначены для хранения (например, для гиногенеза).

Растворы можно хранить отдельно в замороженном виде. Смешивайте 4 части раствора 1 с 1 частью раствора 2. Для хранения разбавленной спермы используйте смесь растворов в пропорции 1:1 со свежей спермой. Для немедленного использования разбавленной спермы используйте смесь растворов в пропорции 9:1 со свежей спермой.

Сперма должна получить общую дозу облучения 12 000–15 000 эрг/мм^2. Большинство УФ-светомеров измеряют УФ-свет в микроваттах на квадратный сантиметр (1 мкВт = 10 000 000 эрг/с). Облучение спермы при 400 мкВт/см^2 в течение 2–2,5 мин должно инактивировать всю сперму. Для этой процедуры хорошо подходят стеклянные формы для выпечки.

Поместите светомер в стеклянную форму и поднимите или опустите источник света или форму так, чтобы светомер показывал 400 мкВт/см^2. Перемещайте светомер по всей форме, чтобы убедиться, что свет распределяется равномерно.

Разведите сперму в разбавляющем растворе до 10 %, т. е. 1 часть спермы к 9 частям разбавителя. Хорошо перемешайте разбавленную сперму, налейте ее в стеклянный контейнер и потрясите его из стороны в сторону, чтобы сперма равномерно распределилась. Очень важно, чтобы разбавленная сперма в форме была примерно 0,5 мм глубиной или меньше. Например, 10 мл разведенной спермы в подносе размером 16×25 см будут иметь глубину примерно 0,25 мм.

Затем поместите поднос под лампу на 2–2,5 мин. Убедитесь, что поднос ровный, чтобы сперма не образовывала лужи, что может при-

вести к глубине жидкости более 0,5 мм. Через 2–2,5 мин поместите яйца прямо в поднос с инактивированной спермой и покройте их водой. Мы обнаружили, что 10 мл разведенной спермы оплодотворяют около 1 500 икринок лосося или примерно 3 000 икринок форели. Через 2 мин промойте яйца водой, чтобы удалить избыток спермы, и покройте их водой еще на 8 мин. Важно применить тепловой шок к яйцам примерно через 10 мин после оплодотворения.

В качестве альтернативного подхода к облучению спермы можно применить следующую методику. Смесь спермы, сохраненной на льду, разбавляют $^1/_5$ раствора NaCl (0,7%). Раствор спермы (4 мл) помещают в чашку Петри (диаметр – 80 мм). Облучение проводят под УФ-лампой с длиной волны 254 нм (15 Вт) и постоянным перемешиванием магнитом (60–80 об/мин). Лампу прогревают минимум за 15 мин до начала облучения. Сперму облучают различными уровнями дозы УФ-излучения (240 (5 см от поверхности и 2 мин), 730 (15 см и 2 мин), 912 (15 см и 3 мин), 1 095 (10 см и 2 мин), 1 596 (5 см и 2 мин) или 2 394 (5 см и 3 мин) Дж/м^2).

Тепловой шок следует проводить при температуре либо 29 °С в течение 10 мин, либо 26 °С в течение 20 мин. Обе температуры дают похожие результаты, но температура теплового шока должна быть не менее чем на 15 °С выше температуры окружающей воды. Температуры свыше 29 °С могут убить большую часть икры лососевых рыб. Яйца можно подвергнуть тепловому шоку в различных контейнерах, включая ПВХ-кольца, плавающие корзины из сетки или нижний поднос лотков фирмы Heath или аналогов. Поддерживать воду в ванне нужно в движении, используя циркуляционную ванну, чтобы обеспечить равномерное распределение теплового шока по икринкам.

В качестве альтернативного подхода к тепловому шоку можно применить следующую методику. Гиногенетическую диплоидию и триплоидию индуцируют восстановлением второго полюсного тела путем погружения яиц в подогреваемую водяную ванну при температуре 26 °С. Переменные термошока включают время начала (5, 10 или 20 мин после оплодотворения) и продолжительность (10 или 20 мин).

После теплового шока можно поместить яйца непосредственно в подносы фирмы Heath для закаливания в воде. Гиногенез обычно сопровождается смертностью икринок от 30 до 90 %. Предотвратить развитие сапролегниоза можно, устанавливая формалиновый капельник во время инкубации и осторожно отбирая зараженные яйца на стадии глазка.

Гиногенеза можно достичь только в том случае, если ни одна из ДНК сперматозоида не интегрируется в икринку. Есть много способов проверить успешность техники гиногенеза. Первый – убедиться, что произведены популяции, состоящие на 100 % из самок.

Можно визуально определить пол радужной форели в возрасте 6 мес или старше путем диссекции. Гонада находится под почкой и плавниковым пузырем. Для диссекции рыбы срежьте кожу от заднего прохода вверх к жабрам и осторожно отведите кишки.

Яичники выглядят как увеличенные к голове рыбы ткани, в то время как яички гораздо тоньше. Близкое рассмотрение яичников должно показать наличие множества крошечных шариков, которые представляют собой ооциты, или будущие икринки.

Другой способ подтвердить успешный гиногенез – использовать облученную сперму от близкого родственника. Можно определить любой отцовский вклад в яйцо по невозможным гибридам или морфологически различающимся гибридам. Также можно использовать цветовые или морфологические маркеры для подтверждения гиногенеза при использовании спермы того же вида для оплодотворения яиц. Если сперма несет доминирующие гены цвета или морфологии, то потомки, проявляющие эти признаки, содержат по крайней мере часть ДНК спермы, и гиногенез не произошел.

Оптимизация методики УФ-облучения и теплового шока. Как показали проведенные исследования (Güner et al., 2016), несмотря на то что УФ-облучение сперматозоидов сработало для всех экспериментальных доз, лучший эффект достигнут при применении дозы 15 см от поверхности в течение 2 мин, что продемонстрировало более высокий уровень выживаемости (42,8 %) у личинок с желточным мешком и более низкое количество гаплоидов (1,9 %), чем при других дозах УФ-облучения. Результаты показали, что доза не была достаточной для полной инактивации всех сперматозоидов на данном расстоянии и с учетом времени облучения, что также подтвердилось наличием самцов в этой экспериментальной группе.

Как показали исследования (Güner et al., 2016), наилучшее время начала теплового шока составляет 20 мин после оплодотворения. Оптимальная продолжительность применения шока оказалась равной 10 мин (краткосрочный шок). Эта группа обработки продемонстрировала значительно улучшенный результат гиногенеза (99 %).

Другие способы методики гиногенеза. Процедура получения гиногенетических диплоидов состоит из 3 этапов: инактивации спермы

ультрафиолетовым излучением, искусственного осеменения икры и диплоидизации (задержки образования вторичного полярного тельца у зигот).

Для реализации последнего этапа используется ряд подходов, сходных с таковыми при создании триплоидов.

Способ 1. Использование повышенного давления и эфира.

Данный метод основан на получении жизнеспособных диплоидных гиногенетических мальков радужной форели путем последовательного проведения следующих манипуляций (Lou et al., 1984):

- инактивация спермы: изъятые у самцов молоки смешиваются с холодной модифицированной средой Кортланда (табл. 18), затем помещаются под четыре 36-ваттные бактерицидные лампы с излучением с длиной волны 254 нм на расстоянии 15 см от них на 28 мин и перемешиваются магнитной мешалкой с частотой вращения около 60 об/мин (толщина слоя суспензии – 5 мм);
- оплодотворение икры инактивированной спермой при 10 °С, затем инкубация зигот при этой температуре в течение 35 мин;
- инкубация икры в 2%-ной эмульсии эфира в течение 5 мин;
- воздействие повышенного давления (50 МПа) на икру в течение 10 мин; давление создается гидравлическим прессом в сосуде, куда помещают икру.

Эффективность данного метода по вылупляемости является высокой и составляет 66 % при выживаемости на 30-дневной стадии 97 %, на 210-дневной – 90 % по сравнению с традиционным методом.

Таблица 18. **Состав модифицированной среды (Truscott et al., 1966)**

Вещество	Концентрация, г/л
NaCl	1,88
$CaCl_2 \cdot 2H_2O$	0,23
KCl	7,20
$NaH_2PO_4 \cdot H_2O$	0,41
$NaHCO_3$	1,00
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	0,23
Глюкоза	1,00

Способ 2. Использование термического шока.

Получение жизнеспособных диплоидных гиногенетических мальков радужной форели предусматривает последовательное проведение следующих манипуляций (Lou et al., 1984):

- инактивация спермы: изъятые у самцов молоки смешиваются с холодной модифицированной средой Кортланда, затем помещаются под четыре 36-ваттные бактерицидные лампы, излучающие на длине волны 254 нм, на расстоянии 15 см от них на 28 мин и перемешиваются магнитной мешалкой с частотой вращения около 60 об/мин (толщина слоя суспензии – 5 мм);

- оплодотворение икры инактивированной спермой при 10 °С, затем инкубация зигот при этой температуре в течение 40 мин;

- воздействие повышенной температуры (28 °С) на оплодотворенную икру в течение 10 мин через 40 мин после оплодотворения.

Эффективность метода также высокая: вылупляемость – 62 %, выживаемость на 30-дневной и 210-дневной стадиях – 100 % по отношению к традиционному методу (Bencsik et al., 2011).

Кроме того, существует похожий путь получения гиногенетических диплоидов, при котором инактивацию спермы проводят в более мягких условиях: сперма разбавляется в 9 раз фосфатным буфером, содержащим 54 г/л глюкозы, перемешивается и помещается на 12,5 см от 5-ваттной УФ-лампы с излучением с длиной волны 254 нм на 2,5 мин.

Затем полученной спермой оплодотворяется икра, которая через 10 мин подвергается воздействию повышенной температуры (27,5 °С) в течение 14 мин.

Выживаемость полученной таким образом икры на 30-дневной стадии составляет 96 % относительно традиционного метода, однако только 73 % особей – гиногенетические диплоиды, остальные – триплоиды. Такого не наблюдается в первом случае, что, скорее всего, связано с менее специфичными условиями инактивации спермы (Bencsik et al., 2011).

Оба подхода являются эффективными, однако более технологичным является метод термического шока.

5.2.2. Триплоидия

Понятие о триплоидии. При традиционной технологии получение половых продуктов от производителей ограничено сроками и физиологическим состоянием, не позволяющим рыбам длительно сохранять состояние функциональной зрелости. Методика выдерживания производителей при низких температурах показала возможность смещения полового цикла в пределах трех месяцев. Однако она не обеспечивала устойчивый рыбоводный эффект в процессе перевода рыб в нерестовое состояние.

Развитие и сочетание различных методов управления сезонностью размножения позволяет осуществлять сдвиг полового цикла на ранние (до 3–5 мес.) и более поздние (до 3–6 мес.) сроки в зависимости от породы и расовой принадлежности форели.

Кроме того, получение зрелых половых продуктов и выращивание жизнестойкой молоди в условиях регулирования температурного режима позволяет оптимизировать использование производственных площадей и обеспечить растянутую во времени реализацию икры и рыбопосадочного материала форели.

Большинство живых организмов являются диплоидными (обладая двумя полными наборами хромосом, или 2n), иногда, обычно у растений, встречаются полиплоиды, имеющие более двух полных наборов. Триплоиды – это организмы, имеющие три хромосомных набора, или 3n. Вполне обычным является триплоидный набор у растений в традиционном сельском хозяйстве. Триплоидные животные намного реже, чем триплоидные растения, используются в производстве, главным образом это рыбы и двустворчатые моллюски.

Преимуществом триплоидов в любой форме сельского хозяйства является то, что они, как правило, стерильны. Как упомянуто выше, большинство растений и животных являются диплоидами, каждая клетка тела которых содержит два полных набора хромосом. Нормальный процесс клеточного деления, связанный с ростом, именуемый митозом, обеспечивает точное получение каждой новой дочерней клеткой полного диплоидного набора хромосом. Однако при половом созревании в клетках происходит альтернативный процесс клеточного деления, в результате которого образуются половые клетки – гаметы, или яйцеклетки и сперматозоиды. Этот процесс (именуемый мейозом) включает два отдельных этапа, называемых соответственно мейоз I и мейоз II. Многоступенчатая природа процесса гарантирует, что каждая яйцеклетка или сперматозоид содержит только один полный набор хромосом (гаплоидный, или гаметический набор). Следствием этого редукционного деления является то, что когда сперматозоид и яйцеклетка соединяются при оплодотворении, вновь возникший эмбрион имеет восстановленное диплоидное число хромосом.

Природа стерильности у триплоидов очевидна. Во время первого этапа мейоза сходны хромосомы (называемые гомологичными хромосомами) в клетке перед делением объединяются в пары. В триплоидной клетке этот основной этап мейотического процесса работает неточно, потому что гомологичные хромосомы не могут объединиться в

пары и разделиться поровну. Такой сбой мейотического деления и объясняет стерильность триплоидов у бескосточковых арбузов или устриц с плотным мясом во время нормального репродуктивного периода.

Большинство триплоидных растений, производимых в сельском хозяйстве, являются результатом скрещивания между тетраплоидными (4n) и диплодными родителями, при рекомбинации 2n и n гамет образуется триплоидный организм. У животных тетраплоидность невозможна, поэтому необходимы другие методы получения триплоидов.

Триплоидные формы различных видов рыб и моллюсков широко используются в качестве объектов культивирования во всем мире. Организмы, обладающие дополнительным набором хромосом, имеют ряд преимуществ по сравнению с диплоидными формами. Они характеризуются высокими скоростями линейного и весового роста, степенью выживаемости, устойчивостью к различным заболеваниям и неблагоприятным внешним факторам. Все это делает триплоиды привлекательными объектами для коммерческого выращивания.

Ключ к разгадке жизнеспособности и пригодности триплоидов у рыб был получен в ходе научных исследований причин появления в природных популяциях особей, у которых отсутствовали вторичные половые признаки. Цитогенетическое изучение этих животных выявило их триплоидность, что подтвердило возможность существования жизнеспособных триплоидов в природе и доступность механизма их получения.

В ходе более ранних исследований на амфибиях было обнаружено, что различные обработки яйцеклетки сразу после оплодотворения приводят к образованию триплоидного эмбриона. Это происходит благодаря тому, что в большинстве случаев при оплодотворении икры рыб не происходит завершения второй стадии мейоза. При нормальном ходе оплодотворения яйцеклетка заканчивает процесс мейоза сразу после оплодотворения и лишний хромосомный набор (в виде так называемого вторичного полярного тела) удаляется из яйцеклетки. При использовании теплового шока, высокого давления, или определенных видов химической обработки этого второго деления в мейозе не происходит и дополнительный набор материнских хромосом сохраняется. Получаемые в результате эмбрионы имеют один отцовский и два материнских набора хромосом и являются, следовательно, триплоидами.

Рыбы триплоидной однополой (только самки) линии имеют более высокий темп роста и позволяют получить стабильную продукцию.

Термин «полиплоидия» описывает наличие более двух однотипных наборов хромосом в организме или клетке. Полиплоиды не считаются генетически модифицированными формами. Триплоидия, наиболее распространенная форма полиплоидии, относится к организмам или клеткам с тремя однотипными наборами хромосом. У некоторых беспозвоночных и позвоночных, таких как рептилии, амфибии и телеосты, триплоидию можно легко вызвать в лабораторных условиях, что приводит к образованию жизнеспособных особей. У рыб подавление второго мейотического деления яйца сразу после оплодотворения успешно достигается обработкой икринок (Thorggard, 1983; Ihssen et al., 1990). Эти обработки основаны на воздействии давлением, термальных или химических воздействиях, вызывающих дестабилизацию микротрубочек, влияющую на центросомы, необходимые для формирования митотического веретена (Komen and Thorgaard, 2007). В результате прерывается деление яйца, что вызывает появление триплоидной рыбы (3n) с двумя наборами хромосом материнского происхождения (2n) и одним набором хромосом от отца (1n).

Оптимальные условия для индукции триплоидии зависят от вида. Важно найти подходящую комбинацию типа шока, продолжительности и времени после оплодотворения для каждого вида рыбы (Ihssen et al., 1990; Felip et al., 2001; Komen and Thorgaard, 2007). Так как триплоидные рыбы имеют дополнительное количество хромосом, гаметы не могут правильно проходить мейотические деления. Поэтому эти рыбы обычно являются генетически стерильными, с существенными изменениями, затрагивающими развитие их гонад. В общем, триплоидные самки имеют сниженный гонадосоматический индекс, в их яичниках присутствуют оогонии и первичные ооциты без признаков эндокринной зрелости. С другой стороны, триплоидные самцы имеют сходный гонадосоматический индекс с диплоидами с нарушенным сперматогенезом, влияющим на поздний мейоз и блокирующим спермиогенез. Хотя эндокринный профиль у самцов является сходным с диплоидами, триплоидные самцы редко производят сперму. В случае ее производства сперматозоиды от триплоидных самцов являются анеуплоидными, что ограничивает их способность к оплодотворению (Benfey, 1999).

Поскольку триплоидия – это метод получения стерильных рыб, ее рассматривают как потенциальное решение для улучшения разведения

рыболовных видов (Hulata, 2001). Благодаря этому стерильному состоянию триплоиды могут иметь лучшие показатели роста по сравнению с диплоидами (Ihssen et al., 1990; Felip et al., 2001). Важно отметить, что это утверждение нельзя распространять на все виды рыб. В настоящее время производство однополых культур только самок триплоидов осуществляется у форели (Sheehan et al., 1999). Тем не менее технология полиплоидии применяется в практике аквакультуры для многих других видов с коммерческим интересом (Hulata, 2001). Кроме того, триплоидизация может рассматриваться как альтернатива для использования генетически модифицированных организмов и смягчения генетического воздействия беглых особей рыбоводных хозяйств на дикие популяции. Протоколы для индукции триплоидии описаны для нескольких видов, представляющих интерес в аквакультуре, включая пресноводные виды (лососевые, цихлиды, сомовые и карповые) и морские виды (палтусовые, морской окунь, плоскоголовые) и др. (Ihssen et al., 1990; Felip et al., 2001; Piferrer et al., 2007).

Вы можете производить стерильных или триплоидных рыб, оплодотворяя икру обычной спермой, а затем подвергая их тепловому шоку для вызывания удержания полярного тела. Триплоидные рыбы содержат три набора хромосом. Половина рыб будет иметь генотип XXY, т. е. триплоидные самцы, а другая половина – XXX, т. е. триплоидные самки. Как самцы, так и самки должны быть стерильными.

У триплоидных самцоы обнаруживается большее развитие гонад, чем у триплоидных самок. Гонады у зрелого триплоидного самца могут выглядеть похожими на гонады нормальной рыбы, за исключением того, что они будут меньше и не будут производить сперму. Развитие гонад должно быть подавлено у триплоидных самок. У триплоидных самок гонады должны выглядеть как нитевидные. Гонады как триплоидных самцов, так и триплоидных самок должны выглядеть так, как у нормальных самцов, если они определены по полу примерно в возрасте шести месяцев.

У триплоидных особей должно быть на треть больше ДНК в их клетках, потому что у них три набора хромосом по сравнению с двумя наборами у нормальных диплоидных животных. Вы можете приобрести дорогостоящее оборудование, которое может измерять количество ДНК в клетках крови, но самый простой способ проверить, что триплоидные рыбы были произведены, – определить пол по диссекции после шести месяцев и проверить, имеют ли все рыбы сходные гонады с гонадами самцов. Гибридные триплоиды также могут быть произведены путем оплодотворения яиц спермой от тесно связанных видов.

Методика триплоидии.

Процедура:

• содержите поголовье, включающее как самцов, так и самок, которые будут подвергнуты индукции нереста;

• проверьте качество гамет;

• если гаметы высокого качества, подготовьте материалы и оборудование для индукции триплоидии следующим образом:

- соберите гаметы и оплодотворите яйца;

- осторожно поместите оплодотворенные яйца в цилиндр с делениями. Для индукции триплоидии используются только жизнеспособные икринки.

- воздействуйте шоком на эмбрионы;

- перенесите подвергнутые шоку эмбрионы в систему инкубации.

Материалы и оборудование:

• стеклянные пробирки объемом 15 мл для сбора спермы;

• стеклянная пробирка объемом 500 мл для сбора яиц;

• пластиковый лоток для искусственного оплодотворения;

• куриное перо;

• пастеровские пипетки;

• градуированные цилиндры;

• пластиковые лотки и сита;

• пластиковые лотки для холодового шока;

• стеклянные пробирки для размещения оплодотворенных яиц для шока;

• таймер;

• термометр;

• кухонные полотенца;

• пластиковые контейнеры для обездвиживания рыбы;

• доступная система инкубации;

• перчатки, лабораторный халат и сапоги.

Реагенты и растворы:

• анестезия: MS-222 (0,1 г на 1 л воды) или 2-феноксиэтанол (0,5 мл на 1 л воды);

• в качестве альтернативы наркоз можно провести с использованием гвоздичного масла. Гвоздичное масло было оценено как эффективный анестетик для рыб и может использоваться в дозах почти в 10 раз меньших, чем 2-феноксиэтанол;

• смесь измельченного льда и воды для холодового шока;

• теплая вода для теплового шока.

Способы шокового воздействия.

Способ 1. Холодовой шок.

Через 5 мин после оплодотворения примените холодовой шок при температуре 0 °С к оплодотворенным икринкам на 10 мин. Для холодового шока добавьте предохлажденную воду в стеклянный сосуд и поместите его в лоток со смесью измельченного льда и воды, чтобы достичь требуемой температуры для шока внутри сосуда. Используйте ртутный термометр для контроля изменений температуры во время обработки.

Способ 2. Тепловой шок.

Способ 2.1. Чтобы произвести триплоидных рыб, просто оплодотворите икру обычной спермой, подождите 10 мин, а затем подвергните ее тепловому шоку так же, как и при гиногенезе, либо при 29 °С в течение 10 мин, либо при 26 °С в течение 20 мин.

Способ 2.2. Данный способ является популярным, доказавшим свою эффективность многолетним использованием. Сущность данного способа заключается в следующем. Икра радужной форели через 20–40 мин после оплодотворения подвергается тепловому шоку путем перемещения ее в воду температурой 27 °С в течение 20 мин. За счет этого осуществляется получение триплоиодных эмбрионов. После теплового шока икра переносится обратно в условия нормальных для инкубации температур (7–10 °С).

Пример такого воздействия можно посмотреть на видео по следующей ссылке: https://www.youtube.com/watch?v=N2sXPXFxzZs.

Способ 2.3. Жизнеспособных триплоидных мальков радужной форели возможно также получать путем воздействия на оплодотворенную икру в течение 10 мин через 40 мин после оплодотворения повышенной температурой (28 °С); температура до и после воздействия составляет 6–10 °С.

Эффективность этого метода по триплоидам составляет 90 % среди выживших, вылупляемость – 78 %, выживаемость на 30-дневной стадии – 99,8 %, на 210-дневной стадии – 83 % по отношению к традиционному методу.

Способ 3. Воздействие давлением.

Сущность данного способа заключается в том, что эмбрионы радужной форели подвергаются воздействию повышенного давления. Краткое описание различных известных вариантов способа получения триплоидов при помощи воздействия на эмбрионы радужной форели давлением приведены в табл. 19. Процесс получения триплоидов тре-

бует оптимизации трех различных переменных: давления, продолжительности воздействия давлением и времени начала воздействия давлением, на которое влияет температура. Объединив влияние температуры в комбинированную единицу (°С-мин), можно сделать поправки на различные температуры, обычно встречающиеся в инкубационных цехах. Например, при температуре 10 °С через 30 мин после оплодотворения комбинированная единица равна 300 °С-мин; с поправкой на 9 °С время воздействия становится равным 300 / 9 = 33,3 мин. Эта комбинированная единица приведена в таблице. После воздействия оплодотворенная икра переносится обратно на инкубацию.

Таблица 19. **Обобщенные способы получения триплоидного потомства с помощью давления**

Давление (psi), фунт-сила на квадратный дюйм	Продолжительность, мин	Время после оплодотворения, мин	Температура, °С	°С-мин
7 000	3–7	40	9,4	376
9 245–9 956	6–10	5–30	10,0	
9 500	5	40	10,0	400
10 000	4	30	9,4–11,3	
10 000	5	40	7,5	300

Пример такого воздействия можно посмотреть на видео по следующей ссылке: https://www.youtube.com/watch?v=8i4X4IxVdF8.

В качестве оборудования для воздействия повышенным давлением рекомендуется использовать прибор TRC-APV-6.0 компании TRC Hydraulics Inc. или его аналог.

Способ 4. Комбинированное воздействие.

Данный способ основан на поэтапном воздействии на оплодотворенную икру давления и эфира. При применении данного способа 90 % выживших особей являются триплоидами, выживаемость на выклеве на 17–20 % ниже, чем при использовании традиционной технологии получения икры. Давление в сосуде, в который помещают икру, залитую водой температурой 6–10 °С, создается гидравлическим прессом.

Этапы и длительность воздействия:

- через 35 мин после оплодотворения в течение 5 мин осуществляется инкубация в 2%-ной эмульсии эфира;

- в течение 10 мин (т. е. через 40 мин после оплодотворения) применяется воздействие повышенным давлением 55 МПа;

- в течение 5 мин осуществляется повторная инкубация в 2%-ной эмульсии эфира.

Триплоидов возможно получать и без использования эфира, однако, несмотря на максимальную эффективность (до 100 % триплоидных особей), вылупляемость составляет не более 50 %.

Исследователи Preston et al. провели оптимизацию технологических параметров получения триплоидных особей кумжи данным методом. Наиболее эффективными оказались следующие условия: выдерживание оплодотворенной икры при 10 °С в течение 6 мин при давлении 72 МПа через 30 мин после оплодотворения без использования эфира, температура до и после выдерживания – (6,2 ± 2,3) °С. При этом эффективность по триплоидам составила 100 %, выживаемость на 550-дневной стадии – 93 %.

Способ 5. Воздействие повышенной концентрацией Ca^{2+} и щелочной средой. Существует способ получения триплоидных особей радужной форели путем инкубации оплодотворенной икры в растворе, содержащем 7,8 г/л NaCl, 0,28 г/л KCl, 11,1 г/л $CaCl_2$, доведенном до pH = 10 с помощью NaOH, в течение 20 мин при комнатной температуре через 10 мин после оплодотворения.

Однако данный способ требует доработки с точки зрения условий воздействия – температуры, насыщенности кислородом (раствор для инкубации готовился в дистиллированной воде).

Эффективность этого способа составляет 80 % по триплоидам среди выживших, однако выживаемость на стадии образования глаз (около 200 дней) составляет 50 % по сравнению с традиционным методом.

5.2.3. Андрогенез и тетраплоидия

Андрогенез – это метод, используемый для производства YY-самцов. С этой техникой ДНК икры инактивируется перед оплодотворением обычной спермой. Затем оплодотворенная икринка подвергается воздействию давления, тепловому или химическому воздействию для подавления первого деления клетки. Получившиеся рыбы могут быть либо самками XX, либо самцами YY. Тетраплоидия – это производство рыб с четырьмя наборами хромосом. Обычно оплодотворенная икра подвергаются такому же воздействию, как и в андрогенезе. Получившиеся рыбы могут быть либо самками XXXX, либо самцами XXYY. Скрещивание тетраплоидных рыб с обычными диплоидными приводит к стерильным триплоидным потомкам с тремя наборами хромосом.

И андрогенез, и тетраплоидия – это очень сложные техники. Трудно инактивировать ДНК яйца с помощью УФ-излучения, и для этого необходимо использовать токсичные химические вещества. Подавление первого деления клетки яйца также проходит очень трудно. По этим причинам андрогенез и тетраплоидия рекомендуются только для лабораторных исследований.

5.3. Гормональное воздействие

Специалисты в области аквакультуры могут изменить пол рыбы, подвергнув ее воздействию половых стероидных гормонов в нужное время в раннем периоде развития. Воздействие андрогенов может привести к появлению самцов; воздействие эстрогенов – к появлению самок. Использование гормонов для контроля пола имеет несколько преимуществ по сравнению с манипуляцией хромосомами, включая более высокие показатели выживаемости и менее дорогостоящие или громоздкие методологии. Недостаток в использовании гормонов для контроля пола радужной форели заключается в том, что некоторые соединения, используемые для изменения пола рыб, не могут быть использованы в животноводстве, предназначенном для потребления человеком. Перед использованием этих веществ рекомендуется проверить правила и регламенты Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь. Также будьте осторожны при обращении со стероидами, например при приготовлении кормовых смесей.

Воздействие на стероиды не всегда приводит к полной инверсии пола. Возможно получение 100 % женских или мужских популяций, но небольшой процент животных может стать гермафродитами (интерсексуалами) или стерильными. Воздействие на низкие дозы андрогенов обычно увеличивает нормальные темпы роста, тогда как воздействие на низкие дозы эстрогенов или высокие дозы андрогенов обычно снижает темпы роста.

5.3.1. Гормональное воздействие для получения самок

Среди наиболее важных проблем в аквакультуре, которые неизбежно возникают в период полового созревания рыбы, выделяют снижение или полное прекращение роста, ухудшение качества мяса и увеличение смертности, особенно у самцов лососевых рыб (Devlin and Nagahama, 2002). Самки форели радужной (*Oncorhynchus mykiss*) рас-

тут быстрее, и их половое созревание происходит позже, чем самцов (Piferrer, 2001), что характерно и для других видов этого семейства, таких как кета (*Oncorhynchus kisutch*) (Piferrer and Donaldson, 1994) и чавыча (*Oncorhynchus tshawytcha*) (Donaldson, 1986; Solar et al., 1987). Производства чисто женских популяций можно достичь прямой или косвенной феминизацией. Прямая феминизация включает в себя применение эстрогенов к половонедифференцированным личинкам и их дифференциацию в самок, тогда как косвенный метод использует андрогены для маскулинизации генотипических самок, которые затем используются в программе разведения для получения чисто женских популяций (Hendry et al., 2003). В случае видов, у которых самки являются гомогаметическим полом (генотип XX), сперму от маскулинизированных самок (т. е. XX-самцов) можно использовать для оплодотворения яиц обычных самок и получения потомства второго поколения, состоящего из чисто женских особей. Однако этот косвенный метод предпочтителен, поскольку рыбы, предназначенные для рынка, не подвергаются прямому воздействию стероидов (Tabata, 1991; Aida and Arai, 1998), но косвенный метод требует более одного поколения для получения чисто женских популяций (Piferrer, 2001). В настоящее время существует несколько методов гормонального воздействия на рыб. Crim (1985) классифицировал эти методы как прямые и косвенные. Два в настоящее время осуществимых метода использования половых гормонов на большом количестве рыб включают в себя использование обогащенной пищи в качестве диетического кормления и использование статических баков или рециркулирующих ванн для иммерсионного воздействия, для косвенного и прямого введения гормонов соответственно (Piferrer, 2001). Производство чисто женских популяций теперь четко разработано для двух типов систем прямого и косвенного производства (Piferrer and Donaldson, 1992). Оба метода включают в себя производство и реализацию чисто женских популяций, как это практикуется в разведении чавычи (Donaldson, 1986; Solar et al., 1987) и форели радужной (Bye and Lincoln, 1986). Предпочтительным методом получения чисто женской популяции для обеих целей является использование косвенного метода из-за использования сперматозоидов чисто женских особей для оплодотворения обычных яиц, что подробно описано в работе Piferrer (2001). Разработка ДНК-специфических проб является ускоренным методом в программах производства чисто женских популяций с использованием косвенного метода, что позволяет определить генетический пол у некоторых видов. Эти пробы, изна-

чально разработанные для чавычи, также были применены к кете и горбуше (*O. gorbuscha*) (Funk et al., 1973). Однако существующие пробы не дают возможности определить генетический пол других представителей лососевых, таких как атлантический лосось или форель радужная (Piferrer, 2001). Хотя большинство исследований по прямой феминизации рыб, в частности лососевых, сосредоточены на использовании натурального эстрогена эстрадиола-17ß (E2) (Hunter et al., 1983; Piferrer, 1990; Piferrer and Donaldson, 1992), но использование мощного синтетического (искусственного) эстрогена помогает разработать метод феминизации с наименьшей дозой и продолжительностью для производства здоровой рыбы для рынка. Этинилэстрадиол-17α (EE2) – это синтетический производный эстроген от E2, который имеет клинически важное применение по причине своей высокой способности подавления овуляции. Этинилэстрадиол-17α использовался для регулирования менструальных циклов миллионов женщин (Piferrer and Donaldson, 1992). В целом по костистым рыбам сравнение эстрогенной активности EE2 с другими синтетическими и натуральными эстрогенами проводилось в основном на цихлидах (Hunter et al., 1983), и общее количество ссылок на эту тему невелико, и ни одна из них не относится к лососевым, и в частности форели. Лучшие сравнения таких относительных активностей приводятся в обзорных статьях Yamamoto и Piferrer (Yamamoto, 1969; Piferrer, 2001). Piferrer выяснил, что EE2 был примерно в 3 раза более активен, чем E2, а Yamamoto отметил, что EE2 в 3,5 раза более активен, чем E2, у медаки – на уровне дозы GD50 (доза, при которой 50 % генотипных самцов становятся фенотипическими самками) (Piferrer and Donaldson, 1992).

Применение 17-альфа этинилэстрадиола. Существует два способа ввода гормона: погружение и кормление.

Метод погружения. Сначала 17-альфа этинилэстрадиол (EE2) растворяют в этаноле с концентрацией 1 мг/мл. Для эстрогенного воздействия к 10 л воды добавляют 4 мл этанолового раствора, чтобы получить конечную концентрацию EE2 – 400 мкг/л (Piferrer and Donaldson, 1992). Эмбрионы и личинки радужной форели однократно погружаются в ванну с раствором в период половой дифференциации их гонад (Piferrer and Donaldson, 1992) в течение 1–8 ч на второй день после 50%-ного вылупления.

Метод кормления. Личинки начинают кормить кормом, обогащенным гормоном, сразу при переходе на внешнее питание. Гормон вносят в дозировке 5–20 мг/кг. Продолжительность кормления – 30 дней.

Гормоны вносят методом напыления гранул или методом замачивания гранул.

Результаты исследований показали, что 17-альфа этинилэстрадиол обладает крайне высоким потенциалом для индукции половой дифференциации у радужной форели, поскольку однократное погружение на 2 ч с концентрацией 400 мкг/л EE2 привело к появлению 94,5 % самок, а 30-дневный период кормления с концентрацией 20 мг/кг корма привел к появлению 94 % самок, при этом также увеличился рост в некоторых группах.

Более длительные периоды погружения приводили к постепенному снижению выживаемости. Этот феномен может быть вызван токсическим воздействием этого гормона напрямую на гонады или более общим воздействием на гипофизарно-гонадальную ось (Yamazaki, 1983).

Несмотря на то что эти исследования показали, что оба метода (погружение и диетическое кормление) эффективны для индукции феминизации форели при конкретных концентрациях EE2, анализ побочных эффектов, роста и выживаемости в ходе лечения дает возможность заключить, что предпочтительнее использовать диетический метод гормональной экспозиции с дозой 20 мг/кг корма EE2. Этот метод, благодаря своей простоте и эффективности, предоставляет потенциал для эффективной прямой феминизации форели.

Применение 17-бета-эстрадиола (эстрадиола). Самый простой способ применения стероида – введение его в рацион рыбы. Можно сделать это, растворив стероид в чистом этаноле, а затем распылив его на корм. Давайте эстрадиол в количестве 5 частей на миллион (ppm) в течение 8–12 недель (приблизительно 670–1 000 градусо-дней), начиная с момента начала кормления (табл. 20). Кормите рыбу не менее трех или четырех раз в день. Эта доза приведет к практически 100%-ной популяции. Для радужной форели, в отличие от кеты, чинука (чавычи) и др., требуется 20 ppm в течение 8–12 недель. Части на миллион (ppm) эквивалентны миллиграммам (мг) стероида на килограмм (кг) рациона.

Таблица 20. **Половая реверсия лососевых рыб в самку под воздействием 17-бета-эстрадиола**

Метод	Дозы	Продолжительность	Период
Кормление	5 или 20 ppm	8–12 недель	Начало кормления

Вам понадобятся чувствительные весы для измерения эстрадиола, или можно купить стероид в предварительно измеренных количествах.

Носите латексные перчатки и маску для фильтрации при обращении со стероидом.

Например, чтобы приготовить 1 кг корма с содержанием эстрадиола 5 ppm, растворите 1 г эстрадиола в 1 л этанола. Это создаст концентрацию 1 мг/мл. Возьмите 5 мл этого раствора, добавьте 50 мл этанола и поместите смесь в распылитель. Разложите 1 кг корма тонким слоем на фольге, противнях или чем-то подобном. Затем распылите раствор на корм до увлажнения. Должно потребоваться всего немного раствора. Тщательно перемешайте рацион лопаткой и повторите процедуру до полного использования раствора. Это обеспечит равномерное распределение стероида внутри корма. Затем добавьте еще 20 мл этанола в бутылку, чтобы смыть остатки стероида, и также распылите его на корм. Оставьте корм на ночь для высыхания и полного исчезновения запаха этанола.

В исследованиях, проведенных Voorhees et al. (2023), сравнивалась эффективность двух разных концентраций 17β-эстрадиола (эстрадиола) – 20 и 30 мг/кг, – вносимых вместе с кормом форели в течение 60 дней, начиная с первого кормления. На 456-й день после первого кормления группы с дозами 20 и 30 мг/кг состояли на 84 % и 86 % из самок соответственно. Эти значения были значительно выше по сравнению с 47 % самок контрольной группы, в которой не применяли диету с эстрадиолом. В конце 60-дневного периода обработки эстрадиолом прирост массы, процент прироста массы и коэффициент конверсии корма были значительно ниже в группах с рыбами, получающими эстрадиол, чем в контрольной группе. Смертность варьировала от 1,0 до 2,4 % в разных группах, и различия не были статистически значимыми. По прошествии 105 дней после первого кормления прирост массы, процент прироста массы и коэффициент конверсии корма не различались статистически между группами. На 456-й день после первого кормления средняя длина и масса были значительно выше в группе с эстрадиолом в дозе 20 мг/кг по сравнению с рыбами в контрольной группе.

5.3.2. Гормональное воздействие для получения самцов

Применение 17-альфа-метилтестостерона и 11-бета-гидроксиандростендиона (ОНА). Существует ряд синтетических андрогенов, которые могут маскулинизировать лососевых рыб: 17-альфа-метилтестостерон, или МТ (17α-метилтестостерон), или естественно существующий стероид 11-бета-гидроксиандростендион (ОНА). Как и

эстрадиол, эти два стероида можно применять методом погружения или кормления. В отличие от эстрадиола, применение МТ также эффективно инвертирует пол радужной форели, а не только лосося.

Кормите рыбу, которой предстоит подвергнуться воздействию этих стероидов, в дозе от 0,5 до 3 частей на миллион (0,5–3 мг стероида на 1 кг рациона) для МТ и в дозе 3 частей на миллион для ОНА в течение 8 недель (табл. 21). Приготовьте растворы стероидов и рацион таким же образом, как и для эстрадиола.

Хотя обработка андрогенами должна привести к получению почти 100 % самцов, некоторые из рыб, получающих рацион с МТ, будут функционально стерильными. Это происходит потому, что у них не развиваются сперматические протоки (проток, который переносит сперму из гонады в отверстие). Если требуется сперма от этих обратно половых животных, гонады придется удалять хирургическим путем. Меньше рыбы станет самцами при обработке 0,5 частями на миллион МТ, но у большего числа сохранятся целостные сперматические протоки. Точно так же больше рыб станет самцами при использовании 3 частей на миллион МТ, но у меньшего числа сохранятся целостные сперматические протоки. Однако у большинства рыб, получающих с рационом ОНА, будут сохранены целостные сперматические протоки. Если требуются функциональные самцы, мы предлагаем кормить рыб ОНА в дозе 3 частей на миллион или МТ в дозе 0,5–1 часть на миллион.

Для метода погружения рыбу следует подвергнуть воздействию гормона однократно при концентрации 400 мг/л в течение 2 ч (табл. 21). Как и в случае с самками, здесь ключевым является правильное время проведения этого воздействия. Погружайте рыбу через неделю после 50%-ного вылупления. Техника погружения такая же, как при производстве самок.

Таблица 21. **Изменение пола лососевых рыб в сторону самцов при воздействии МТ или ОНА**

Стероид	Метод	Доза	Продолжительность	Период применения
МТ	Кормление	0,5–3 ppm	8 недель	Начало кормления
МТ	Иммерсия (погружение)	400 мкг/л	2 часа	1 неделя после выклева 50 % личинок
ОНА	Кормление	3 ppm	8 недель	Начало кормления

Комбинация методов погружения и кормления для ОНА должна привести к более высокому проценту самцов по сравнению только с кормлением. Преимуществом погружения рыб в МТ является то, что значительный процент произведенных самцов будет иметь целостные сперматические протоки.

В заключение, если требуются функциональные самцы, мы предлагаем кормить рыбу ОНА или погружать их в МТ. Если нужна только маскулинизация, мы предлагаем кормление МТ.

Применение 17-альфа-метилдигидротестостерона. В исследованиях, проведенных Galbreath et al. (2003), делалось сравнение 17-альфа-метилтестостерона (МТ) и 17-альфа-метил-дигидротестостерон (MDHT) с использованием метода иммерсии (погружения) и кормления. Процесс погружения проходил в течение 6 ч в растворе МТ или MDHT на 10-й день после завершения вылупления и(или) ввод гормонов осуществлялся в корм в течение 60 дней, начиная с первого кормления. Дозы погружения составляли 0,5 или 1,0 мг/л, а дозы кормления – 1,0 или 2,0 мг/кг корма для МТ и 0,5 или 1,0 мг/кг для MDHT. Процедуры с МТ оказали минимальное воздействие: большинство рыб оставались самками с малым числом фенотипических самцов (1–3 % в четырех из тестов), интерсексуальных рыб или стерильных рыб. В отличие от этого в нескольких тестах с MDHT было обнаружено значительное количество фенотипических самцов, причем наивысшая доля (45 %) наблюдалась при погружении в раствор в дозе 0,5 мг/л в сочетании с кормлением 0,5 мг/кг.

5.3.3. Гормональное воздействие для получения стерильных рыб

Высокие дозы андрогенов стерилизуют рыбу, но могут привести к снижению темпов роста и увеличению смертности. Более низкие дозы андрогенов также могут производить функционально стерильную рыбу. Помните, что обработка МТ в дозе 3 частей на миллион в течение 8 недель производит самцов, у которых обычно не развит сперматический проток.

Чтобы стерилизовать рыбу с помощью МТ, кормите ее в дозе от 25 до 100 частей на миллион в течение 15–17 недель. Более высокие дозы (50–100 частей на миллион) могут привести к феминизирующему эффекту у некоторой части рыб. Это называется «парадоксальная феминизация», поскольку обработка андрогеном приводит к образованию

самок. Погружение рыбы в МТ для их стерилизации является непрактичным, поскольку для этого требуется длительное время или очень высокие дозы вещества.

5.3.4. Другие способы использования гормонов для получения однополого (женского) потомства

Способ 1. Часть личинок радужной форели (до 50 %), полученных от однополых (женских) эмбрионов, завозимых извне, после перехода на внешнее питание кормят комбикормом, обогащенным метилтестостероном, в дозе 3 мг на 1 кг корма в течение 60 дней. Это является одним из наиболее распространенных и массово используемых способов с доказанной многолетней эффективностью. Однако одним из недостатков этого способа является то, что большинство полученных самцов (неосамцов) при достижении половой зрелости нефункциональны, так как у них нет семенных протоков, обеспечивающих выделение спермы. Семенные протоки либо не полностью сформированы, либо закупорены. Поэтому зрелые неосамцы перед извлечением спермы убиваются. Извлеченной спермой оплодотворяют икру по традиционной технологии, в результате чего получают однополое (женское) потомство.

Способ 2. Данный способ аналогичен способу № 1, только дозировку метилтестостерона рекомендуется снизить до 0,5–1 мг на 1 кг корма. В результате чего более 80 % неосамцов при достижении половой зрелости являются функциональными и не требуют забоя. Полученной спермой оплодотворяют икру по традиционной технологии, в результате получают однополое (женское) потомство. Способ является относительно новым и экспериментальным и не прошел многолетней апробации.

Способ 3. Часть личинок радужной форели (до 50 %), полученных от однополых (женских) эмбрионов, завозимых извне, через неделю после выклева подвергаются погружению в раствор метилтестостерона в концентрации 400 мкг/л в течение 2 ч. В ходе процедуры осуществляют принудительную аэрацию или оксигенацию воды. Процедуру повторяют сразу после перехода на внешнее питание. Далее процедуру повторяют еженедельно. Суммарно должно осуществиться 7 погружений. Данный способ обеспечивает наличие до 50 % функциональных неосамцов при достижении половой зрелости. Полученой

спермой оплодотворяют икру по традиционной технологии, в результате чего получают однополое (женское) потомство. Способ является относительно новым и экспериментальным и не прошел многолетней апробации. Данный способ позволяет значительно сократить попадание гормонов в окружающую среду.

Способ 4. Часть личинок радужной форели (до 50 %), полученных от однополых (женских) эмбрионов, завозимых извне, после перехода на внешнее питание кормят комбикормом, обогащенным 11-гидроксиандростендионом в дозе 20 мг на 1 кг корма в течение 60 дней. Способ обеспечивает 95%-ную эффективность перевода самок в самцов. Однако количество нефункциональных самцов сопоставимо со способом № 1. Способ является относительно новым и экспериментальным и не прошел многолетней апробации.

5.4. Технология получения однополого и триплоидного потомства

Воздействие на рыбу гормонами или манипулирование наборами хромосом приведет к получению рыб, которые, будучи разведенными, производят чисто женские, чисто мужские или стерильные популяции. Также можно использовать комбинацию введения гормонов и манипулирования хромосомами. Эти методы особенно полезны для рыб, которых можно разводить более одного раза, таких как форель. Уже установлено, что разводимые особи могут производить чистополовые популяции многие годы. Более того, гаметы (сперматозоиды или икра) от таких разводимых особей можно хранить в течение длительного времени.

5.4.1. Производство самок

Обработка МТ полученных методом гиногенеза чисто женских популяций приводит к появлению самцов, сперма которых несет только Х-хромосомы (ХХ-самцы). Разведение этих обратно преобразованных самцов с обычными самками приводит к 100%-ным чисто женским популяциям (рис. 10).

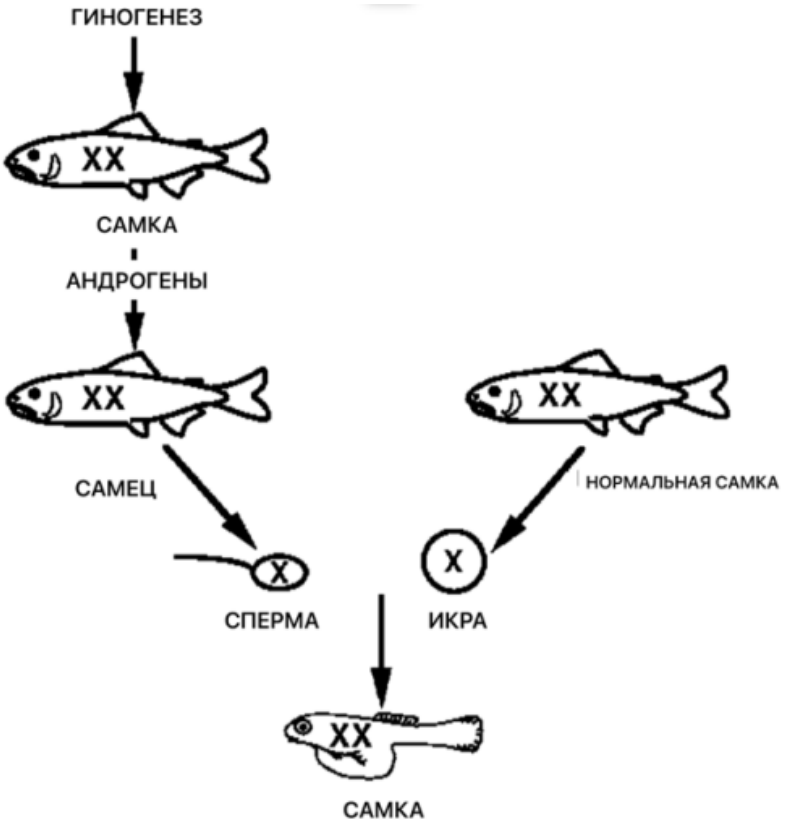


Рис. 10. Создание самок путем сочетания гиногенеза и гормональной терапии

Более простым способом получения XX-самцов является обработка нормальных бисексуальных групп рыб МТ, что приведет к популяции, содержащей 50 % генетических самцов и 50 % обратно преобразованных самцов. Скрещивая всех этих самцов с нормальными самками, можно получить 75 % самок и 25 % самцов (рис. 11). Этот метод позволяет быстро получить больший процент самок, не прибегая к гиногенезу. Чтобы получить XX-самцов, просто отслеживайте (посредством маркировки, изоляции и т. д.) тех самцов, от которых рождаются только самки. Затем можно разводить этих животных в будущем или хранить их сперму для создания дополнительных групп только самок.

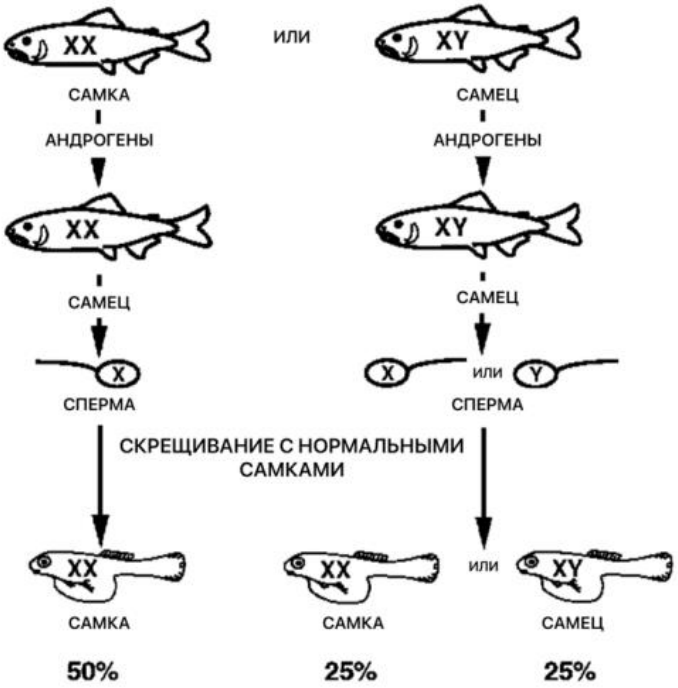


Рис. 11. Создание самок путем разведения обработанных гормонами рыб

5.4.2. Производство самцов

Производство самцов путем обработки андрогенетических популяций рыб не так просто, как производство самок. Это связано с тем, что половина рыб, произведенных андрогенезом, будут самками (XX), а половина – самцами (YY), и невозможно легко определить их пол до половой зрелости. Однако андрогенетические популяции могут быть обработаны эстрадиолом для создания популяций, в составе которых имеется 75 % самцов (рис. 12).

Также будут произведены YY-самцы, и их можно отслеживать и разводить для создания популяций только самцов, аналогично XX-самцам. Более простым способом производства самцов и получения YY-самцов является обработка нормальных бисексуальных групп рыб эстрадиолом, что приведет к популяции, в составе которой будет 62,5 % самцов, 12,5 % из которых также будут YY-самцами (рис. 13).

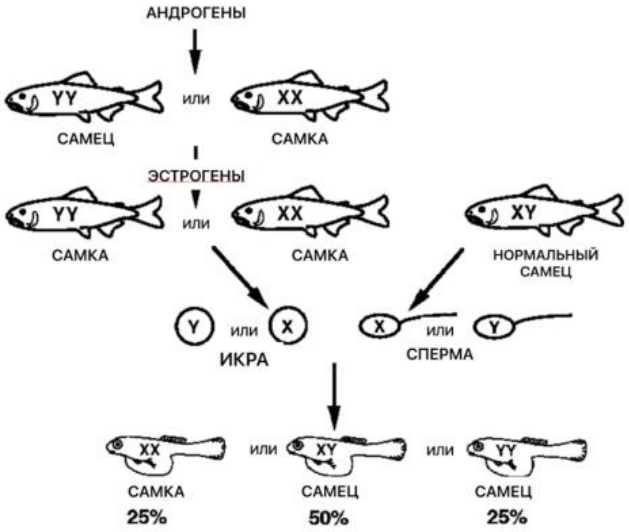


Рис. 12. Создание самцов путем сочетания андрогенеза и гормональной терапии

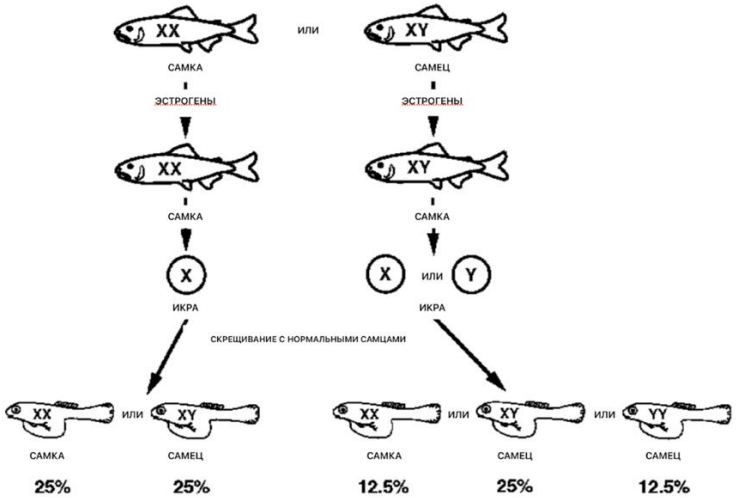


Рис. 13. Создание самцов путем разведения обработанных гормонами рыб

5.4.3. Производство стерильных рыб

Можно получить стерильных рыб, скрещивая тетраплоидных животных с нормальными (диплоидами). Полученные потомки будут иметь три набора хромосом (триплоиды) и, следовательно, будут стерильными.

5.4.4. Производство гибридов

Другим способом получения стерильных рыб для разведения является скрещивание самцов и самок двух разных видов. Этот метод называется межвидовой гибридизацией. Межвидовые гибриды могут иметь дополнительное преимущество в виде выдающихся черт своих родительских видов. Конечно, они также могут обнаруживать менее благоприятные черты, подобно тому, как у рафанобрассики (межвидовой гибрид капусты и редьки) – корни капусты и листья редьки.

Можно создавать диплоидные гибриды, просто оплодотворяя яйца одного вида спермой второго. Не все гибриды между видами являются жизнеспособными; кроме того, направление скрещивания (т. е. какой вид является самцом, а какой – самкой) может быть важным моментом. Например, гибридизация самки кеты и самца толстолобика возможна, но гибридизация самки толстолобика и самца кеты – нет.

Жизнеспособные диплоидные гибриды среди видов тихоокеанских лососей часто бывают стерильными или почти стерильными. Поскольку у каждого вида разные хромосомы, нет возможности спаривания хромосом для образования яиц или спермы. Стерильность имеет два потенциальных преимущества в аквакультуре: стерильные рыбы, как правило, растут лучше, чем нормальные рыбы, потому что они не тратят энергию на образование яиц или спермы, и стерильные рыбы не могут размножаться с дикими популяциями.

Ожидается, что триплоидия у гибридов между видами дополнительно нарушит формирование спермы и икры и подавит развитие половых желез. Триплоидных гибридов можно получить, используя техники задержки полярного тельца, описанные ранее.

Триплоидный гибрид вносит два комплекта хромосом, а мужской родитель – один комплект. Как и в случае с диплоидными гибридами, направление скрещивания может быть важным для выживаемости. Поскольку женский родитель предоставляет больше генетического

материала, триплоидный гибрид, вероятно, будет больше похож на женского родителя, чем на мужского.

Как и в случае с триплоидами одного вида, рост и выживаемость триплоидных гибридов могут быть менее эффективными по сравнению с сопоставимыми диплоидными гибридами. Тем не менее имеется предположение, что в некоторых случаях триплоидия фактически увеличивает жизнеспособность межвидовых гибридов. Преимущества триплоидного гибрида следует оценивать, когда обычные диплоидные особи начинают созревать половозрелыми.

В этот период триплоидные рыбы, особенно самки, должны продолжать расти, а не развивать гонады. Условия для индукции удержания полярного тела зависят от температуры воды, в которой содержатся рыбы. Видимо, степень изменения температуры более важна для получения шока рыбой, чем сама температура. Индукцию триплоидии, в среднем составляющую 90 % для кеты, розового лосося и чинука и их гибридов, можно получить, повысив температуру воды на 10 мин после оплодотворения от амбиентной 10 до 26 °С в течение 20 мин. Индукция триплоидии, в среднем составляющая 95 % для кеты, розового лосося, чинука и их гибридов, была получена путем повышения температуры через 10 мин после оплодотворения от амбиентной, составляющей 14,5, до 28 °С в течение 20 мин. Повышенный уровень индукции триплоидии сопровождался снижением выживаемости от икринки до вылупления. Если нужна более высокая эффективность, вам, возможно, придется провести несколько тестов, чтобы определить наилучший метод температурного шока.

6. ВЕТЕРИНАРНО-САНИТАРНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ И ИХТИОПАТОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ

6.1. Перечень ветеринарно-санитарных мероприятий и популярные заболевания радужной форели

Контроль за заболеваниями гидробионтов в мире осуществляет Особая комиссия по водным животным при Международном эпизоотическом бюро (МЭБ). По данным МЭБ, мировая аквакультура по отдельным странам теряет в среднем от 6 до 20 % продукции из гидробионтов (около 3 млрд долл. США). В общем списке обязательно декларируемых в МЭБ заболеваний 5 болезней рыб: эпизоотический гемопоэтический некроз, инфекционный гемопоэтический некроз, вирусная болезнь симы, вирусная геморрагическая септицемия, весенняя виремия карпа. Кроме того, согласно классификации МЭБ, к опасным заболеваниям также отнесены герпесвирусная болезнь канального сома, вирусная энцефалопатия и ретинопатия, инфекционный некроз поджелудочной железы, инфекционная анемия атлантического лосося, иридовирусная болезнь красного пагра, иридовирусная болезнь белого осетра, эпизоотический язвенный синдром, бактериальная почечная болезнь, эдвардсиеллез канального сома, писцириккетсиоз атлантического лосося, гиродактилез лососевых, вызываемый *Gyrodactylus salaries.*

Таким образом, среди МЭБ-декларируемых опасных заболеваний рыб *у форели диагностируют*: гемопоэтический некроз, вирусную геморрагическую септицемию, инфекционный некроз поджелудочной железы, инфекционную анемию атлантического лосося, бактериальную почечную болезнь, гиродактилез лососевых, вызываемый *Gyrodactylus salaries*.

В перечень карантинных и особо опасных заболеваний рыб, регистрируемых в форелевых хозяйствах, входят: *некроз поджелудочной железы лососевых, бактериальная почечная болезнь лососевых, вирусная геморрагическая септицемия лососевых и инфекционный некроз гемопоэтической ткани.*

Из общего числа выявленных у форели заболеваний при ее выращивании в мировой аквакультуре 26 болезней заразной этиологии и 8 – незаразной (табл. 22–24).

Таблица 22. **Инфекционные болезни форели**

Название болезни	Карантинная	Опасная	Вялотекущая
Вирусные			
Инфекционный некроз поджелудочной железы	+	–	–
Инфекционный некроз гемопоэтической ткани	+	–	–
Папилломатоз	–	–	+
Вирусный некроз эритроцитов	–	+	+
Синдром эритроцитарных телец-включений	–	–	+
Вирусная геморрагическая септицемия	+	–	–
Инфекционная анемия	+	–	–
Бактериальные			
Фурункулез	+	–	–
Флавабактериоз	–	+	+
Бактериальная почечная болезнь	+	–	–
Вибриоз	–	+	–
Иерсинеоз (красный рот)	+	–	–
Флексибактериоз	–	+	–
Бактериальная холодноводная болезнь	–	+	–
Стрептококкоз	–	+	–
Бактериальная геморрагическая септицемия	–	+	–
Микозы			
Сапролегниоз	–	+	+
Глубокий висцеральный микоз	–	+	–
Ихтиофоноз или ихтиоспоридиоз	–	+	–

Таблица 23. **Паразитарные заболевания форели**

Заболевание	Часто регистрируемое	Редко регистрируемое
1	2	3
Ихтиободоз	+	–
Гексамитоз	+	–
Апиозомоз	–	+
Триходиниоз	–	+
Хилодонеллез	+	–
Трихофриоз	–	+
Ихтиофтириоз	+	–
Хлоромиксоз	+	–
Гиродактилез	+	–
Диплостомоз	–	+
Ихтиокотилюроз	–	+

Окончание табл. 23

1	2	3
Триенофороз (мышечный)	–	+
Дифиллоботриоз (птичий или чаячий)	–	+
Писциколез	–	+
Аргулез	+	–
Эргазилез	+	–

Таблица 24. **Незаразные болезни форели**

Заболевание	Часто регистрируемое	Редко регистрируемое
Белопятнистая болезнь желточного мешка	–	+
Водянка желточного мешка	–	+
Микотоксикозы	–	+
Авитаминозы	+	–
Нефрокальциноз	+	–
Липоидная дегенерация печени	–	+
Водные токсикозы	+	–
Газопузырьковая болезнь	+	–

Примечание. «+» – наличие; «–» – отсутствие.

Предупреждение возникновения и распространения возможных заболеваний основано на строгом соблюдении и регулярном проведении лечебно-профилактических мероприятий.

6.2. Ветеринарно-санитарные требования при работе с ремонтно-маточным стадом (РМС) и производителями

1. РМС и производителей в селекционно-племенные предприятия и рыбопитомники завозят в исключительных случаях и только из хозяйств, благополучных по заразным болезням рыб.

2. Во всех случаях завоз осуществляют при наличии нормативных документов (Ветеринарного свидетельства или Ветеринарного сертификата при завозе из-за рубежа), в которых указывается эпизоотическое состояние хозяйства-репродуктора и дается разрешение на перевозку живой рыбы с целью рыборазведения.

3. Завезенных производителей передерживают в отдельной установке (рыбоводном цикле) вода, из которой не попадает в общую систему водоподачи. Рыба передерживается в течение 30 дней при температуре не менее 12 °С.

4. Особей, имеющих язвы, рваные раны, опухоли, пучеглазие, необычно темную окраску тела, разрушенные плавники, ерошение чешуи, искривление позвоночника, деформацию челюстей, папилломы и студенистые, уплотненные образования на теле, а также другие клинико-патологические признаки повреждения или заболевания, отбраковывают.

5. В период транспортировки и выдерживания за производителями рыб ведут тщательное наблюдение и проводят диагностические исследования. Погибших рыб и особей с признаками болезней удаляют.

6. В цехе выдерживания производителей обеспечивают подачу воды в соответствии с рыбоводными требованиями.

7. Перед началом рыбоводного цикла рабочие помещения, оборудование, инвентарь, бассейны, садки, носилки, тачки дезинфицируют.

8. Рыбоводный инвентарь закрепляют за каждым цехом и ежедневно дезинфицируют 2,5–3%-ным раствором Формалина или раствором Хлорамина (2–5 г/л).

6.3. Ветеринарно-санитарные требования в период инкубации икры

1. Икру и сперму (V стадия) используют только от здоровых производителей.

2. После окончания сбора икры помещение, оборудование, инвентарь дезинфицируют, просушивают и сохраняют до следующего сезона.

3. За состоянием икры и аппаратов, условиями ее инкубации ведут наблюдение. В эмбриональном развитии радужной форели различают 23 стадии развития, разделенные на 7 этапов.

Среди них выделяют *наиболее чувствительные стадии* – период дробления, обрастания и начала формирования эмбриона, образования хвостовой почки и отделения хвоста, начала пигментации глаз, сегментации хвоста и начала движений, и особенно перед вылуплением.

Критическими стадиями, когда нецелесообразно проводить какие-либо манипуляции с икрой в инкубационных аппаратах (в том числе лечебно-профилактические обработки), являются 3–6-е сут от начала развития и в течение 5–7 сут до вылупления.

Поэтому все лечебно-профилактические обработки и другие рыбоводно-технологические операции с оплодотворенной икрой ра-

дужной форели обычно проводят до наступления стадии утолщения бластодиска (на 2-й день после закладки икры на инкубацию) и после завершения пигментации глаз (за 5–7 дней до вылупления).

Для получения сертификата на перевозку икры лососевых, согласно общим требования МЭБ, перед отправкой обязательна профилактическая обработка икры (на стадии пигментации глазка) йодофорами (в России для этого используют Йодинол), для профилактики распространения вирусных и бактериальных инфекций.

4. В профилактических целях против поражения сапролегниевыми грибами, патогенными бактериями и вирусами икру, разложенную на рамки не более чем в 1,5 слоя, перед помещением в инкубационные аппараты обрабатывают 0,5%-ным раствором Формальдегида в течение 3 мин, Хлорамином-Б в концентрации 1:20 000 (50 мг/л) в течение 30 мин или Йодинолом в концентрации 0,1 % с экспозицией 10 мин (при обработке Йодинолом показатель pH должен быть не выше 6,5–7,5). Величина показателя pH доводится до величины 6,5–7,5 небольшим количеством крепкого раствора питьевой соды.

5. При появлении сапролегнии икру (на стадии образования глазка) регулярно обрабатывают в растворе 0,5%-ного Формальдегида в течение 3 мин, Малахитового зеленого 1:15 000 (1 г на 15 л, или 67 мг/л) – 10–30 с с интервалом в 10 дней, а также проводят отбор пораженной икры и ее утилизацию.

6. Освободившиеся после инкубации рыбоводные рамки, весь инвентарь и аппараты тщательно промывают, дезинфицируют просушивают.

6.4. Ветеринарно-санитарные требования в период выращивания молоди

1. Для выращивания сеголеток используют пластиковые бассейны. За каждым из них закрепляют рыбоводный инвентарь.

2. В течение всего периода выращивания молоди в выростных рыбоводных емкостях необходимо соблюдать оптимальную плотность посадки, контролировать уровень, проточность и расход воды, освещенность, содержание кислорода, pH, окисляемость, углекислоту, температуру (измеряется не менее трех раз в сутки), ежедневно удалять погибших мальков, скопление ила, остатки корма.

3. Для кормления рыб использовать доброкачественные корма, сбалансированные по витаминному, аминокислотному и минеральному

составу. Доброкачественность корма оценивают по показателям окисленности входящих в корм жиров и контаминации их микроорганизмами.

4. Личинку и молодь подвергают регулярному ихтиопатологическому обследованию не реже 1 раза в 7–10 дней.

5. При обнаружении у рыб возбудителей инвазионных болезней проводят лечебно-профилактические мероприятия согласно действующим инструкциям, используя следующие препараты: фиолетовый «К», поваренную соль, формалин, малахитовый зеленый, бриллиантовый зеленый. До и после лечения необходимо контролировать зараженность рыб паразитами.

6. Освободившиеся после сортировки (облова) рыб бассейны очищают от обрастаний, остатков корма и дезинфицируют Хлорамином Б (2–5 г/л), 5%-ным раствором хлорной извести или 10%-ным раствором негашеной извести. Все дезинфицирующие растворы готовят перед употреблением.

7. После дезинфекции все емкости промывают чистой водой и оставляют сухими до следующего рыбоводного цикла.

8. В установках замкнутого водообмена (УЗВ) лечебный раствор из таких препаратов, как формалин, малахитовый зеленый и бриллиантовый зеленый, хлорная известь, после кратковременной обработки рыбы максимально сбрасывается в канализационную сеть, т. е. исключается из оборота. Метиленовый синий и низкие концентрации поваренной соли (до 0,8 %) не оказывают отрицательного влияния на биофильтр и могут быть допущены в циркуляцию и использоваться для длительной обработки рыбы из расчета создания рабочей концентрации во всем объеме циркулируемой воды, включая блок биологической очистки и отстойник.

6.5. Комплекс ветеринарно-санитарных и лечебно-профилактических мероприятий

В общем виде комплекс ветеринарно-санитарных и лечебно-профилактических мероприятий на предприятиях, а также перечень мероприятий по коррекции иммунофизиологического состояния и повышению выживаемости молоди форели представлен в табл. 25, 26.

Таблица 25. **Комплекс ветеринарно-санитарных и лечебно-профилактических мероприятий на предприятиях по выращиванию форели**

№ п/п	Наименование мероприятий	Сроки исполнения	Ответственные исполнители
1	2	3	4
I. Общие ветеринарно-санитарные и профилактические мероприятия			
1	Мониторинг эпизоотического состояния хозяйства. Клинический осмотр и паразитологические исследования рыбы всех возрастных групп	Регулярно в течение года	Ихтиопатолог хозяйства, ветеринарные специалисты
2	Контроль за перевозками ремонтно-маточного стада, рыбы и оплодотворяемой икры	При завозе	Ветинспектор района, специалисты хозяйства
3	Карантинное передерживание завозимой рыбы для формирования ремонтно-маточного стада в карантинных или специальных бассейнах или циклах УЗВ для передержки рыбы сроком не менее 30 дней при температуре воды не ниже 12 ˚С	При завозе	Специалисты хозяйства
4	Профилактическая обработка рыбы при перевозках: метиленовый синий – 0,5–1,0 г/м^3 поваренная соль – 0,3–0,5 %	При перевозках	Ихтиопатолог, специалисты хозяйства
5	Профилактическая обработка рыбы органическими красителями, Малахитовым зеленым, Формалином, поваренной солью в соответствии с утвержденными инструкциями и наставлениями	Регулярно, ежемесячно или ежедекадно в течение года	Ихтиопатолог хозяйства
6	Профилактика осложнений у производителей после забора икры: - тампоновые аппликации 1,0%-ным спиртовым раствором Бриллиантового зеленого или 10%-ным раствором Перманганата калия	В нерестовый период	Ихтиопатолог, специалисты хозяйства
7	Профилактическая обработка инкубируемой икры: - 0,55%-ным раствором Формалина – 3 мин; - 0,1%-ным раствором Йодинола – 10 мин; - Хлорамином Б – в соотношении 1:20 000 – 30 мин	При инкубации	Ихтиопатолог, специалисты хозяйства

Продолжение табл. 25

1	2	3	4
8	Профилактическая дезинфекция рыбоводных емкостей (лотков, бассейнов), инкубационных аппаратов, инвентаря одним из следующих растворов дезинфектантов: - 5%-ный раствор хлорной извести (АДВ не ≤ 25 %) (1 ч); - 10%-ный раствор негашеной извести (2 ч); - 2–4-ный раствор Формалина (1 ч); - Хлорамин, 2–5 г/л; - Дезавид – 3%-ный раствор – 30 мин	Регулярно в течение года, по окончании рыбоводного сезона	Специалисты хозяйства
9	Для повышения общей резистентности и профилактики заболеваний, сопряженных со стрессом (флексибактериоз, бактериальная геморрагическая септицемия, жаберный некроз, предоперационная подготовка производителей и др.), проводят курс кормления с пробиотиками: - Азогилин, 5×10^6 КОЕ/г – 5 % к массе корма (5 дней); - Ацидофилин, 0,1–1,0 г/кг (2–3 курса по 10 дней); - Субалин, 17×10^8 КОЕ/г, 100 доз/т (5 дней); - Субтилис, 0,35–0,40 г/кг корма (10 дней); - Зоонорм, 100–300 доз/кг корма (10–12 дней)	Регулярно в течение года	Ихтиопатолог, специалисты хозяйства
II – Специальные мероприятия по борьбе с заразными болезнями на неблагополучных предприятиях		При возникновении заболевания	Ветеринарные инспекторы, ихтиопатологи, диагносты
10	Разрабатывается план лечебно-оздоровительных мероприятий в соответствии с утвержденными инструкциями и наставлениями	После установления диагноза	Ихтиопатолог со специалистами хозяйства при согласовании с ветинспектором района

Окончание табл. 25

1	2	3	4
11	Для борьбы с флексибактериозом применяют: лечебные ванны в рыбоводных емкостях: - 10 мг/л Хлорамина Б (1 ч); - 75 мг/м^3 Фуразолидона (20 мин) лечебное кормление: - 50–80 мг/кг массы рыб в день Окситетрациклина (10 дней); - 1 г/кг рыбы Антибака (5 дней)	При возникновении заболевания	Ихтиопатолог, специалисты хозяйства
12	Для борьбы с бактериальной геморрагической септицемией применяют: лечебный курс кормления с антибиотиками после определения чувствительности: - 1 г/кг массы рыбы Антибака 100 (5 дней); курс кормления с пробиотиками	То же	Ихтиопатолог, специалисты хозяйства
13	Для борьбы с сапролегниозом рыбы применяют: - обработку Фиолетовым «К» по воде 0,2 г/м^3; - индивидуальные аппликации 1,0% спиртовым раствором Бриллиантового зеленого	То же	Ихтиопатолог, специалисты хозяйства
14	Для борьбы с триходинозом применяют: - солевые ванны, 2%-ный раствор (20 мин); - формалиновые ванны, 0,2 мл/л или 1:5 000 (30 мин); - органические красители, 0,2 г/м^3 (4 ч)	То же	Ихтиопатолог, специалисты хозяйства
15	Для борьбы с ихтиофтириозом применяют: - Малахитовый зеленый, 0,2 г/м^3 (4 ч); - Основной ярко-зеленый, 0,15 г/м^3 (4 ч)	То же	Ихтиопатолог, специалисты хозяйства

Таблица 26. **Примерный перечень мероприятий по коррекции иммунофизиологического состояния и повышению выживаемости молоди форели**

№ п/п	Наименование мероприятий	Сроки исполнения	Ответственные исполнители
1	2	3	4
1	Антистрессовые препараты, используемые с кормом или в виде ванн (обработки): - Куксовит, 500 мг/кг корма, или Витамин С, 1 000 мг/кг корма (7–10 дней); - антистрессовая композиция (на 1 м^3: 10 г марганцовокислого калия + 10 г хлорной извести + 100 г соли + 50 г питьевой соды). Используется в виде ванн, возможно применение и при перевозках рыбы	Перед сортировкой, пересадкой рыбы	Ихтиопатологи, рыбоводы
2	Обработка хлористым калием, 11,5 мг/л	Во время транспортировки	Ихтиопатолог, рыбоводы хозяйства перед перевозкой рыбы
3	***Тонизирующие ванны:*** раствор соли концентрацией 2 % в течение 20 мин или 0,2 % в течение 4–5 ч	Периодически (≈1 раз в месяц)	Ихтиопатолог, специалисты хозяйства
4	***Иммуностимуляторы и биологически активные препараты:*** - Витамин С, 0,5–2,0 г/кг корма (10 дней) - Витатон, 0,5–1,5 г/кг корма, (30–40 дней); - глюканы, 0,1 % к корму; - Ридостин – в виде внутрибрюшинных инъекций, 1–20 мг/кг массы рыбы, или выдерживание рыб в растворе препарата с концентрацией 0,5–2 мг/л в течение 30–60 мин; - Тиамин (витамин B_1) – эффективен при недостатке тиамина в организме личинок. В виде ванн в затемненном цехе, непосредственно в лотках и бассейнах (30 мин) Двукратно через 3–5 дней	Рекомендуется проводить 2–3 раза в год	Ихтиопатолог, специалисты хозяйства

Окончание табл. 26

1	2	3	4
	- Трийодтиронин – повышает иммунитет и резистентность к бактериальной инфекции. С кормом: 5 мг/кг корма; - Ультрадисперсное железо (УДЖ), 0,4 мг/кг рыбы в день, (10 дней). Профилактика – ежемесячно в течение всего рыбоводного сезона, 0,2–0,3 мг/кг рыбы (до 20–30 дней); - Хитозан с кормом, 2,5 г/кг корма (7–10 дней)		
5	Для повышения общей резистентности и профилактики заболеваний, сопряженных со стрессом (миксобактериоз, бактериальная геморрагическая септицемия, жаберный некроз, предоперационная подготовка производителей и др.) проводят курс кормления с пробиотиками: - Азогилин, $5 \cdot 10^6$ КОЕ/г, 5 % к массе корма (5 дней); - Ацидофилин, 0,1–1,0 г/кг (2–3 курса по 10 дней); - Субалин, $17 \cdot 10^8$ КОЕ/г, 100 доз/т (5 дней); - Субтилис, 0,35–0,40 г/кг корма (10 дней); - Зоонорм, 100–300 доз/кг корма (10–12 дней)	Регулярно в течение года	Ихтиопатолог, специалисты хозяйства

6.6. Методика ихтиопатологических исследований

Общие указания. В разделе описана только та часть работы ихтиопатолога, которая предусматривает регулярный контроль за состоянием здоровья рыбы.

При плановом (двукратном в год, согласно требованиям МЭБ для племенных хозяйств и рыбопитомников, реализующих рыбоводную продукцию для целей дальнейшего выращивания или передержки в живом виде) ихтиопатологическом обследовании предприятия для подтверждения его эпизоотического благополучия по бактериальным

и вирусным заболеваниям или при подозрении на их возникновение, инфекционным заболеваниям необходимо подключение специалистов ветеринарных или ихтиопатологических лабораторий для проведения специальных бактериологических и вирусологических исследований. Такие работы должны выполнять сертифицированные диагностические лаборатории ветеринарного или рыбохозяйственного профиля для постановки точного диагноза, так как при ряде вирусных и бактериальных болезней форели на хозяйства накладывают карантин и регистрируют в МЭБ.

Технология предусматривает, что к работе приступает специалист-ихтиопатолог, который должен обладать навыками ихтиопатологического обследования рыбы, знать отличительные признаки здоровой и больной рыбы.

Методика ихтиопатологического обследования рыбы. Ихтиопатологическое обследование обязательно проводят:

1) однократно, при завозе новой партии рыбы на предприятие, проводя полное паразитологическое обследование;

2) регулярно, в ходе выращивания всех возрастных групп и при содержании ремонтно-маточного стада, проводя неполный паразитологический анализ.

Осмотру подвергается только живая рыба, которую непосредственно вылавливают из рыбоводной емкости. При этом в первую очередь просматривают рыб с измененным поведением, координацией, положением тела в воде, частотой дыхательных движений, реакцией на внешние раздражители (шум, удары, попытку поймать и др.). Записывают в ихтиопатологический журнал вид рыбы, ее среднюю массу, размер, возраст. Осмотр ведут в хорошо освещенном месте, вынимая из воды рыбу по одной. Осматривают кожные покровы и плавники, обращая внимание на наличие и количество слизи, пигментацию, наличие опухолей, цист, некротических участков, язв, рубцов, состояние чешуйчатого покрова. Приподнимая жаберные крышки, осматривают жабры. Обращают внимание на форму и структуру жаберных лепестков, их окраску и степень ослизнения. Осматривают ротовую полость на наличие язв, новообразований, слизи, изменение окраски. При осмотре глаз обращают внимание на их форму, наличие кровоизлияний, цвет хрусталика и роговицы.

Рыб с выраженными клиническими признаками заболевания отсаживают в ведро, подсчитывают процент пораженных рыб. Отсажен-

ную рыбу переносят в лабораторию, где проводят паразитологическое и патологоанатомическое вскрытие.

Специальные диагностические исследования в рыбопитомниках и селекционно-племенных хозяйствах – вирусологические и бактериологические – выполняются при затруднении в постановке диагноза, а также при плановых (не реже двух раз в год) ихтиопатологических обследованиях с привлечением сотрудников специализированных научных или диагностических лабораторий с целью подтверждения эпизоотического благополучия предприятия.

Патологоанатомическое вскрытие рыбы и паразитологический анализ. Работу проводят в производственной лаборатории, используя живую или только что уснувшую рыбу.

Полное паразитологическое исследование рыб проводят в следующем порядке: внешний осмотр, кровь, кожа, плавники, носовая и ротовая полости, жабры, желчный и мочевой пузыри, брюшная полость, почки, сердце, пищеварительный тракт, печень, селезенка, гонады, головной и спинной мозг, хрящи, мышцы, глаза.

Подсчет количества крупных паразитов (рачков, гельминтов, глохидий, цист миксоспоридий) проводят в абсолютных числах, а мелких (инфузорий и других простейших) – в относительных. Для этого подсчитывают количество паразитов в десяти полях зрения микроскопа и определяют средний показатель. После завершения исследования всех рыб высчитывают экстенсивность и интенсивность инвазии, индекс обилия по каждому паразиту в отдельности для каждого вида и возраста рыб. Под экстенсивностью инвазии (т. е. процент заражения) понимают число зараженных экземпляров от всех исследованных рыб. Расчет процента заражения производят, если количество исследованных рыб превышает 10 экз.

Средняя интенсивность инвазии определяется делением суммы найденных паразитов на число зараженных рыб, а индекс обилия – делением на общее число исследованных рыб, включая и незараженных.

Обнаруженных паразитов необходимо фиксировать, этикетировать и сохранять для дальнейшей камеральной обработки с целью определения их видовой принадлежности.

Исследование крови. Для обнаружения кровепаразитов кровь берут пастеровской пипеткой из сердца, жаберной или хвостовой артерии и делают мазки. Для предотвращения свертывания крови в тонкой части пипетки ее необходимо промывать лимоннокислым натрием. Мазок делают тонким шлифованным стеклом. Для этого на край обезжи-

ренного предметного стекла наносят каплю крови. Шлифованным стеклом касаются капли, которая растекается вдоль края стекла. После этого тянут каплю сначала слегка назад, затем быстро продвигают вперед, для того чтобы элементы крови растеклись в один слой. Сразу после высыхания мазка его фиксируют в метаноле 1–2 мин либо в смеси 96° спирта с эфиром (1:1). Мазки крови до окрашивания хранят вместе с этикетками сухими. В крови рыб могут паразитировать жгутиконосцы родов *Trypanosoma* и *Cryptobia*, а также вегетативные стадии миксоспоридий.

Исследование кожного покрова рыб, плавников, носовой и ротовой полостей. При наружном осмотре кожного покрова и плавников рыб всех паразитов, видимых невооруженным глазом (цисты миксоспоридий, микроспоридий, глохидии, паразитические ракообразные, пиявки и др.), собирают, предварительно определяют и фиксируют. Затем скальпелем делают соскоб с поверхности тела рыб и переносят на предметное стекло, добавляют каплю воды, накрывают покровным стеклом и просматривают вначале под микроскопом типа МБС (×14, ×40) для выявления триходин, хилодонелл, апиозом, ихтиофтириусов, моногеней и др., а затем, микроскопируя в проходящем свете при увеличении от 100 до 900 раз, просматривают жгутиконосцев, споры миксоспоридий. У молоди рыб первого года жизни мазок слизи берут со всей поверхности тела, у годовиков и рыб старших возрастных групп – с нескольких участков тела.

Плавники отрезают, кладут на стекло в капле воды и просматривают под микроскопом МБС, растягивая иголками. Между лучами могут быть цисты миксоспоридий, метацеркарии трематод, паразитические раки, глохидии. Далее делают соскоб и просматривают его так же, как и соскоб с поверхности тела.

В носовой полости рыб возможно нахождение паразитических простейших, рачков *Paraergasilus rylovi*, мелких моногеней. В носовые ямки крупных рыб пипеткой впрыскивают воду, оттягивая обратно с водой слизь с паразитами. Комочки слизи исследуют под микроскопом на предметном стекле в капле воды на наличие инфузорий.

В ротовой полости рыб можно обнаружить рачков, пиявок, моногеней, метацеркарии трематод, цисты микро- и миксоспоридий, других простейших. Для нахождения последних необходимо сделать соскоб слизи с поверхности ротовой полости, мазок и просмотреть его под микроскопом.

Исследование жабр. Вырезают жаберную крышку и просматривают ее с внутренней стороны, где могут находиться цисты микроспоридий и миксоспоридий, нематоды, моногенеи, рачки.

Жаберные дуги вырезают, помещают в чашку Петри по порядку, так как на разных жаберных дугах количество паразитов различно. Собирают видимых паразитов, подсчитывают их и фиксируют. Затем препаровальными иглами перебирают жаберные лепестки под микроскопом МБС для нахождения моногеней, цист микроспоридий и миксоспоридий, цист дермоцистидий, личинок трематод, рачков и других паразитов. После этого делают соскоб с жаберных лепестков. Помещают его на предметное стекло с каплей воды, накрывают покровным стеклом и просматривают под микроскопом при малом и большом увеличении (видны простейшие, споры миксоспоридий, моногеней).

Исследование брюшной полости и внутренних органов. Рыбу следует класть головой к левой руке исследователя, чтобы при ее вскрытии не повредить мочевой пузырь. Сначала делают поперечный разрез тела в районе грудных плавников, куда вводят ножницы тупым концом, далее продольным разрезом вскрывают брюшную стенку. Ножницы держат так, чтобы их тупой конец был внизу и чуть приподнят, и, не доходя до анального отверстия рыбы, их следует повернуть в сторону спины до основания ребер, держа ножницы почти параллельно мышцам. Затем, разрезая боковую часть тела рыбы, доводят ножницы до грудных плавников. Выделив мочевой и желчный пузыри, рыбу накрывают влажной марлей, чтобы она не подсыхала.

Желчный пузырь. Зажав пинцетом желчный проток, аккуратно отделяют желчный пузырь от печени и помещают его на предметное стекло, оценивая цвет желчи. Осторожно разрезают стенку пузыря, Делают соскоб с внутренней стенки пузыря на предметное стекло. Накрывают его покровным стеклом и просматривают при малом и большом увеличении микроскопа (видны жгутиконосцы, споры и плазмодии миксоспоридий, метацеркарии трематод, плероцеркоиды цестод). Добавлять воду на стекло не следует, так как плазмодии миксоспоридий при нарушении осмотического давления разрываются. Желчь также просматривают под микроскопом.

Мочевой пузырь. Для выделения мочевого пузыря необходимо пинцетом подцепить мочеточники, которые располагаются внутри почек, и вести их до ануса, где они сливаются. У мелких карповых рыб нужно вынуть концы мочеточников и прямой кишки и под контролем микроскопа МБС отделить мочевой пузырь. Мочевой пузырь разреза-

ют и делают соскоб с внутренней стороны, просматривают при малом и большом увеличении микроскопа. При этом не следует добавлять в мазок воду. В мочевом пузыре рыб могут паразитировать миксоспоридии, трематоды, триходины. В мочеточниках встречаются трематоды рода *Phyllodistomum.*

Вскрытую брюшную полость (только после извлечения желчного и мочевого пузырей) осматривают, при обнаружении крупных паразитов (цисты трематод и нематод) их извлекают и фиксируют для дальнейшего изучения. В брыжейке рыб можно найти метацеркарии трематод, личинки дифиллоботриумов. Затем из брюшной полости извлекают внутренние органы, раскладывают их в чашки Петри, смочив водой.

Почки. Исследуют компрессионным методом, просматривают под микроскопом при малом увеличении МБС (видны метацеркарии трематод, цисты миксоспоридий), а при большом – видны споры и плазмодии миксоспоридий, жгутиконосцы, триходины.

Сердце. На поверхности сердца рыб можно обнаружить личинки трематод и цестод, цисты миксоспоридий. Вскрывают полость сердца, содержимое синуса и желудочка, а также стенку органа, просматривают под микроскопом МБС компрессионным методом.

Пищеварительный тракт. Следует разделить пищеварительный тракт на пищевод, желудок, кишечник и просматривать их отдельно. Каждый участок аккуратно разрезают вдоль и его содержимое просматривают компрессионным методом под микроскопом МБС. При этом извлекают всех червей в солонку, промывают их и фиксируют спиртом между стеклами для дальнейшего изучения, определения. Затем скальпелем делают небольшой соскоб со слизистой кишечника и просматривают его под большим увеличением микроскопа (видны гексамиты, кокцидии, миксоспоридии). Содержимое кишечника также просматривают под микроскопом для выявления цестод, трематод.

Печень. На поверхности и в ткани печени рыб можно обнаружить цисты ленточных червей, личинки трематод, круглых червей. Печень исследуют компрессионным методом под микроскопом МБС.

Селезенка. Исследуют компрессионным методом под МБС. В селезенке рыб можно обнаружить метацеркарии трематод, личинки нематод, цисты миксоспоридий.

Гонады. Исследуют компрессионным методом и просматривают под микроскопом МБС при малом и большом увеличении (видны цисты и споры миксо- и микроспоридий, плероцеркоиды ленточных червей, метацеркарии трематод). Содержимое зараженной микроспоридиями икринки представляет собой белую мутную жидкость.

Плавательный пузырь осматривают, разрезают и делают соскоб с внутренней поверхности, который просматривают под микроскопом МБС при малом и большом увеличении (видны миксоспоридии, метацеркарии трематод, нематоды).

Исследование головного и спинного мозга. Головной и спинной мозг рыб исследуют компрессионным методом под микроскопом для обнаружения в них цист миксоспоридий, микроспоридий, метацеркарий трематод.

Исследование хрящей. Для обнаружения миксоспоридий (*Myxosoma cerebralis, Myxobolus arcticus* и др.) – паразитов молоди первых месяцев жизни лососевых рыб – компрессионным методом исследуют черепные и межпозвонковые хрящи. Для выделения спор необходимо мелко раскрошить (растереть в ступке) хрящи, залить водой и просмотреть вытяжку под микроскопом.

Исследование мышц. У головы рыб надрезают кожу и снимают ее как чулок, открывая мышечную ткань. Скальпелем делают поперечные разрезы до хребта, отворачивая слой мышц, просматривают их, как будто листая страницы (видны цисты миксоспоридий, личинки гельминтов). Затем небольшие куски мышц исследуют компрессионным методом под микроскопом МБС: при малом увеличении микроскопа видны личинки трематод, цестод, нематод, цисты микро- и миксоспоридий, при большом – споры микро- и миксоспоридиий.

Исследование глаз. Из глазной впадины извлекают глазное яблоко, кладут его в солонку и аккуратно разрезают. Извлекают хрусталик, стекловидное тело и содержимое передней камеры глаза и изучают отдельно на предметных стеклах, просматривая под микроскопом МБС. В хрусталиках рыб паразитируют метацеркарии трематод рода *Diplostomum*. В стекловидном теле – метацеркарии трематод, личинки нематод рода *Desmidacercella*, в глазной жидкости – миксоспоридии, метацеркарий трематод. Соскоб с внутренних стенок глаза исследуют компрессионным методом под микроскопом МБС. Обнаруженные метацеркарии трематод извлекают, считают (отдельно инвазионных и неинвазионных) и отмывают в пресной воде. Если метацеркарий в хрусталике много (десятки и сотни), отмывку их удобнее проводить в стаканчике объемом 0,2 л методом отмучивания и последовательных сливов. У живых метацеркарий подтверждают их принадлежность к роду *Diplostomum* и выявляют их морфологические особенности. Для этого собранные метацеркарии помещают на предметное стекло с лункой и исследуют под малым увеличением микроскопа, обращая

основное внимание на форму их тела, количество и характер расположения известковых телец. По форме и размерам известковых телец метацеркарий рода *Diplostomum* дифференцируют от таковых рода *Tylodelphys* (у первых известковые тельца имеют шаровидную форму и разные размеры, у вторых – они овальные и одинакового размера). Количество и характер расположения известковых телец в теле метацеркарий рода *Diplostomum* – одна из важных морфологических особенностей этого вида. В глазах одной рыбы могут одновременно паразитировать несколько видов рода *Diplostomum*. Известковые тельца отсутствуют у не достигших инвазионной стадии развития (чаще у молоди рыб) и утративших инвазионность метацеркарий (чаще у рыб старше пяти лет). Метацеркарии трематод без известковых телец только считают, не собирая для дальнейшей обработки и определения до вида. Видовая принадлежность возбудителей диплостомозов рыб определяется только по инвазионным метацеркариям.

Регулярное ихтиопатологическое обследование рыбы проводится 1 раз в 10 дней. Оно может включать упрощенный метод обследования, с учетом выращивания рыбы в условиях одного хозяйства по технологии УЗВ. При этом обязательно микроскопируют соскоб слизи с тела и плавников, соскоб с жабр и внимательно проводят патологоанатомическое вскрытие, обращая внимание на состояние внутренних органов, упитанность, жирность, наполняемость пищей желудочно-кишечного тракта.

7. РЫБОВОДНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ МАТОЧНОГО, РЕМОНТНО-МАТОЧНОГО СТАДА И РЫБОПОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ РМС

7.1. Расчет необходимой численности производителей и ремонтной группы в составе ремонтно-маточного стада, а также необходимого количества молоди для ежегодного пополнения ремонтно-маточного стада, обеспечивающих получение в течение календарного года 4 генераций молоди

При расчете необходимой численности производителей и ремонтной группы в составе ремонтно-маточного стада исходили из следующего:

1. Возраст первого нереста для получения оплодотворенной икры составит 3 года.

2. Производители будут использоваться до 6-годовалого возраста (всего 4 нереста).

3. Для выхода на проектную мощность понадобится запустить 4 партии маточного стада (МС). Каждая партия МС будет формироваться ежегодно. Выход на проектную мощность произойдет через 6 лет работы предприятия при следующем возрасте (количестве) нереста МС: партия МС № 1 – 6-годовики (четвертый нерест), партия МС № 2 – 5-годовики (третий нерест), партия МС № 3 – 4-годовики (второй нерест), партия МС № 4 – 3-годовики (первый нерест). В дальнейшем новые партии МС будут также последовательно формироваться ежегодно.

4. Каждая партия МС будет состоять из 4 генераций в равных долях по количеству и биомассе: 1-я генерация (получение диплоидной икры, нерест зимой, выращивается в уличных бетонных бассейнах УЗВ с естественными температурными и световыми режимами), 2-я генерация (получение диплоидной икры, нерест весной, выращивается в УЗВ с искусственными температурными и световыми режимами), 3-я генерация (получение однополой икры, нерест летом, выращивается в УЗВ с искусственными температурными и световыми режимами), 4-я генерация (получение триплоидной икры, нерест осенью, выращивается в УЗВ с искусственными температурными и световыми режимами). Все

генерации МС (за исключением 1-й генерации) содержатся в отдельных УЗВ, с отдельным температурным и световым режимами.

5. Для получения 1 партии МС необходимо иметь 1 партию РМС, которая также состоит из 4 генераций.

6. РМС выращивается с 50 г до 2-годовалого возраста в отдельных модулях для каждой генерации: 1-я генерация (получение диплоидной икры, нерест зимой, выращивается в уличной УЗВ с естественными температурными и световыми режимами), 2-я генерация (получение диплоидной икры, нерест весной, выращивается в УЗВ с искусственными температурными и световыми режимами), 3-я генерация (получение однополой икры, нерест летом, выращивается в УЗВ с искусственными температурными и световыми режимами), 4-я генерация (получение триплоидной икры, нерест летом, выращивается в УЗВ с искусственными температурными и световыми режимами).

После достижения 2-годовалого возраста РМС переводится в отдельные модули для выращивания МС.

7. Одна партия МС размещается в условном блоке МС, состоящем из 1 уличной УЗВ с естественными температурными и световыми режимами и 3 УЗВ, независимых по световому и температурному режимам.

8. Одна партия РМС размещается в условном блоке РМС, состоящем из 1 уличной УЗВ с естественными температурными и световыми режимами и 3 УЗВ, независимых по световому и температурному режимам.

9. С учетом того что рассчетный срок выращивания РМС составляет 2 года, для ежегодного формирования партий РМС необходимо иметь 2 блока РМС.

7.1.1. Нормативы и рыбоводно-технологические расчеты маточного, ремонтно-маточного стада и рыбопосадочного материала для формирования РМС

Расчеты, а также нормативы, принятые для расчетов, представлены в табл. 27–31.

Таблица 27. **Нормативы, принятые для рыбоводно-технологических расчетов маточного, ремонтно-маточного стада и рыбопосадочного материала для формирования РМС**

Показатель	Значение
Процент оплодотворения, %	80
Выживаемость от оплодотворения до глазка, %	90
Выживаемость от глазка до выклева, %	80
Выживаемость от выклева до массы 0,5 г, %	80
Выживаемость от 0,5 г до 5 г, %	70
Выживаемость от 5 до 50 г, %	70
Выживаемость от 0,5 г до 3 г, %	80
Выживаемость от 3 до 10 г, %	77
Выживаемость от 50 г до 1 года, %	60
Выживаемость от 1- до 2-годовиков, %	90
Выживаемость от 2- до 3-годовиков, %	90
Выживаемость от 3- до 4-годовиков, %	95
Выживаемость от 4- до 5-годовиков, %	95
Выживаемость от 5- до 6-годовиков, %	95
Общая выживаемость от 3- до 6-годовиков, %	85
Средняя масса, кг:	
годовик	1,0
2-годовик	1,5
3-годовик	1,8
4-годовик	2,2
5-годовик	2,7
6-годовик	3,2

Таблица 28. **Рыбоводно-технологические расчеты маточного, ремонтно-маточного стада и рыбопосадочного материала для формирования РМС**

Показатель	Значение	Ед. изм.
1	2	3
Всего икры на стадии глазка	37 000 000	шт.
В том числе:		
диплоидная	18 500 000,00	шт.
триплоидная	9 250 000,00	шт.
однополая (женская)	9 250 000,00	шт.
Расчет количества икры на закладку		
Выживаемость в период инкубации (от оплодотворения до стадии глазка)	90	%
Всего икры на начало инкубации	41 111 111,11	шт.
В том числе:		
диплоидная	20 555 555,56	шт.
триплоидная	10 277 777,78	шт.
однополая (женская)	10 277 777,78	шт.
Расчет необходимого количества икры (до оплодотворения)		
Оплодотворяемость икры	80	%

Продолжение табл. 28

1	2	3
Всего икры перед оплодотворением	51 388 888,89	шт.
В том числе:		
диплоидная	25 694 444,44	шт.
триплоидная	12 847 222,22	шт.
однополая (женская)	12 847 222,22	шт.
Расчет необходимого количества производителей		
Расчет количества производителей 3-годовиков		
Всего надо икры от 3-годовиков	12 847 222,22	шт.
В том числе:		
диплоидная	6 423 611,11	шт.
триплоидная	3 211 805,56	шт.
однополая (женская)	3 211 805,56	шт.
Биомасса самок 3-годовиков без резерва	6 423,61	кг
В том числе:		
диплоидные	3 211,81	кг
триплоидные	1 605,90	кг
однополые (женские)	1 605,90	кг
Количество самок 3-годовиков без резерва	3 568,67	шт.
В том числе:		
диплоидные	1 784,34	шт.
триплоидные	892,17	шт.
однополые (женские)	892,17	шт.
Биомасса резерва самок 3-годовиков	2 141,20	кг
В том числе:		
диплоидные	1 070,60	кг
триплоидные	535,30	кг
однополые (женские)	535,30	кг
Количество резерва самок 3-годовиков	1 189,56	шт.
В том числе:		
диплоидные	594,78	шт.
триплоидные	297,39	шт.
однополые (женские)	297,39	шт.
Биомасса самок 3-годовиков с учетом резерва и корректировки 15 %	10 076,25	кг
В том числе:		
диплоидные	5 038,13	кг
триплоидные	2 519,06	кг
однополые (женские)	2 519,06	кг
Количество самок 3-годовиков с учетом резерва и корректировки 15 %	6 797,47	шт.
В том числе:		
диплоидные	3 398,74	шт.
триплоидные	1 699,37	шт.
однополые (женские)	1 699,37	шт.
Биомасса самцов 3-годовиков с учетом резерва	15 114,38	кг

Продолжение табл. 28

1	2	3
В том числе: диплоидные	7 557,19	кг
триплоидные	3 778,59	кг
однополые (женские)	3 778,59	кг
Количество самцов 3-годовиков с учетом резерва	10 196,21	шт.
В том числе: диплоидные	5 098,10	шт.
триплоидные	2 549,05	шт.
однополые (женские)	2 549,05	шт.
Расчет количества производителей 4-годовиков		
Всего надо икры от 4-годовиков	12 847 222,22	шт.
В том числе: диплоидная	6 423 611,11	шт.
триплоидная	3 211 805,56	шт.
однополая (женская)	3 211 805,56	шт.
Биомасса самок 4-годовиков без резерва	6 423,61	кг
В том числе: диплоидные	3 211,81	кг
триплоидные	1 605,90	кг
однополые (женские)	1 605,90	кг
Количество самок 4-годовиков без резерва	2 919,82	шт.
В том числе: диплоидные	1 459,91	шт.
триплоидные	729,96	шт.
однополые (женские)	729,96	шт.
Биомасса резерва самок 4-годовиков	2 141,20	кг
В том числе: диплоидные	1 070,60	кг
триплоидные	535,30	кг
однополые (женские)	535,30	кг
Количество резерва самок 4-годовиков	973,27	шт.
В том числе: диплоидные	486,64	шт.
триплоидные	243,32	шт.
однополые (женские)	243,32	шт.
Биомасса самок 4-годовиков с учетом резерва и корректировки 10 %	9 516,46	кг
В том числе: диплоидные	4 758,23	кг
триплоидные	2 379,12	кг
однополые (женские)	2 379,12	кг
Количество самок 4-годовиков с учетом резерва и корректировки 10 %	4 325,66	шт.
В том числе: диплоидные	2 162,83	шт.

Продолжение табл. 28

1	2	3
триплоидные	1 081,42	шт.
однополые (женские)	1 081,42	шт.
Биомасса самцов 4-годовиков с учетом резерва	14 274,69	кг
В том числе:		
диплоидные	7 137,35	кг
триплоидные	3 568,67	кг
однополые (женские)	3 568,67	кг
Количество самцов 4-годовиков с учетом резерва	6 488,50	шт.
В том числе:		
диплоидные	3 244,25	шт.
триплоидные	1 622,12	шт.
однополые (женские)	1 622,12	шт.
Расчет количества производителей 5-годовиков		
Всего надо икры от 5-годовиков	12 847 222,22	шт.
В том числе:		
диплоидная	6 423 611,11	шт.
триплоидная	3 211 805,56	шт.
однополая (женская)	3 211 805,56	шт.
Биомасса самок 5-годовиков без резерва	6 423,61	кг
В том числе:		
диплоидные	3 211,81	кг
триплоидные	1 605,90	кг
однополые (женские)	1 605,90	кг
Количество самок 5-годовиков без резерва	2 379,12	шт.
В том числе:		
диплоидные	1 189,56	шт.
триплоидные	594,78	шт.
однополые (женские)	594,78	шт.
Биомасса резерва самок 5-годовиков	2 141,20	кг
В том числе:		
диплоидные	1 070,60	кг
триплоидные	535,30	кг
однополые (женские)	535,30	кг
Количество резерва самок 5-годовиков	793,04	шт.
В том числе:		
диплоидные	396,52	шт.
триплоидные	198,26	шт.
однополые (женские)	198,26	шт.
Биомасса самок 5-годовиков с учетом резерва и корректировки 5 %	9 015,59	кг
В том числе:		
диплоидные	4 507,80	кг
триплоидные	2 253,90	кг
однополые (женские)	2 253,90	кг

Продолжение табл. 28

1	2	3
Количество самок 5-годовиков с учетом резерва и корректировки 5 %	3 339,11	шт.
В том числе:		
диплоидные	1 669,55	шт.
триплоидные	834,78	шт.
однополые (женские)	834,78	шт.
Биомасса самцов 5-годовиков с учетом резерва	13 523,39	кг
В том числе:		
диплоидные	6 761,70	кг
триплоидные	3 380,85	кг
однополые (женские)	3 380,85	кг
Количество самцов 5-годовиков с учетом резерва	5 008,66	шт.
В том числе:		
диплоидные	2 504,33	шт.
триплоидные	1 252,17	шт.
однополые (женские)	1 252,17	шт.
Расчет количества производителей 6-годовиков		
Всего надо икры от 6-годовиков	12 847 222,22	шт.
В том числе:		
диплоидная	6 423 611,11	шт.
триплоидная	3 211 805,56	шт.
однополая (женская)	3 211 805,56	шт.
Биомасса самок 6-годовиков без резерва	6 423,61	кг
В том числе:		
диплоидные	3 211,81	кг
триплоидные	1 605,90	кг
однополые (женские)	1 605,90	кг
Количество самок 6-годовиков без резерва	2 007,38	шт.
В том числе:		
диплоидные	1 003,69	шт.
триплоидные	501,84	шт.
однополые (женские)	501,84	шт.
Биомасса резерва самок 6-годовиков	2 141,20	кг
В том числе:		
диплоидные	1 070,60	кг
триплоидные	535,30	кг
однополые (женские)	535,30	кг
Количество резерва самок 6-годовиков	669,13	шт.
В том числе:		
диплоидные	334,56	шт.
триплоидные	167,28	шт.
однополые (женские)	167,28	шт.

Продолжение табл. 28

1	2	3
Биомасса самок 6-годовиков с учетом резерва	8 564,81	кг
В том числе:		
диплоидные	4 282,41	кг
триплоидные	2 141,20	кг
однополые (женские)	2 141,20	кг
Количество самок 6-годовиков с учетом резерва	2 676,50	шт.
В том числе:		
диплоидные	1 338,25	шт.
триплоидные	669,13	шт.
однополые (женские)	669,13	шт.
Биомасса самцов 6-годовиков с учетом резерва	12 847,22	кг
В том числе:		
диплоидные	6 423,61	кг
триплоидные	3 211,81	кг
однополые (женские)	3 211,81	кг
Количество самцов 6-годовиков с учетом резерва	4 014,76	шт.
В том числе:		
диплоидные	2 007,38	шт.
триплоидные	1 003,69	шт.
однополые (женские)	1 003,69	шт.
Расчет РМС		
Выживаемость от 2 до 3 лет	90	%
Общее количество 3-годовиков	16 993,68	шт.
Количество РМС 2-годовиков	18 881,87	шт.
В том числе:		
диплоидные	9 440,93	шт.
триплоидные	4 720,47	шт.
однополые (женские)	4 720,47	шт.
Биомасса РМС 2-годовиков	28 322,80	кг
В том числе:		
диплоидные	14 161,40	кг
триплоидные	7 080,70	кг
однополые (женские)	7 080,70	кг
Выживаемость от 1 до 2 лет	90	%
Количество РМС 1-годовиков	20 979,85	шт.
В том числе:		
диплоидные	10 489,93	шт.
триплоидные	5 244,96	шт.
однополые (женские)	5 244,96	шт.
Биомасса РМС 1-годовиков	20 979,85	кг
В том числе:		
диплоидные	10 489,93	кг
триплоидные	5 244,96	кг
однополые (женские)	5 244,96	кг

Окончание табл. 28

1	2	3
Выживаемость от 50 г до 1 года	60	%
Количество РМС 50 г	34 966,42	шт.
В том числе:		
диплоидная	17 483,21	шт.
триплоидная	8 741,61	шт.
однополая (женская)	8 741,61	шт.
Количество молоди РМС 50 г	34 966,42	шт.
Биомасса молоди РМС 50 г	1 748,32	кг
В том числе:		
диплоидная	874,16	кг
триплоидная	437,08	кг
однополая (женская)	437,08	кг
Количество молоди РМС 5 г	49 952,03	шт.
Биомасса молоди РМС 5 г	249,76	кг
Количество мальков РМС 0,5 г	71 360,04	шт.
Биомасса мальков РМС 0,5 г	35,68	кг
Количество личинок РМС при выклеве	89 200,05	шт.
Количество икры на стадии глазка РМС	111 500,06	шт.
Количество оплодотворенной икры РМС	123 888,96	шт.
Количество икры до оплодотворения РМС	154 861,20	шт.

Таблица 29. **Расчетное количество (обобщенное) МС, РМС и молоди для формирования РМС для 1 партии**

Показатель	Значение
Количество 50-граммовой молоди, шт.	34 966,42
Количество 1-годовиков, шт. (РМС)	20 979,85
Количество 2-годовиков, шт. (РМС)	18 881,87
Количество 3-годовиков, шт. (МС):	
самки	6 797,47
самцы	10 196,21
Количество 4-годовиков, шт. (МС):	
самки	4 325,66
самцы	6 488,50
Количество 5-годовиков, шт. (МС):	
самки	3 339,11
самцы	5 008,66
Количество 6-годовиков, шт. (МС):	
самки	2 676,50
самцы	4 014,76

Примечание. Количество МС и РМС подсчитано с учетом резерва. Ежегодное пополнение 1-й партии МС и РМС не требуется.

Таблица 30. **Обобщенный расчет необходимой численности производителей и ремонтной группы в составе ремонтно-маточного стада, а также необходимого количества молоди для ежегодного пополнения ремонтно-маточного стада, обеспечивающих получение проектного количества икры**

Показатель	Значение
Количество 50-граммовой молоди, шт., для ежегодного формирования РМС	34 966*
Количество рыб РМС, шт:	
выращиваемых в искусственных УЗВ	
В т. ч.:	31 470**
РМС (однополая икра)	10 490
РМС (триплоидная икра)	10 490
РМС (диплоидная икра)	10 490
выращиваемых в естественной УЗВ (РМС (диплоидная икра))	10 490
Количество рыб МС:	
выращиваемых в искусственных УЗВ	
В т. ч.:	50 979***
МС (самки, однополая икра)	6 797
МС (самцы, однополая икра)	10 196
МС (самки, триплоидная икра)	6 797
МС (самцы, триплоидная икра)	10 196
МС (самки, диплоидная икра)	6 797
МС (самцы, диплоидная икра)	10 196
выращиваемых в естественной УЗВ	
В т. ч.:	16 993
МС (самки, диплоидная икра)	6 797
МС (самцы, диплоидная икра)	10 196

*РМС формируется ежегодно из 50-граммовой молоди.

**РМС формируется ежегодно. Срок формирования МС из РМС – 2 года. Подсчитано максимальное количество рыб РМС, которые будут находиться в хозяйстве (2 партии РМС).

***Подсчитано максимальное количество рыб МС, которые будут находиться в хозяйстве, сформированное в течение 6 лет (4 партии МС).

Таблица 31. **Расчетное количество рыбопосадочного материала, получаемое из проектного количества икры на стадии глазка**

Показатель	Значение	Ед. изм.
1	2	3
Всего икры на стадии глазка	37 000 000	шт.
В том числе:		
диплоидная	18 500 000	шт.
триплоидная	9 250 000	шт.
однополая (женская)	9 250 000	шт.

Окончание табл. 31

1	2	3
Всего выклюнувшихся личинок	29 600 000	шт.
В том числе:		
диплоидные	14 800 000	шт.
триплоидные	7 400 000	шт.
однополые (женские)	7 400 000	шт.
Всего личинок 0,5 г	23 680 000	шт.
В том числе:		
диплоидные	11 840 000	шт.
триплоидные	5 920 000	шт.
однополые (женские)	5 920 000	шт.
Всего личинок 3 г	18 944 000	шт.
В том числе:		
диплоидные	9 472 000	шт.
триплоидные	4 736 000	шт.
однополые (женские)	4 736 000	шт.
Всего личинок 10 г	14 586 880	
В том числе:		
диплоидные	7 293 440	шт.
триплоидные	3 646 720	шт.
однополые (женские)	3 646 720	шт.

7.2. Рыбоводно-технологические расчеты рыбоводных емкостей, площадей и объемов для содержания маточного, ремонтно-маточного стада и рыбопосадочного материала для формирования РМС

Расчеты, а также нормативы, принятые для расчетов, представлены в табл. 32–36.

Таблица 32. **Нормативы, принятые для рыбоводно-технологических расчетов рыбоводных емкостей для содержания маточного, ремонтно-маточного стада и рыбопосадочного материала для формирования РМС**

Показатель	Значение	Ед. изм.
Плотность посадки от выклева до массы 0,5 г	12 000,0	экз/м^2
Плотность посадки от 0,5 до 5 г	20,0	кг/м^3
Плотность посадки от 5 до 50 г	50,0	кг/м^3
Плотность посадки от 0,5 до 3 г	18,0	кг/м^3
Плотность посадки от 3 до 10 г	28,5	кг/м^3
Плотность посадки РМС	45,0	кг/м^3
Плотность посадки МС (самки)	64,0	кг/м^3
Плотность посадки МС (самцы)	95,0	кг/м^3
Площадь одного лотка в выростном цехе	322	м^2
Объем одного лотка в выростном цехе	20,0	м^3
Объем одного лотка в цехе РМС и МС	80,0	м^3

Таблица 33. **Рыбоводно-технологические расчеты рыбоводных емкостей для содержания рыбопосадочного материала для формирования РМС**

Показатель	Значение	Ед. изм.
Необходимый объем для мальков от выклева до 0,5 г, всего	1 973,33	$м^2$
В том числе: диплоидные	986,67	$м^2$
триплоидные	493,33	$м^2$
однополые (женские)	493,33	$м^2$
Необходимый объем для мальков от 0,5 до 3 г, всего	3 157,33	$м^3$
В том числе: диплоидных	1 578,67	$м^3$
триплоидных	789,33	$м^3$
однополых (женских)	789,33	$м^3$
Необходимый объем для мальков от 3 до 10 г, всего	5 118,20	$м^3$
В том числе: диплоидных	2 559,10	$м^3$
триплоидных	1 279,55	$м^3$
однополых (женских)	1 279,55	$м^3$
На 1 закладку: лотков (от глазка до 0,5 г)	493,33	$м^2$
бассейнов (от 0,5 до 3 г)	789,33	$м^3$
бассейнов (от 3 до 10 г)	1 279,55	$м^3$
Площадь одного лотка	3,20	$м^2$
Площадь тройки лотков	9,60	$м^2$
Рекомендуемое количество лотков	154,17	шт.
Рекомендуемое количество лотков-троек	50,00	шт.
Объем одного бассейна в выростном цехе № 1	20,00	$м^3$
Рекомендуемое количество бассейнов в выростном цехе № 1	40,00	шт.
Объем всех бассейнов в выростном цехе № 1	800,00	$м^3$

Таблица 34. **Расчет рыбоводных объемов для содержания РМС в условиях естественной и искусственных УЗВ, обеспечивающий в течение календарного года 4 генерации молоди средней массой 10 г**

Показатель	Значение
1	2
Необходимый объем рыбоводных емкостей для 1 партии МС, $м^3$	
Искусственные УЗВ:	
самки	120
самцы	120
Естественная УЗВ:	
самки	40
самцы	40
Необходимый объем рыбоводных емкостей для 4 партий МС, $м^3$	
Искусственные УЗВ:	
самки	480
самцы	480

Окончание табл. 34

1	2
Естественная УЗВ: самки самцы	 160 160
Необходимый объем рыбоводных емкостей для 1 блока РМС, м^3	
Искусственные УЗВ	480
Естественная УЗВ	160
Необходимый объем рыбоводных емкостей для 2 блоков РМС, м^3	
Искусственные УЗВ	960
Естественная УЗВ	320

Таблица 35. **Расчет рыбоводных объемов и площади для модуля РМС, обеспечивающего формирование МС**

Показатель	Значение
Необходимый объем (площадь) рыбоводных емкостей для содержания РМС	
Искусственная УЗВ	960 м^3 (672 м^2)
В т. ч.: РМС (однополая икра)	 320 м^3 (224 м^2)
РМС (триплоидная икра)	320 м^3 (224 м^2)
РМС (диплоидная икра)	320 м^3 (224 м^2)
Естественная УЗВ (РМС (диплоидная икра))	320 м^3 (224 м^2)

Таблица 36. **Расчет рыбоводных объемов и площади для МС, обеспечивающего формирование проектного количества молоди**

Показатель	Значение
Необходимый объем (площадь) рыбоводных емкостей для содержания МС	
Искусственная УЗВ	960 м^3 (660 м^2)
В т. ч.: МС (самки, однополая икра)	 160 м^3 (110 м^2)
МС (самцы, однополая икра)	160 м^3 (110 м^2)
МС (самки, триплоидная икра)	160 м^3 (110 м^2)
МС (самцы, триплоидная икра)	160 м^3 (110 м^2)
МС (самки, диплоидная икра)	160 м^3 (110 м^2)
МС (самцы, диплоидная икра)	160 м^3 (110 м^2)
Естественная УЗВ	320 м^3 (220 м^2)
В т. ч.: МС (самки, диплоидная икра)	 160 м^3 (110 м^2)
МС (самцы, диплоидная икра)	160 м^3 (110 м^2)

7.3. Пример рыбоводного маточного индустриального хозяйства для круглогодичного производства оплодотворенной икры (эмбрионов) радужной форели на стадии глазка

Для круглогодичного производства оплодотворенной икры (эмбрионов) радужной форели на стадии глазка нами предлагается пример рыбоводного маточного индустриального хозяйства (рис. 14), в состав которого будут входить следующие модули и цехи:

1. Выростной цех № 1 (рис. 15) – УЗВ, работающая на искусственных температурных и световых режимах. Цех предназначен для инкубации икры и выращивания рыбопосадочного материала.

2. Цех МС № 2 (рис. 16, 17) – УЗВ, работающая на искусственных температурных и световых режимах. Цех предназначен для содержания маточного стада, от которого планируется получение икры в нетрадиционные сроки (весна, лето, осень).

3. Селекционно-племенной цех (РМС) № 3 (рис. 18, 19) – УЗВ, работающая на искусственных температурных и световых режимах. Цех предназначен для содержания РМС, от которого планируется формирование МС для получения икры в нетрадиционные строки (весна, лето, осень).

4. Цех МС № 4 – уличная УЗВ, работающая на естественных температурных и световых режимах. Цех предназначен для содержания РМС и МС стада, от которого планируется получение икры в традиционные сроки (зима).

5. Выростной цех № 5 – уличная УЗВ, работающая на естественных температурных и световых режимах. Цех предназначен для выращивания рыбопосадочного материала и товарной рыбы, не предусмотренных для формирования МС и РМС.

На рис. 20–47 приведены принципиальная технологическая схема, общий календарный план выхода на проектную мощность, годовые планы движения рыбы по цехам, детальный календарный план работы рыбоводного индустриального маточного комплекса.

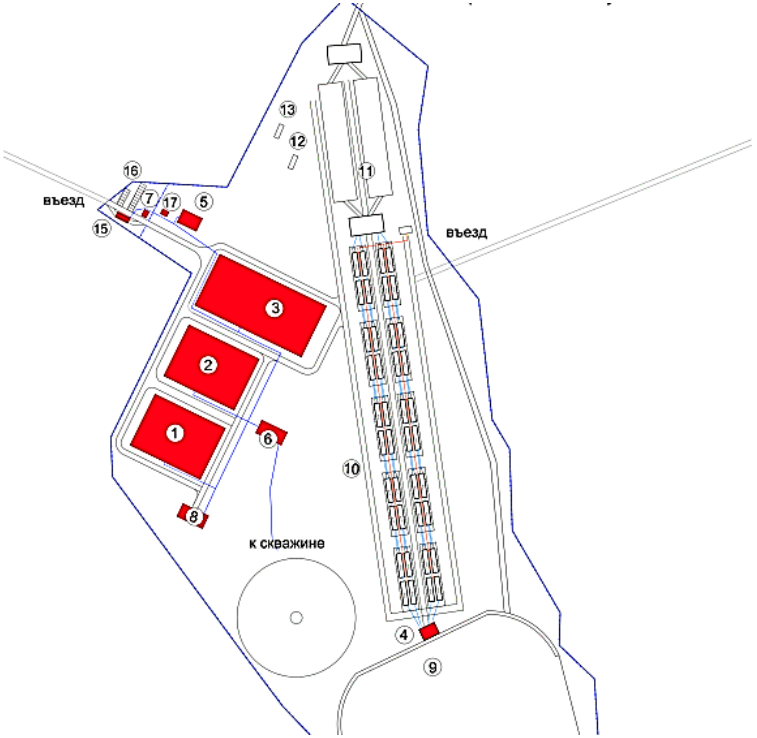


Рис. 14. Схема генерального плана участка

Дополнение к рис. 14.

Экспликация зданий и сооружений	
Номер здания	Наименование
Здания	
1	Выростной цех № 1
2	Цех МС № 2
3	Цех № 3 Селекционно-племенной работы
4	Здание водоподготовки для бассейнов
5	Здание вспомогательных служб
6	Здание водоподготовки для УЗВ
7	Здание КПП
8	Здание модульной газовой котельной
Сооружения	
9	Пруд накопитель
10	Открытые бассейны 10 шт
11	Пруды отстойники
12	Септик для очистки бытовых стоков
13	ЛОС для сточных вод
14	Скважины для воды
15	Пункт дезинфекции автомобилей
16	Гостевая парковка для автомобилей
17	Здание БКТП

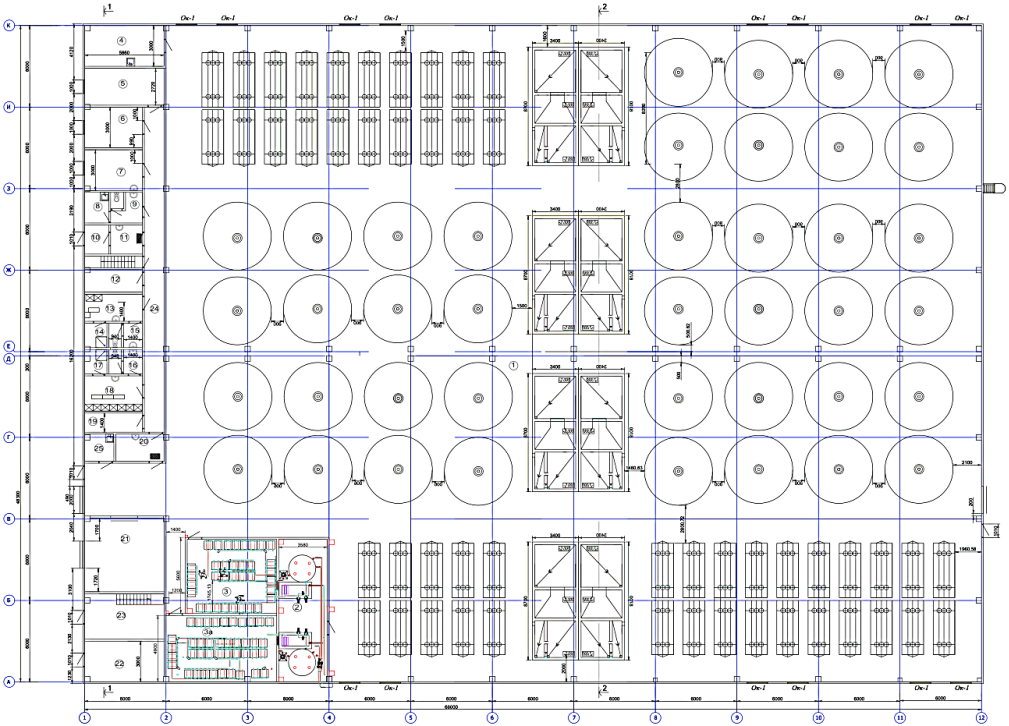


Рис. 15. Выростной цех № 1

Дополнение к рис. 15

Экспликация помещений	
№ п/п	Наименование
1	Выростной цех № 1
2	Техническое помещение
3	Участок инкубации икры № 1
3а	Участок инкубации икры № 2
4	Кладовая и моечная инвентаря цеха
5	Кабинет начальника выростного цеха № 1
6	Комната техника-рыбовода
7	Комната отдыха и приема пищи
8	Комната уборочного инвентаря
9	Санузел
10	Тамбур
11	Санпропускник
12	Кладовая для хранения одежды
13	Гардеробная женская
14	Душевая
15	Санузел
16	Санузел
17	Душевая
18	Гардеробная мужская
19	Помещение для сушки одежды
20	Санпропускник
21	Склад сухих кормов
22	Электрощитовая
23	Венткамера
24	Коридор
25	Комната для уборочного инвентаря цеха

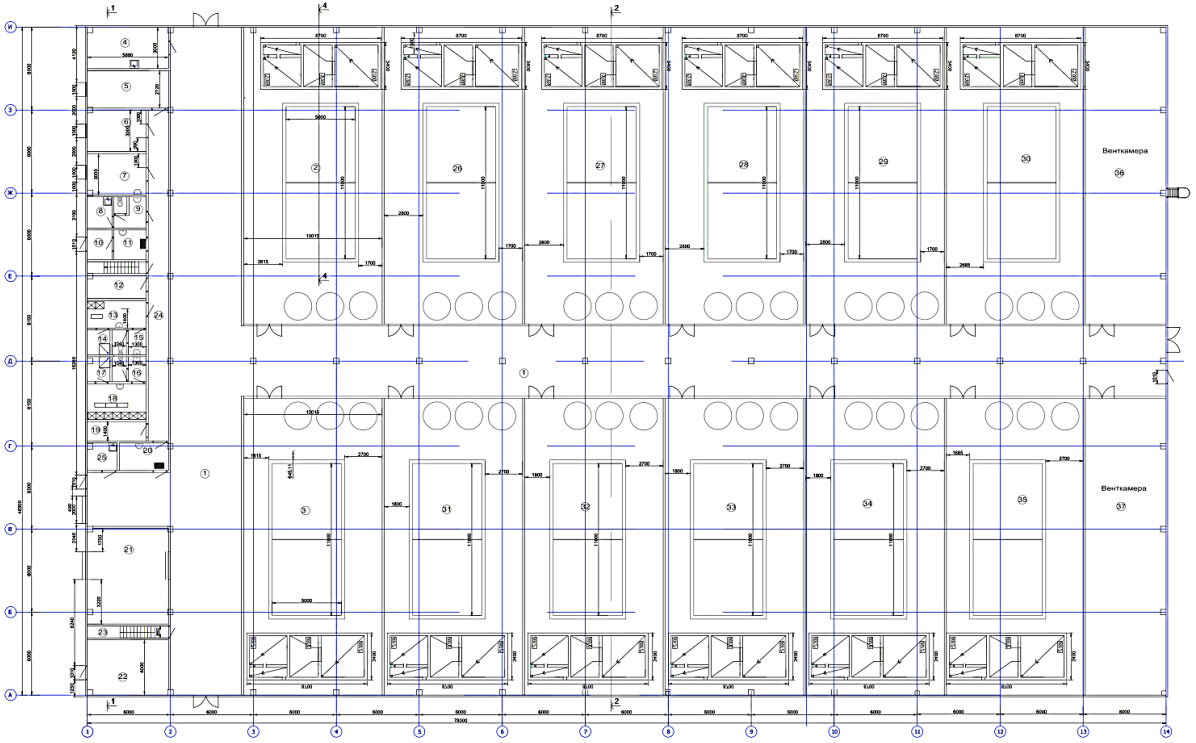


Рис. 16. Цех МС № 2

Дополнение к рис. 16

Экспликация помещений	
№ п/п	Наименование
1	Коридор
2	Маточное стадо 1
3	Маточное стадо 2
4	Кладовая и моечная инвентаря
5	Кабинет зам. главного рыбовода
6	Кабинет дежурного рыбовода
7	Комната отдыха и приема пищи
8	Комната уборочного инвентаря
9	Санузел
10	Тамбур
11	Санпропускник
12	Кладовая для хранения спецодежды
13	Гардеробная женская
14	Душевая
15	Санузел
16	Санузел
17	Душевая
18	Гардеробная мужская
19	Помещение для сушки одежды
20	Санпропускник
21	Склад сухих кормов
22	Электрощитовая
23	Лестница
24	Коридор
25	Комната уборочного инвентаря
26	Маточное стадо 3

27	Маточное стадо 4
28	Маточное стадо 5
29	Маточное стадо 6
30	Маточное стадо 7
31	Маточное стадо 8
32	Маточное стадо 9
33	Маточное стадо 10
34	Маточное стадо 11
35	Маточное стадо 12
36	Венткамера
37	Венткамера

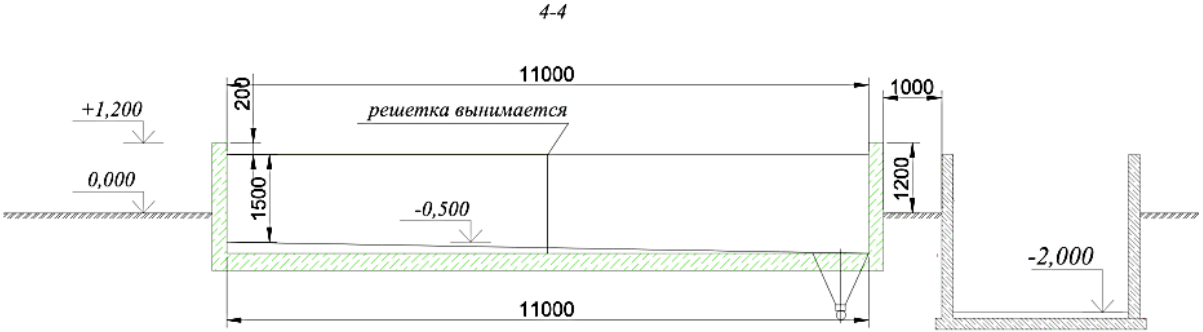


Рис. 17. Принципиальная схема бассейна цеха МС № 2

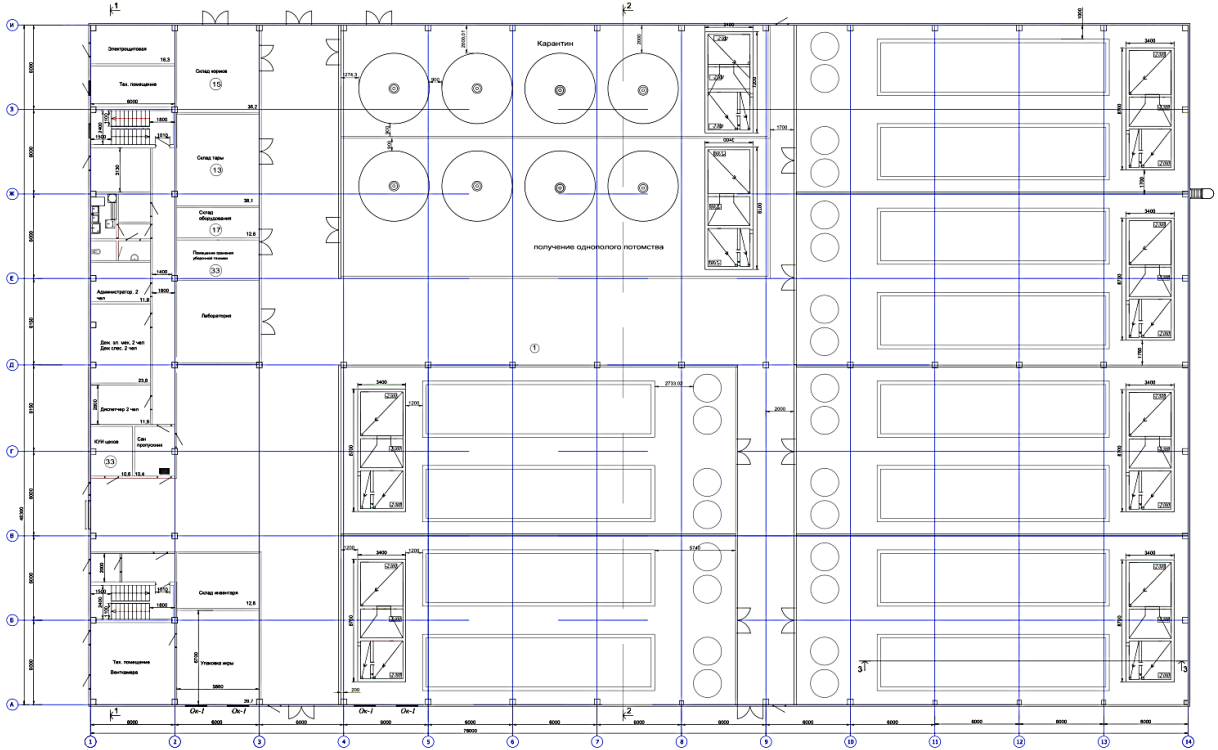


Рис. 18. Селекционно-племенной цех РМС № 3

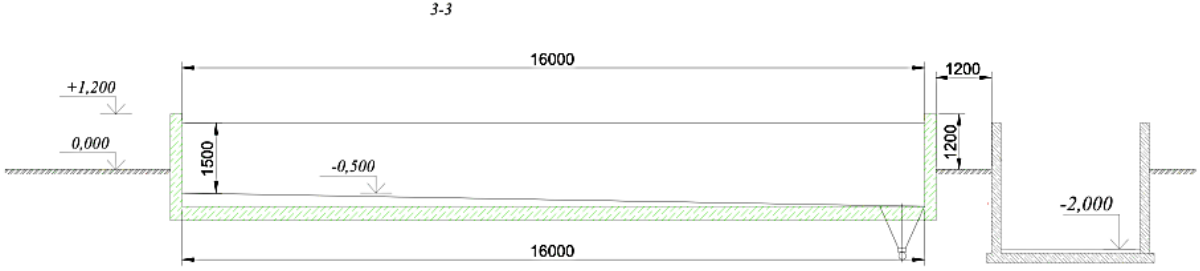


Рис. 19. Принципиальная схема бассейна селекционно-племенного цеха РМС № 3

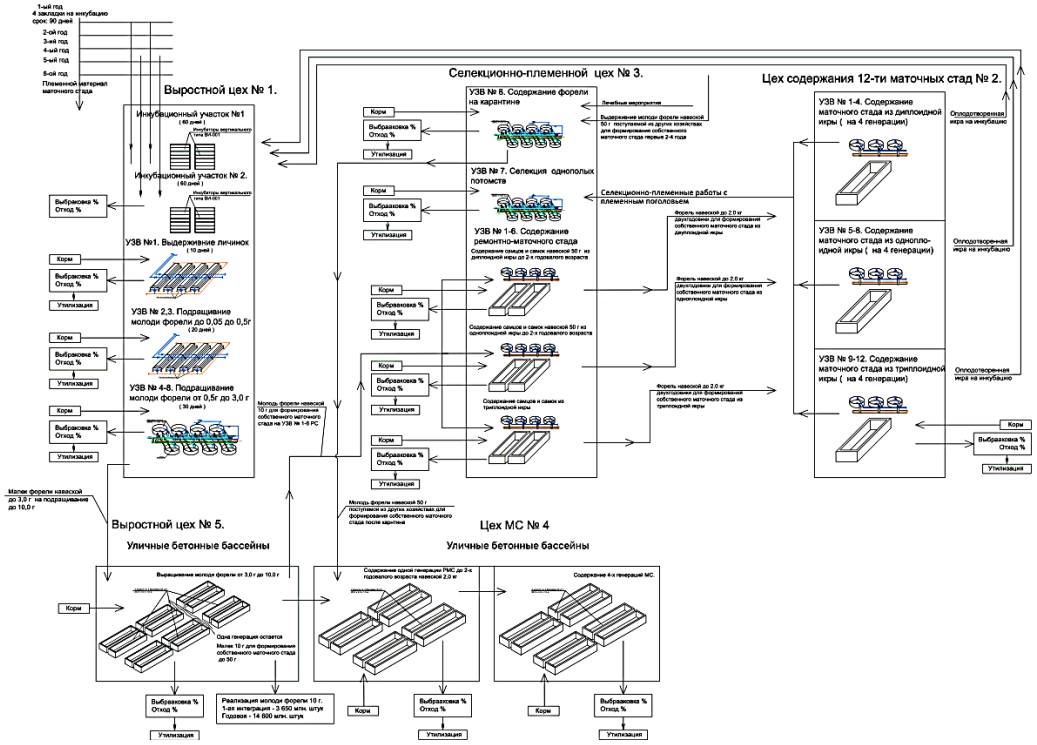


Рис. 20. Принципиальная технологическая схема работы рыбоводного индустриального маточного хозяйства

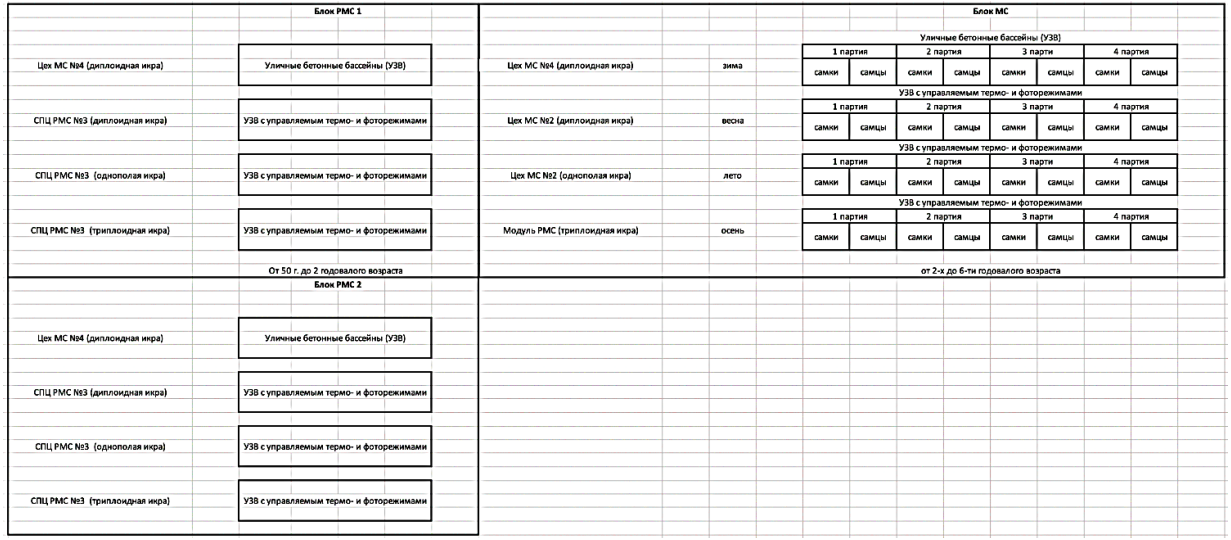


Рис. 21. Принципиальная схема распределения ремонтно-маточных и маточных стад по цехам

	1-1 партия		2-1 партия		3-1 партия		4-1 партия		1-2 партия		2-2 партия		3-2 партия		4-2 партия		
Годы работы предприятия	Возраст рыбы	Количество икры, шт	Возраст рыбы	Количество икры, шт	Возраст рыбы	Количество икры, шт	Возраст рыбы	Количество икры, шт	Возраст рыбы	Количество икры, шт	Возраст рыбы	Количество икры, шт	Возраст рыбы	Количество икры, шт	Возраст рыбы	Количество икры, шт	Количество производимой икры
1	0 (50 г.)																0
2	1		0 (50 г.)														0
3	2		1		0 (50 г.)												0
4	3	12,847,222.22	2		1		0 (50 г.)										12,847,222.22
5	4	12,847,222.22	3	12,847,222.22	2		1		0 (50 г.)								25,694,444.44
6	5	12,847,222.22	4	12,847,222.22	3	12,847,222.22	2		1		0 (50 г.)						38,541,666.67
7	6	12,847,222.22	5	12,847,222.22	4	12,847,222.22	3	12,847,222.22	2		1		0 (50 г.)				**51,388,888.89**
			6	12,847,222.22	5	12,847,222.22	4	12,847,222.22	3	12,847,222.22	2		1		0 (50 г.)		**51,388,888.89**
					6	12,847,222.22	5	12,847,222.22	4	12,847,222.22	3	12,847,222.22	2		1		**51,388,888.89**
							6	12,847,222.22	5	12,847,222.22	4	12,847,222.22	3	12,847,222.22	2		**51,388,888.89**
									6	12,847,222.22	5	12,847,222.22	4	12,847,222.22	3	12,847,222.22	**51,388,888.89**
											6	12,847,222.22	5	12,847,222.22	4	12,847,222.22	
													6	12,847,222.22	5	12,847,222.22	
															6	12,847,222.22	

Рис. 22. Общий календарный план выхода рыбоводного индустриального маточного комплекса на проектную мощность

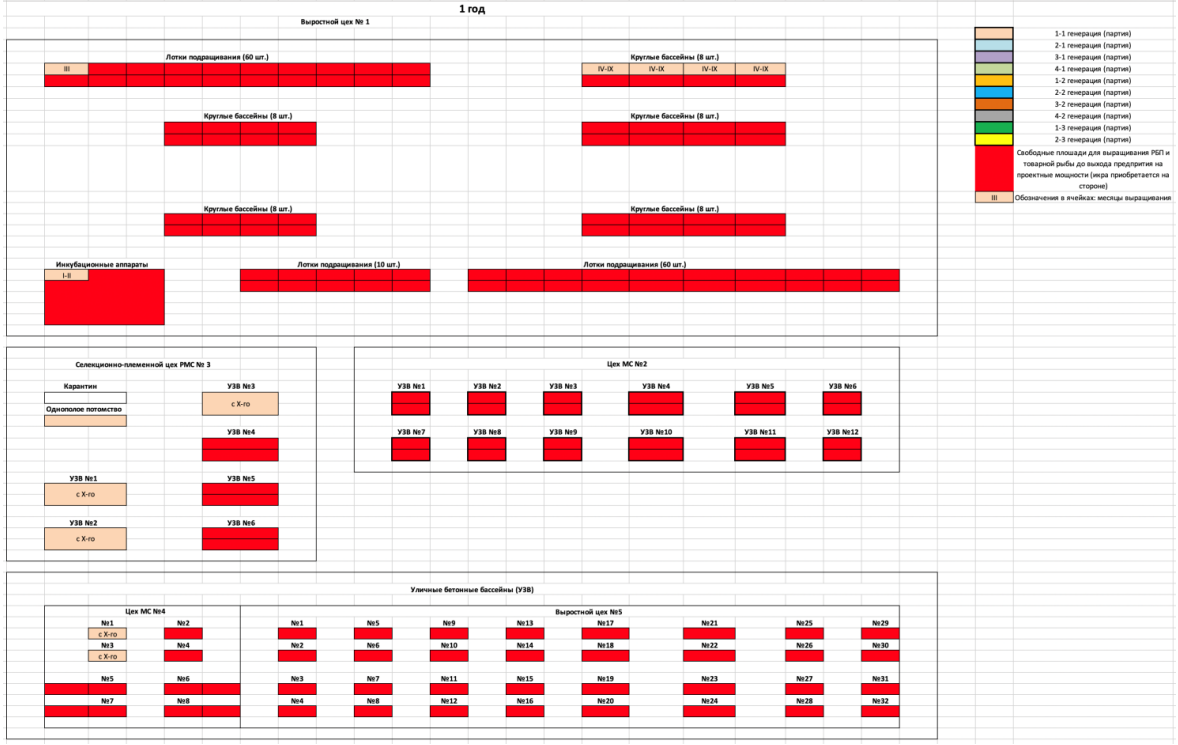


Рис. 23. План движения рыбы по цехам в 1-й год работы рыбоводного индустриального маточного комплекса

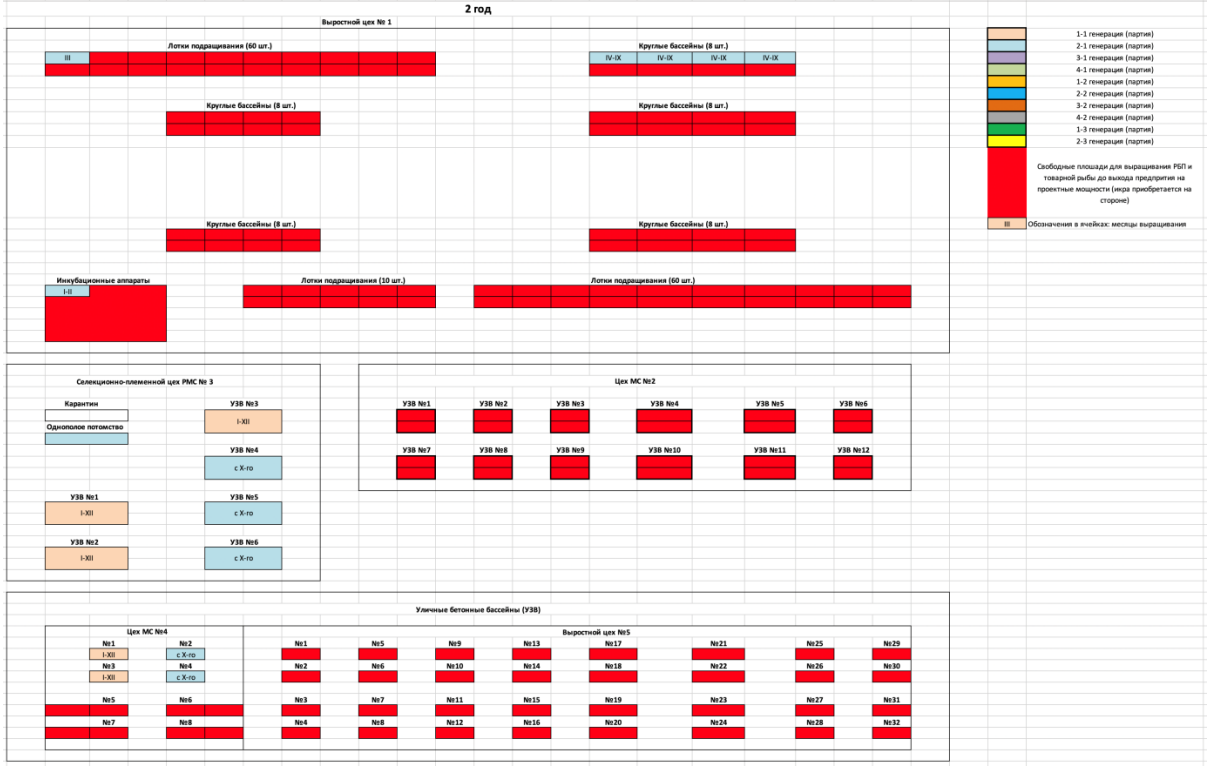


Рис. 24. План движения рыбы по цехам в 2-й год работы рыбоводного индустриального маточного комплекса

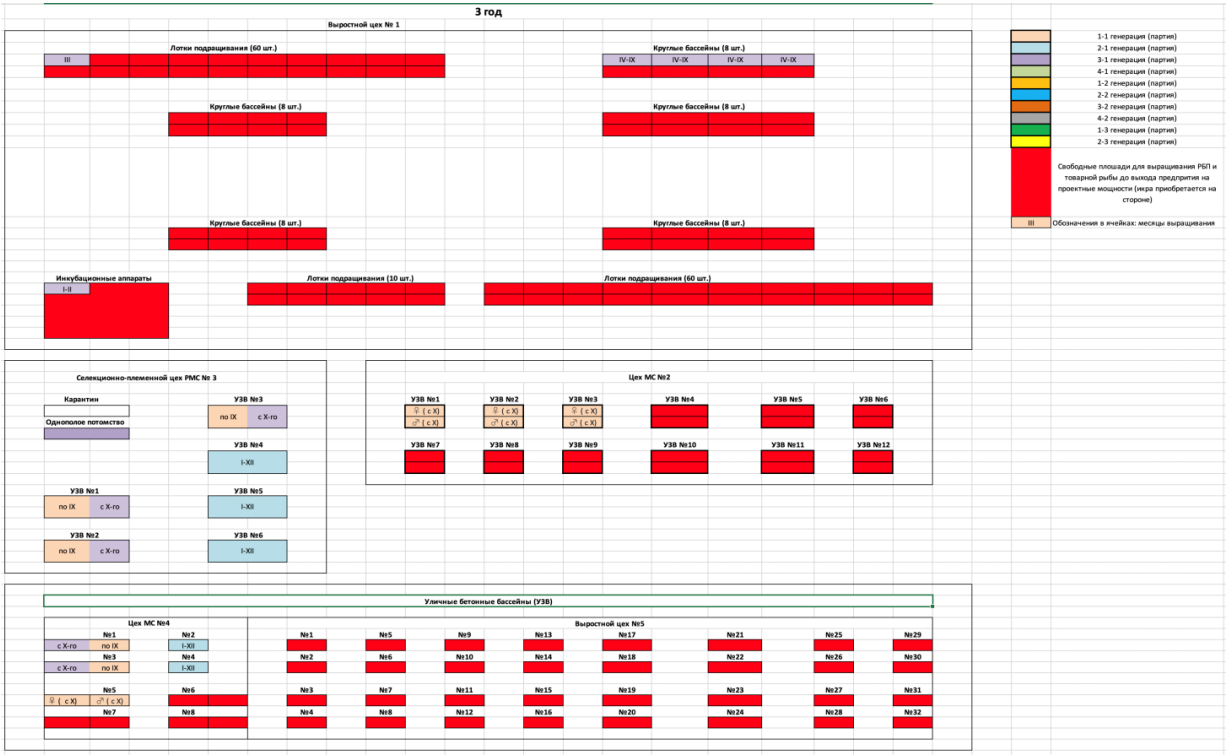


Рис. 25. План движения рыбы по цехам в 3-й год работы рыбоводного индустриального маточного комплекса

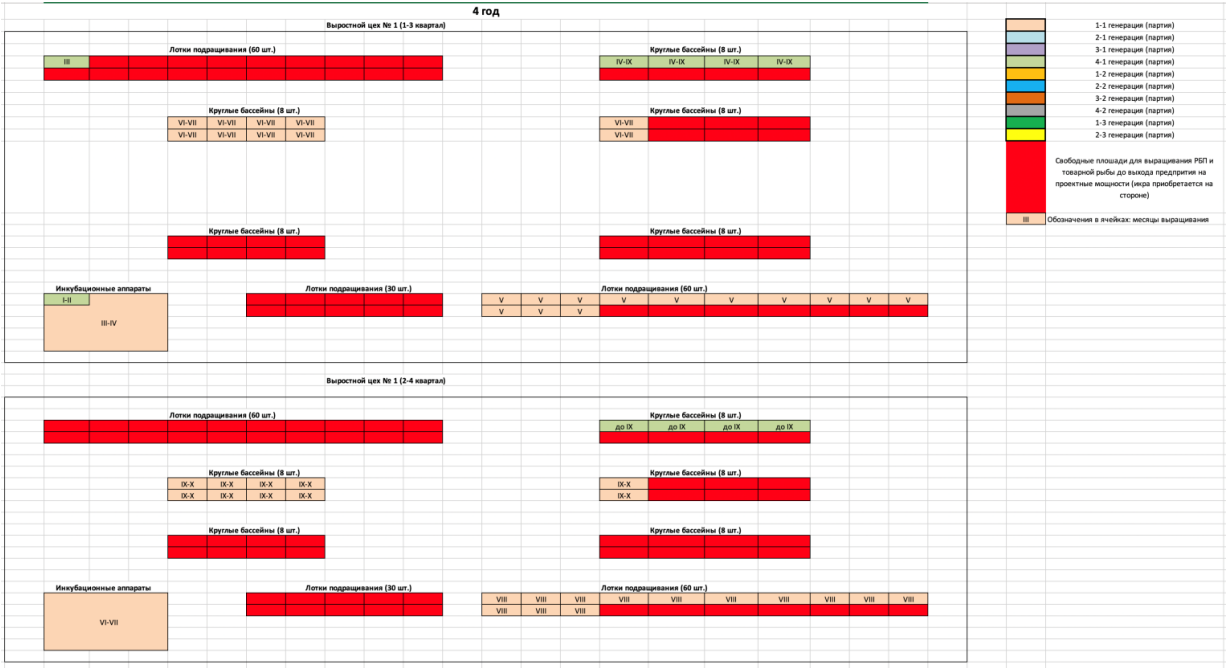


Рис. 26. План движения рыбы по цехам в 4-й год работы рыбоводного индустриального маточного комплекса

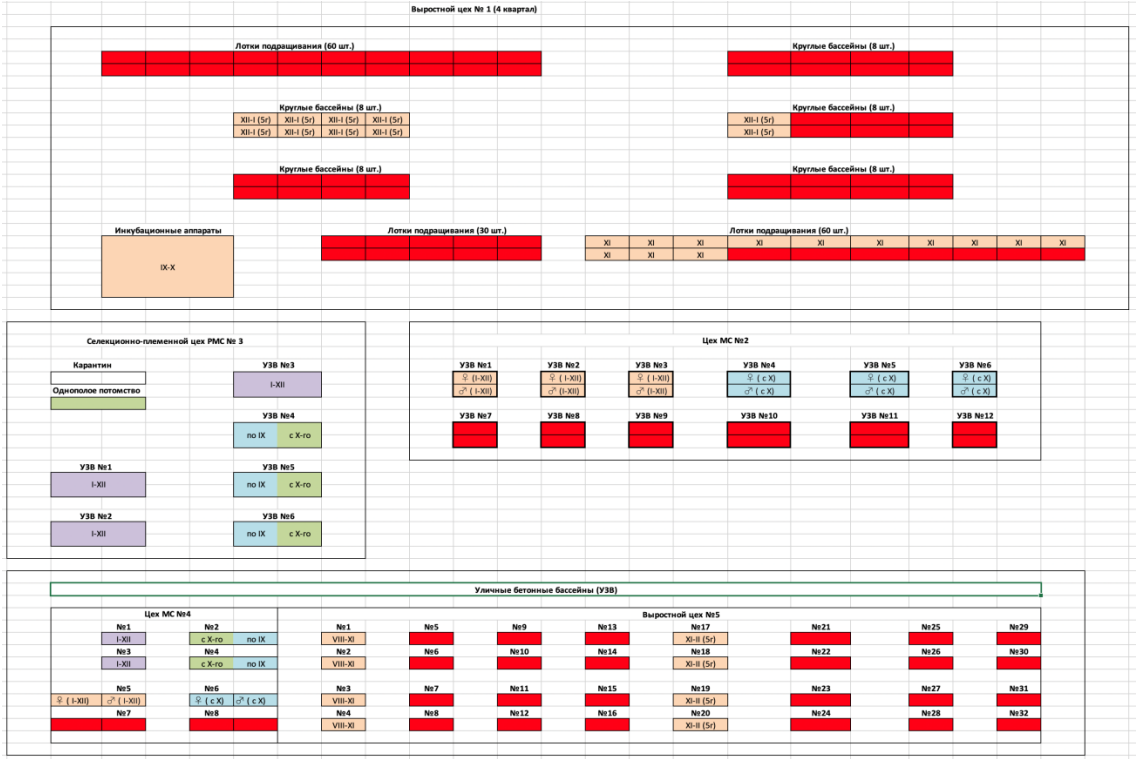


Рис. 27. План движения рыбы по цехам в 4-й год работы рыбоводного индустриального маточного комплекса (продолжение)

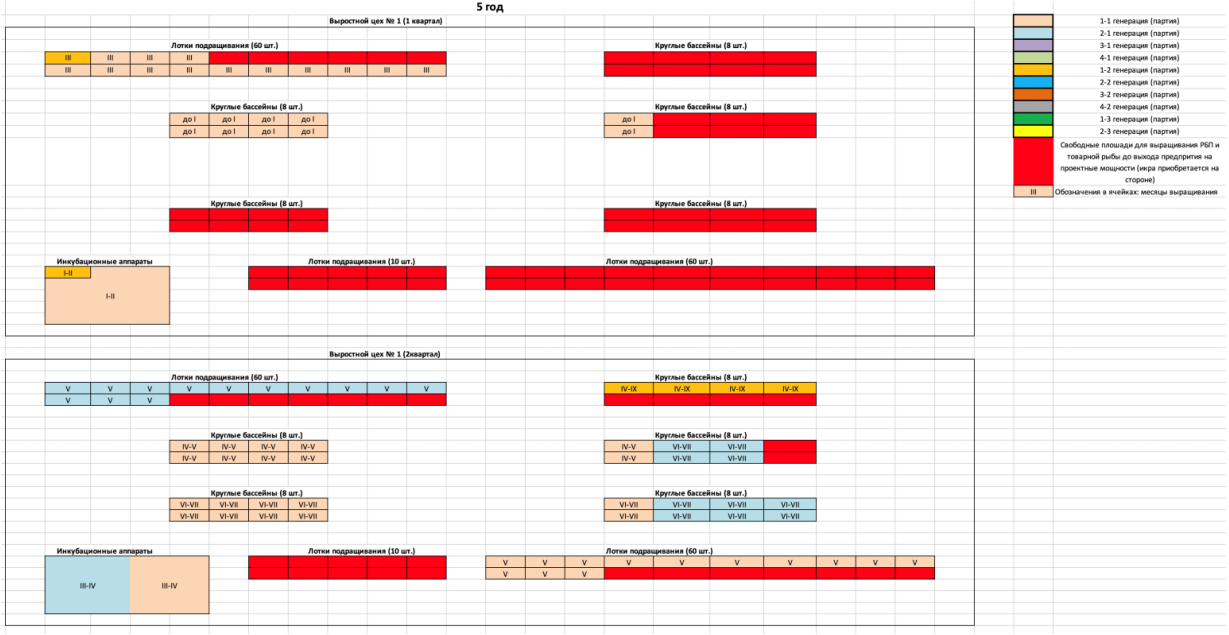


Рис. 28. План движения рыбы по цехам в 5-й год работы рыбоводного индустриального маточного комплекса

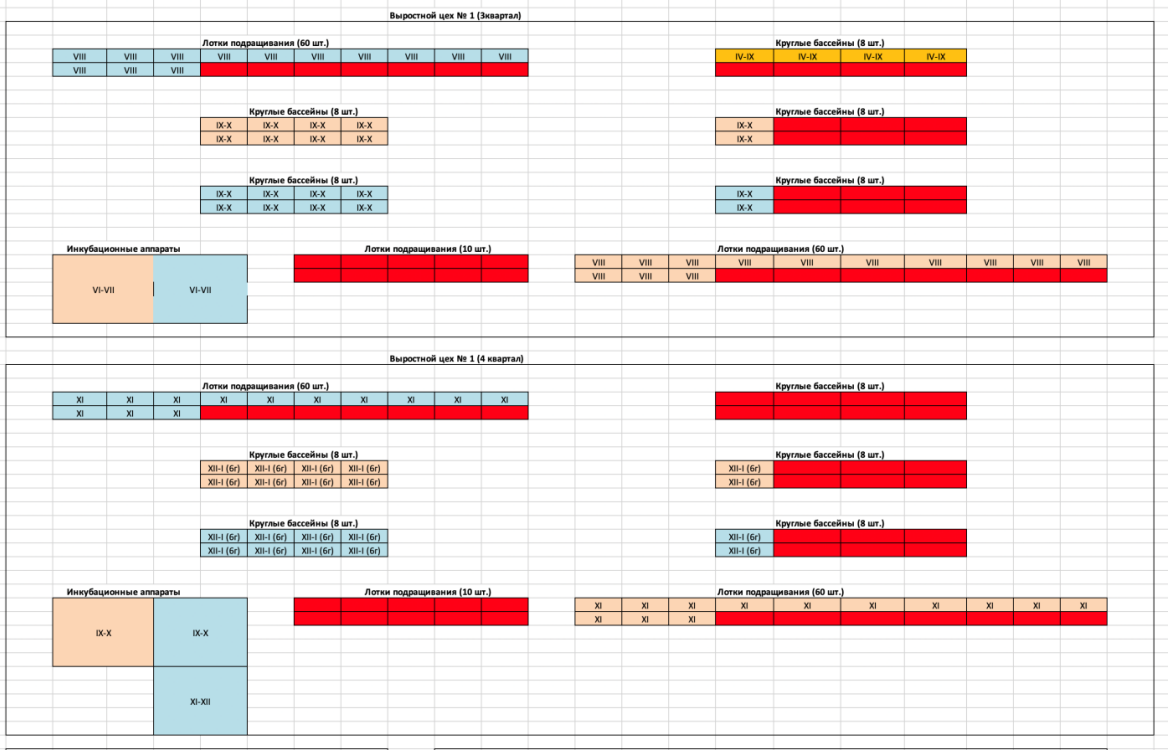


Рис. 29. План движения рыбы по цехам в 5-й год работы рыбоводного индустриального маточного комплекса (продолжение)

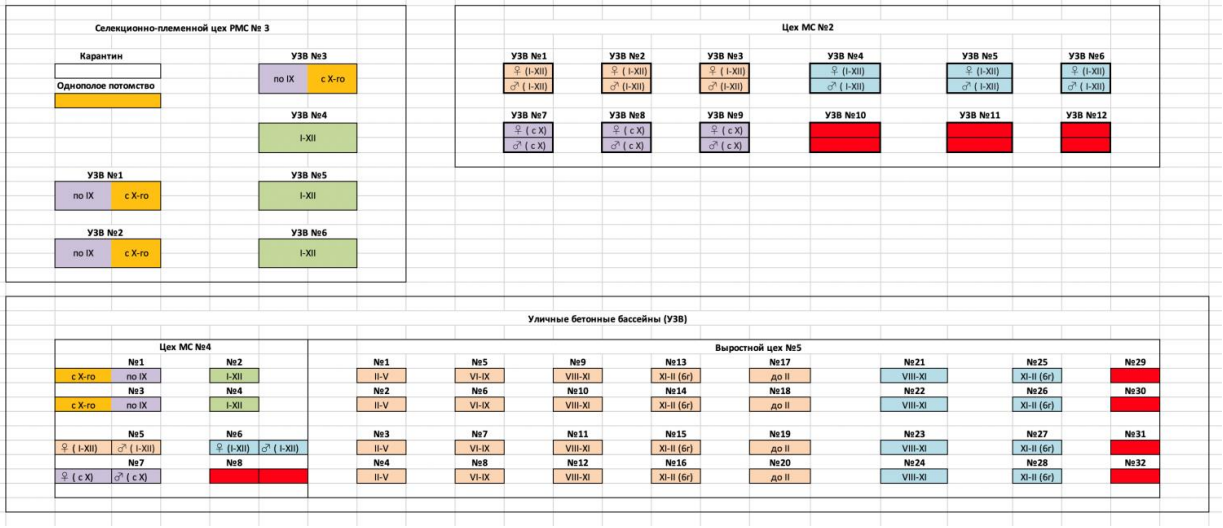


Рис. 30. План движения рыбы по цехам в 5-й год работы рыбоводного индустриального маточного комплекса (продолжение)

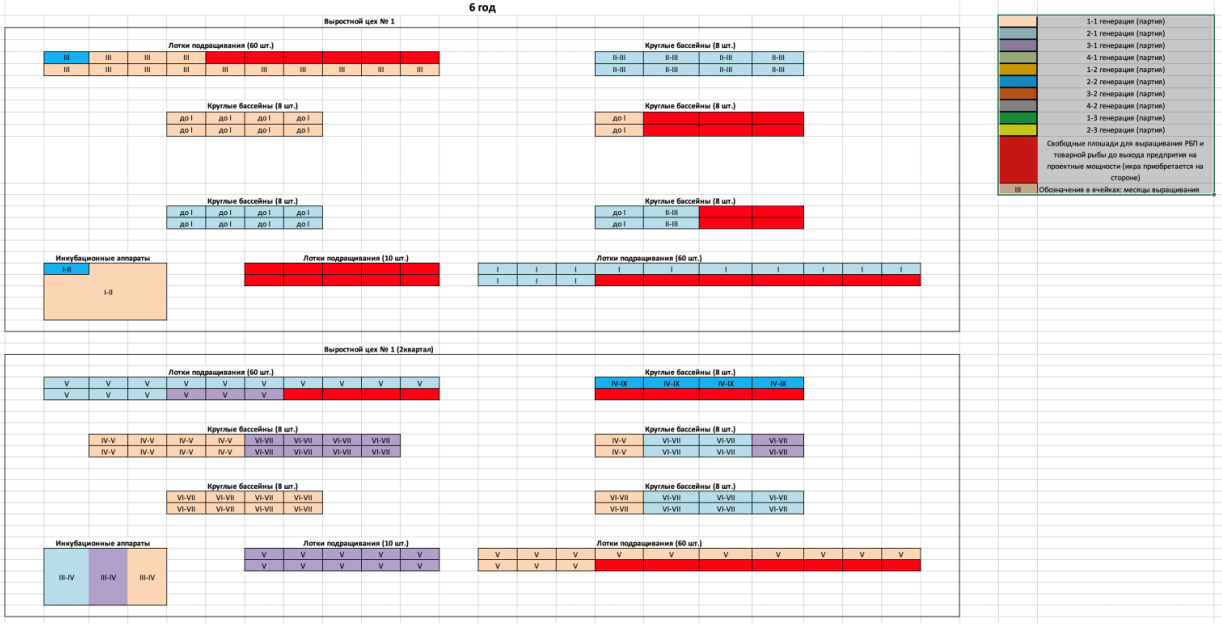


Рис. 31. План движения рыбы по цехам в 6-й год работы рыбоводного индустриального маточного комплекса

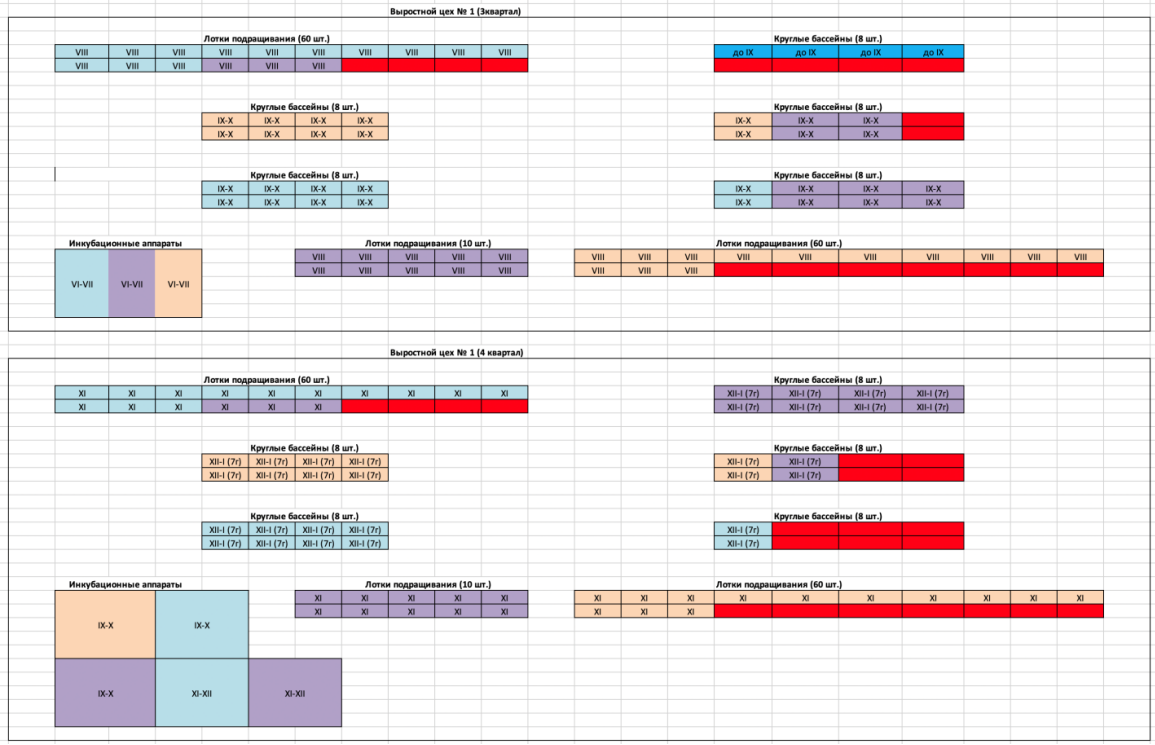


Рис. 32. План движения рыбы по цехам в 6-й год работы рыбоводного индустриального маточного комплекса (продолжение)

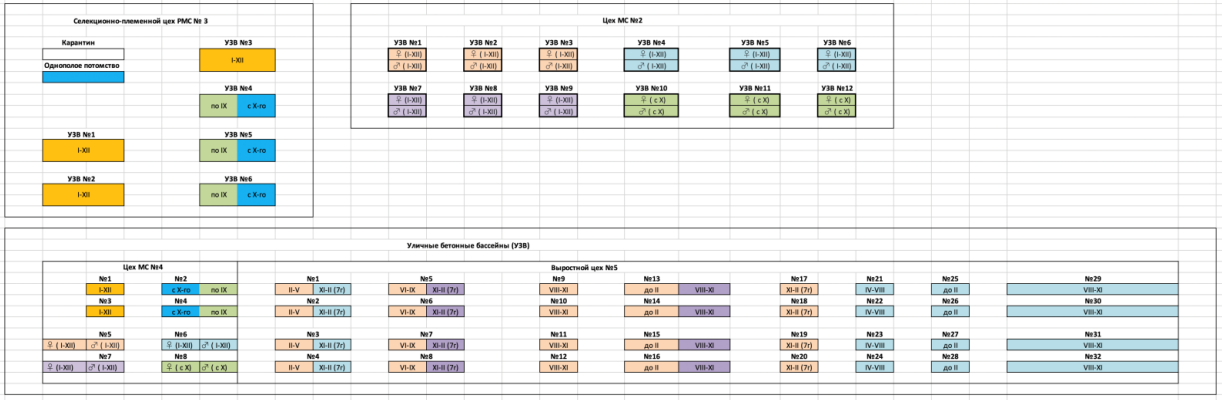


Рис. 33. План движения рыбы по цехам в 6-й год работы рыбоводного индустриального маточного комплекса (продолжение)

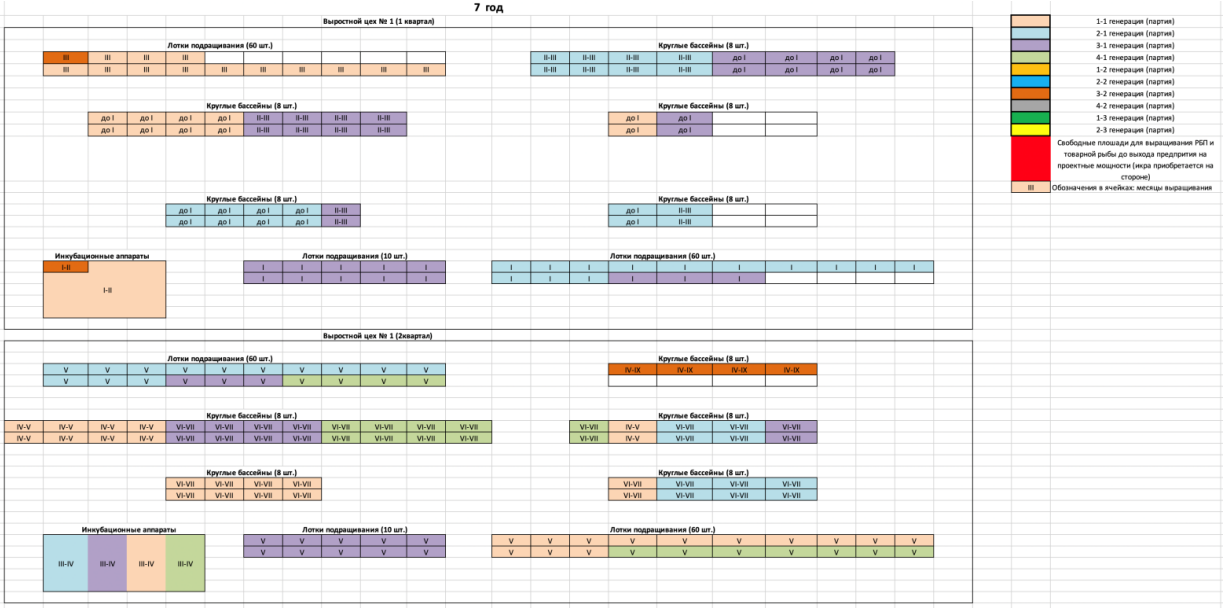


Рис. 34. План движения рыбы по цехам в 7-й год работы рыбоводного индустриального маточного комплекса

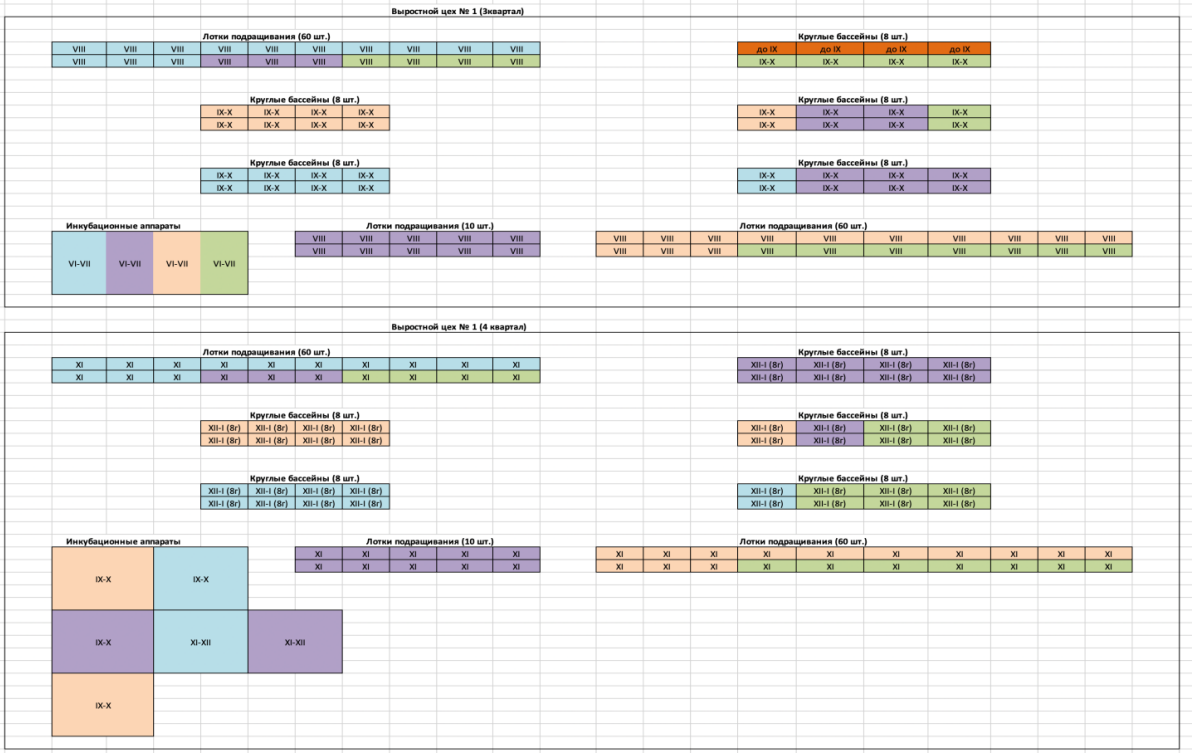


Рис. 35. План движения рыбы по цехам в 7-й год работы рыбоводного индустриального маточного комплекса (продолжение)

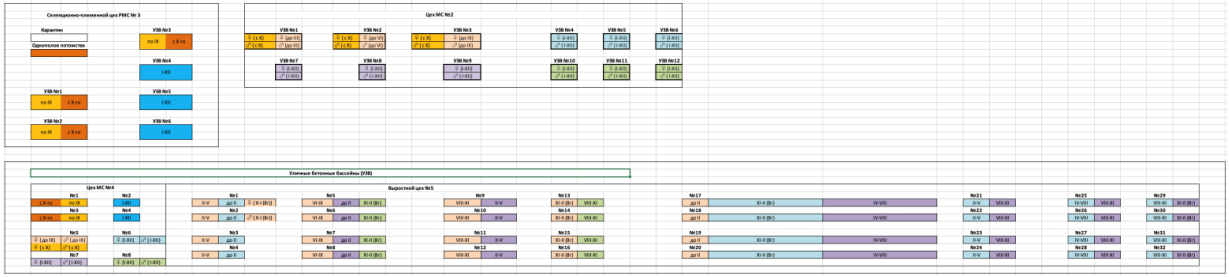


Рис. 36. План движения рыбы по цехам в 7-й год работы рыбоводного индустриального маточного комплекса (продолжение)

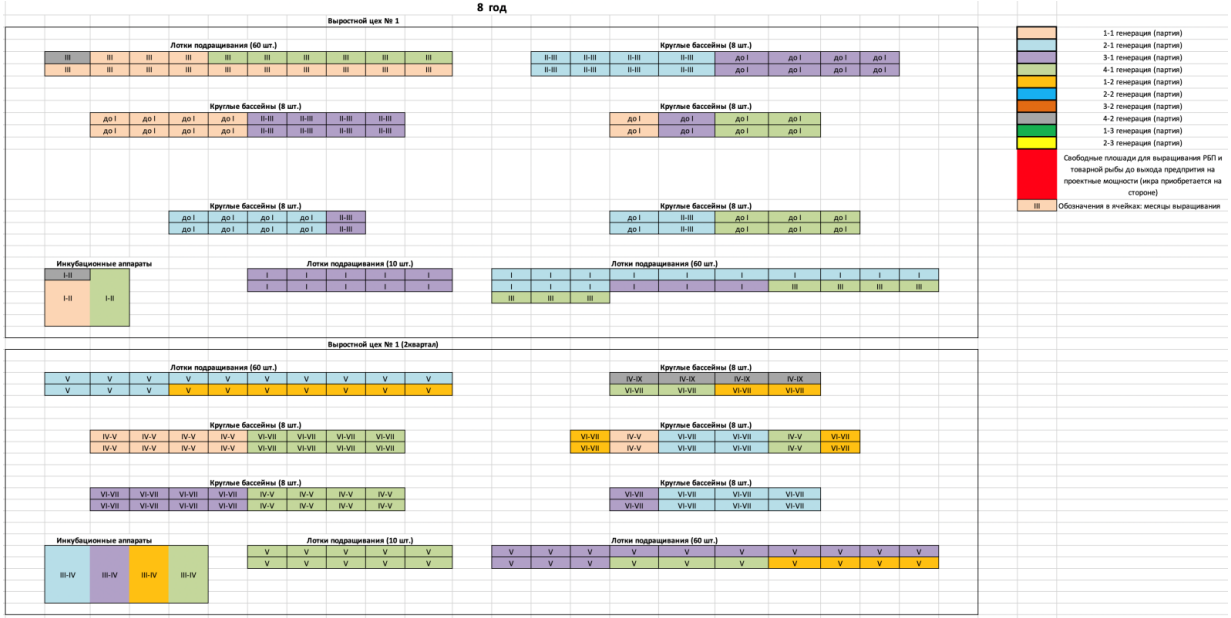


Рис. 37. План движения рыбы по цехам в 8-й год работы рыбоводного индустриального маточного комплекса

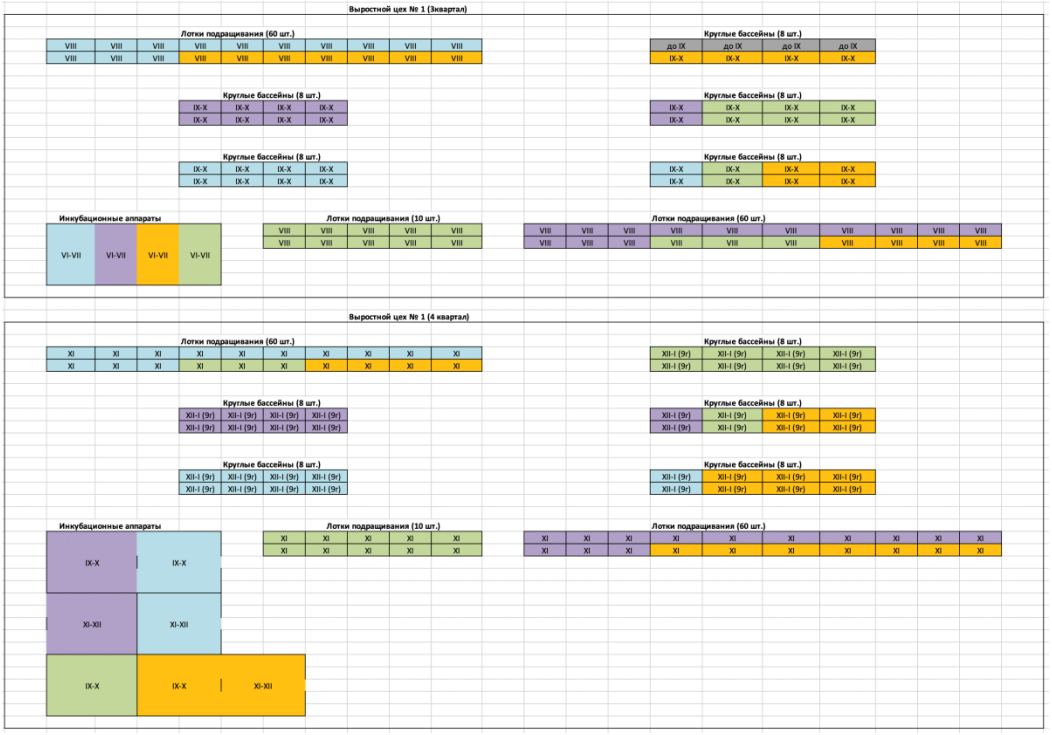


Рис. 38. План движения рыбы по цехам в 8-й год работы рыбоводного индустриального маточного комплекса (продолжение)

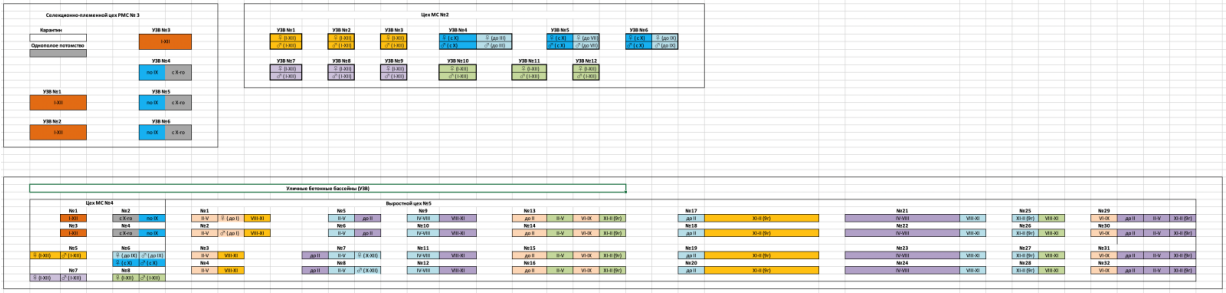


Рис. 39. План движения рыбы по цехам в 8-й год работы рыбоводного индустриального маточного комплекса (продолжение)

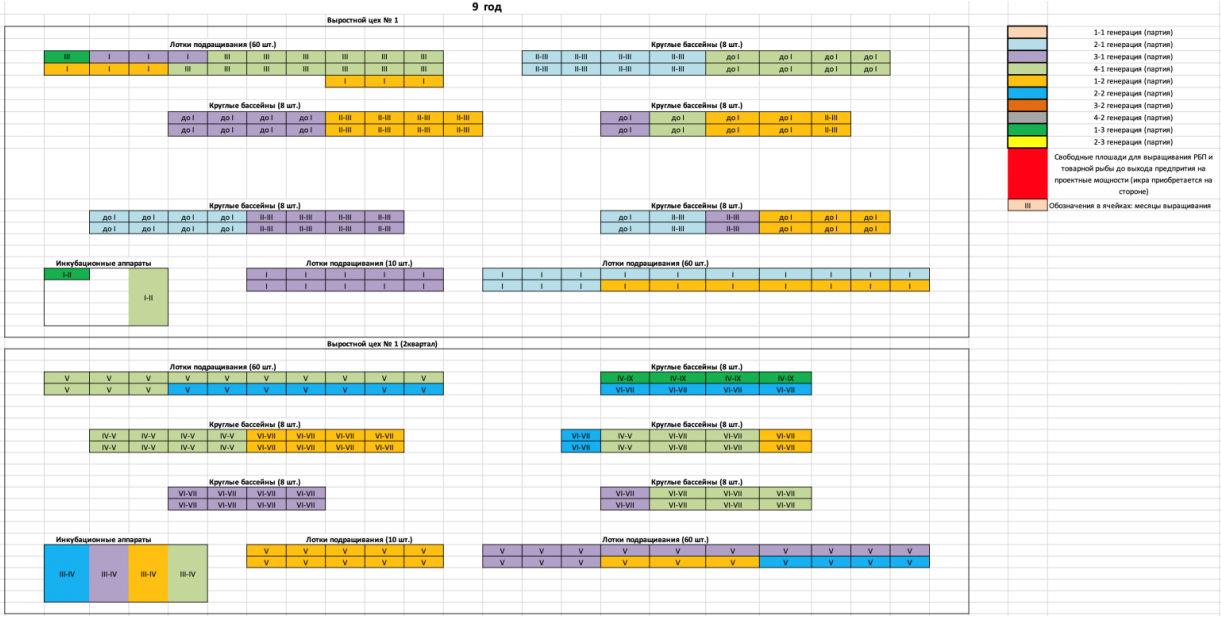


Рис. 40. План движения рыбы по цехам в 9-й год работы рыбоводного индустриального маточного комплекса

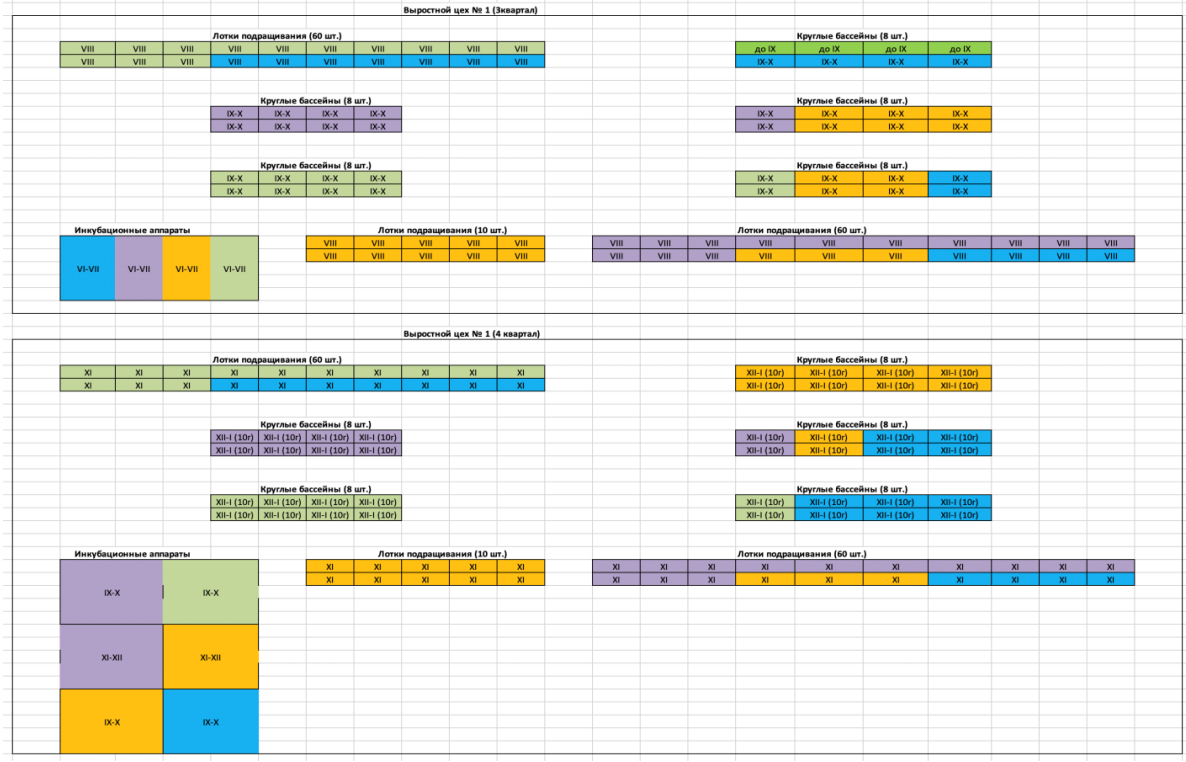


Рис. 41. План движения рыбы по цехам в 9-й год работы рыбоводного индустриального маточного комплекса (продолжение)

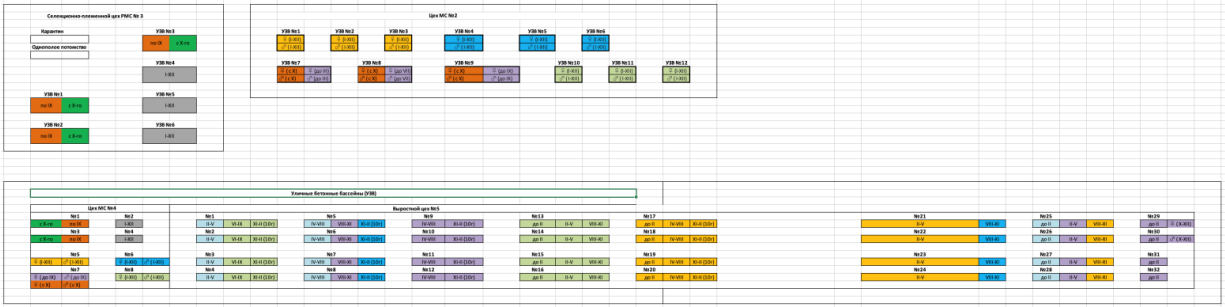


Рис. 42. План движения рыбы по цехам в 9-й год работы рыбоводного индустриального маточного комплекса (продолжение)

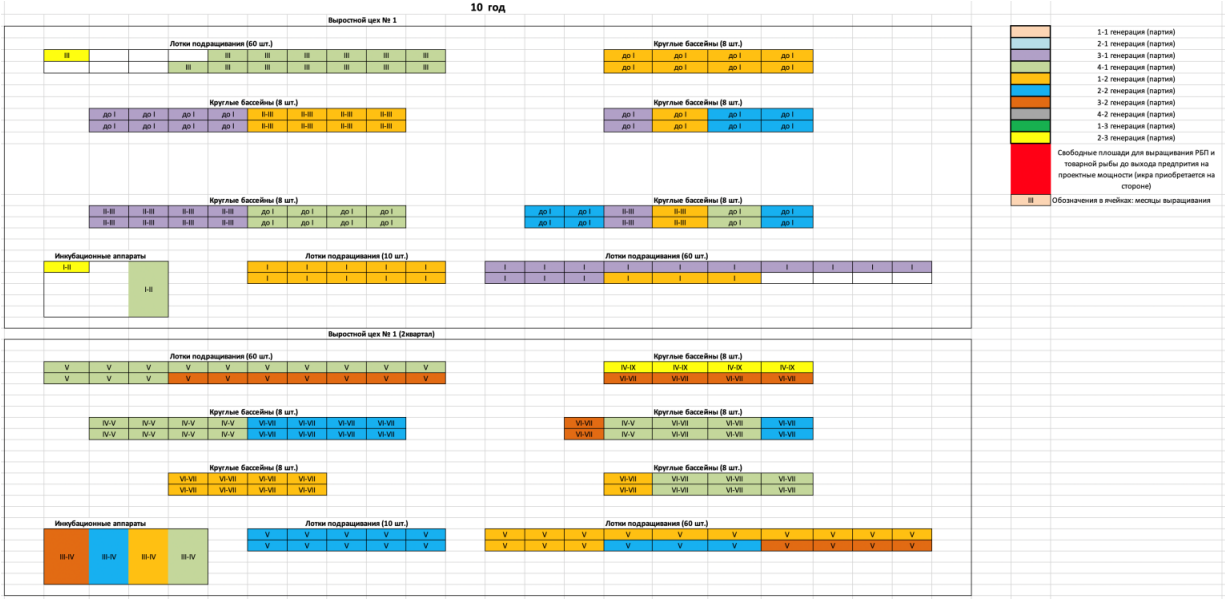


Рис. 43. План движения рыбы по цехам в 10-й год работы рыбоводного индустриального маточного комплекса

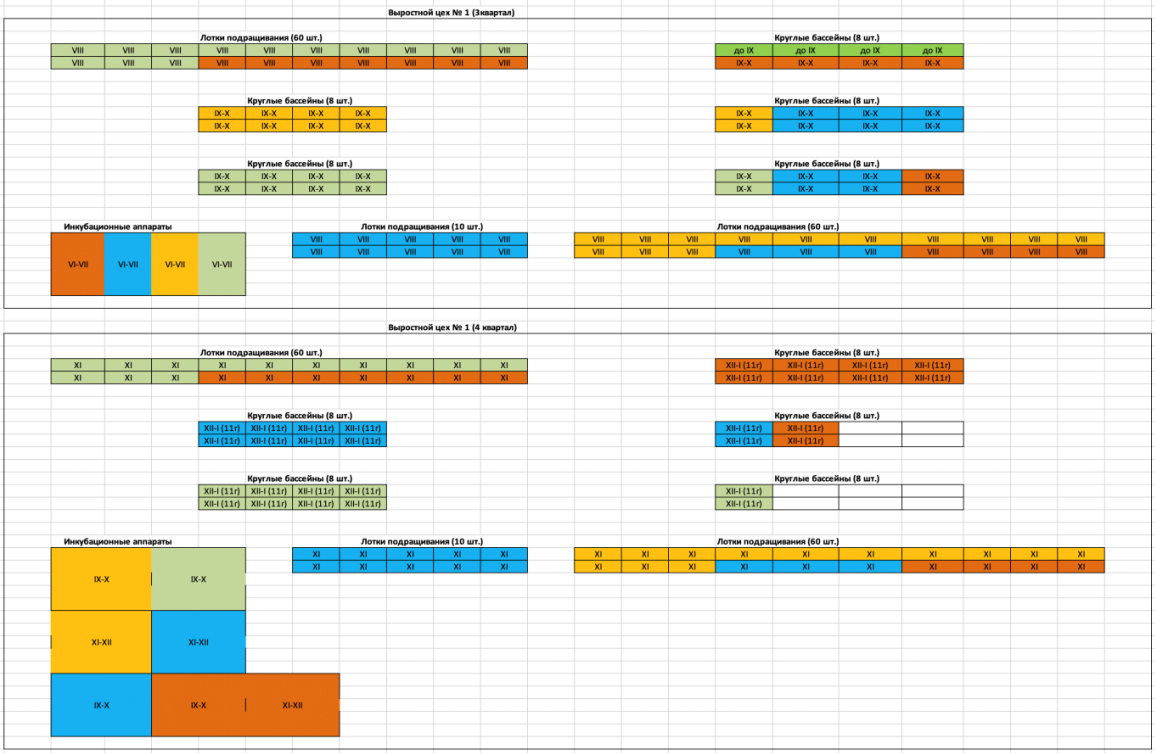


Рис. 44. План движения рыбы по цехам в 10-й год работы рыбоводного индустриального маточного комплекса (продолжение)

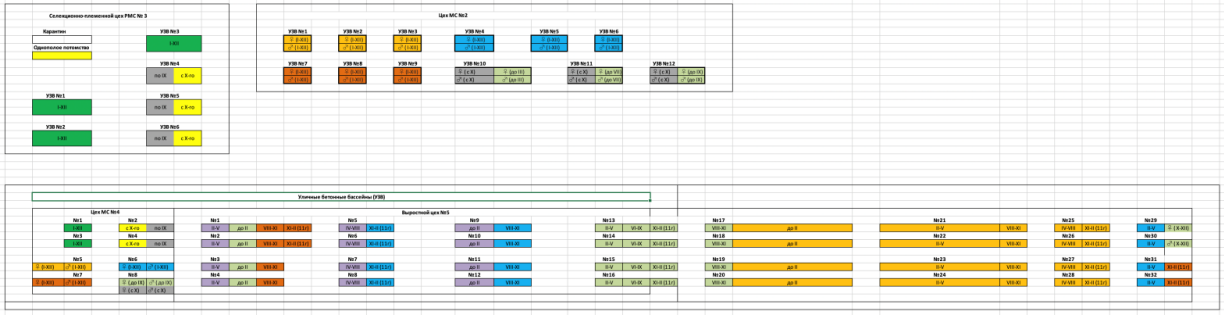


Рис. 45. План движения рыбы по цехам в 10-й год работы рыбоводного индустриального маточного комплекса (продолжение)

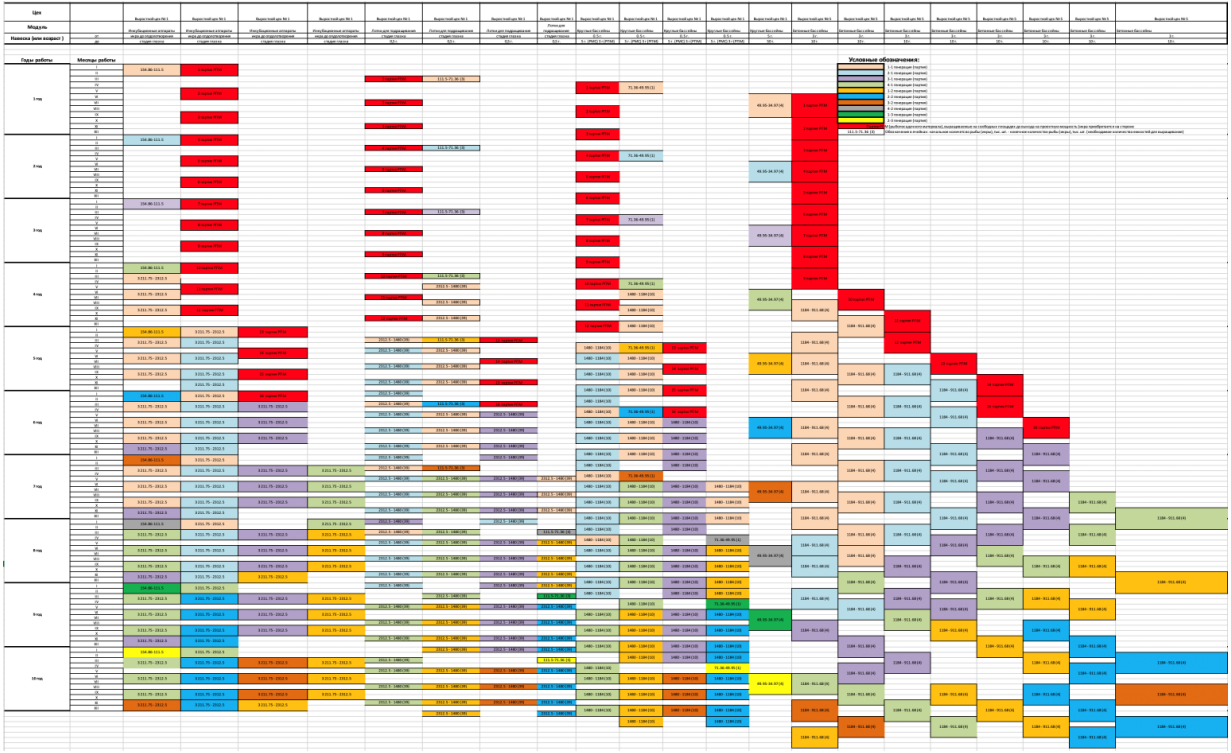


Рис. 46. Детальный календарный план работы рыбоводного индустриального маточного комплекса

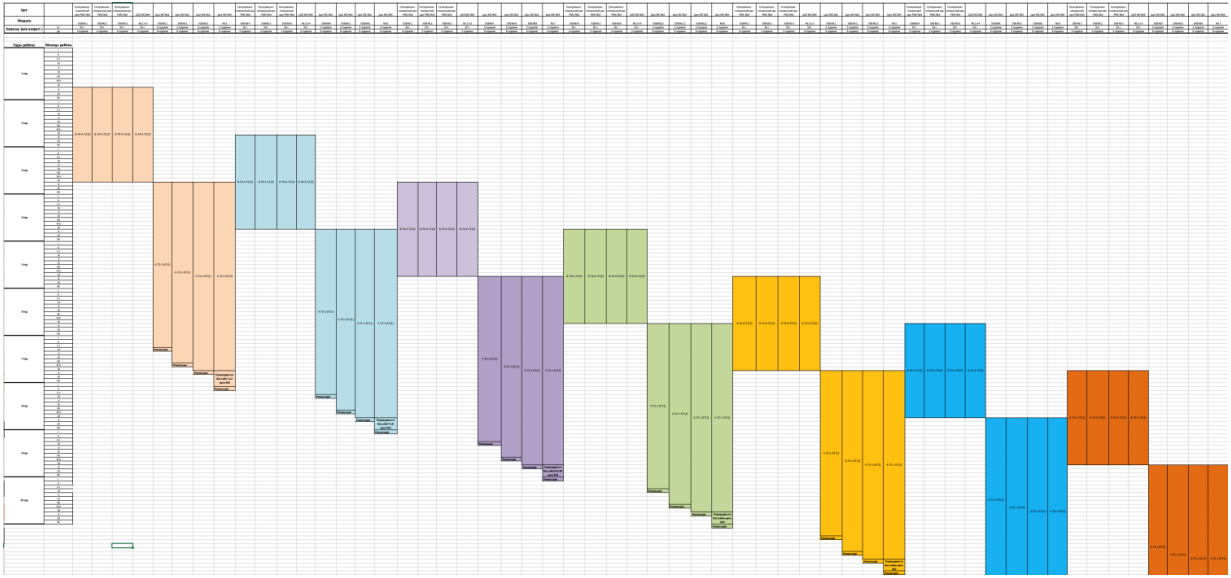


Рис. 47. Детальный календарный план работы рыбоводного индустриального маточного комплекса (продолжение)

8. НАУЧНЫЕ ЛАБОРАТОРИИ И ИХ КОМПЛЕКТАЦИЯ

Для успешного круглогодичного получения оплодотворенной икры (эмбрионов) радужной форели, а также для выполнения различных хромосомных и генетических манипуляций в рыбоводном индустриальном маточном комплексе необходимо создание следующих научных лабораторий.

Общая лаборатория – предназначена для осуществления общих рутинных задач, связанных с мониторингом общего состояния рыбы, ее взвешивания, вскрытия, осмотра, а также пробоподготовки образцов из рыбы для дальнейших исследований. Помещение данной лаборатории предназначено также для подготовки растворов для дезинфекции воды и лечения рыбы. Кроме общего лабораторного оборудования в общей лаборатории будет храниться оборудование для мечения, вакцинирования, санитарной обработки, которое будет использоваться в производственных рыбоводных помещениях.

Лаборатория гидрохимии – предназначена для проведения гидрохимических исследований качества воды различными методами: колориметрическими (экспресс), ионометрическими, спектрофотометрическими и др. Оборудование, которое будет располагаться в лаборатории, предназначено не только для экспресс-анализа, но и для углубленного гидрохимического анализа, в том числе для пробоподготовки к углубленному гидрохимическому анализу. Кроме стационарного лабораторного оборудования в лаборатории будут храниться приборы для мониторинга качества воды, которые будут использоваться в производственных рыбоводных помещениях.

Лаборатория микробиологии – это узкоспециализированная лаборатория, в задачи которой будет входить пробоподготовка с последующим анализом состояния рыб на наличие бактериальных заболеваний с возможностью проведения микробиологических посевов для диагностики и определения чувствительности микроорганизмов.

Лаборатория ихтиопатологии – предназначена для проведения мониторинга и исследования рыб на предмет выявления бактериальных, инвазионных, грибковых и других заболеваний. В лаборатории будет осуществляться подготовка лекарственных препаратов для профилактики и лечения заболеваний, а также пробоподготовка и взятие образцов тканей для транспортировки в специализированные вирусные лаборатории.

Лаборатория молекулярной биологии – предназначена для пробоподготовки и проведения генетических исследований с целью ведения селекционно-племенной работы с ремонтно-маточным и маточным стадом, определения эффективности применения технологии триплоидизации и получения однополого потомства, половой и видовой идентификации.

Виварий – предназначен для проведения токсикологических, ихтиопатологических, гидрохимических и физиологических экспериментов в условиях *in vivo*. В виварии будут содержаться модельные объекты данио рерио и гуппи, которые будут использоваться для оценки на них качества кормов, качества водной среды, различных схем лечения и кормления и других факторов, с целью выбора стратегии направления развития селекционно-генетического центра.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Aida, S. Sex ratio in the progeny of gynogenetic diploid marbled sole Limanda yokohamae males / S. Aida, K. Arai // Fisheries Science. – 1998. – Vol. 64. – P. 989–990.

2. Benfey, T. The physiology and behaviour of triploid fishes / T. Benfey // Reviews in Fisheries Science. – 1999. – Vol. 7. – P. 39–67.

3. Better growth in all-female diploid and triploid rainbow trout / R. J. Sheehan, S. P. Shasteen [et al.] // Transactions of the American Fisheries Society. – 1999. – Vol. 128 (3). – P. 491–498.

4. Bye, V. Comercial methods for the control of sexual maturation in rainbow trout, *Salmo gairderi* R. / V. Bye, R. F. Lincoln // Aquaculture. – 1986. – Vol. 57. – P. 299–309.

5. Chromosome set manipulation and sex control in fish / G. H. Thorgaard, W. H. Hoar [et al.] // Fish Physiology. – 1983. – Vol. 9. – P. 405–434.

6. Devlin, R. H. Sex determination and sex differentiation in fish: an overview of genetic, physiological, and environmental influences / R. H. Devlin, Y. Nagahama // Aquaculture. – 2002. – Vol. 208. – P. 191–364.

7. Diploid Gynogenesis Induced by Heat Shock after Activation with UV-Irradiated Sperm in Rainbow Trout (*Oncorhynchus Mykiss*) / I. Bencsik, N. Pacala [et al.] // Animal Science and Biotechnologies. – 2011. – Vol. 44 (1). – P. 162–165.

8. Donaldson E. M. The integrated development and application of controlled reproduction techniques in Pacific salmon aquaculture / E. M. Donaldson // Fish Physiology and Biochemistry. – 1986. – Vol. 2. – P. 9–24.

9. Hormonal sex reversal of Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.) / C. I. Hendry, D. J. Martin-Ribochaud [et al.] // Aquaculture. – 2003. – Vol. 219. – P. 769–781.

10. Hulata, G. Genetic manipulations in aquaculture: A review of stock improvement by classical and modern technologies / G. Hulata // Genetica. – 2001. – Vol. 111. – P. 155–173.

11. Induction of precocious sexual development in female pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) / J. D. Funk, E. M. Donaldson [et al.] // Revue Canadienne de Zoologie. – 1973. – Vol. 51. – P. 493–500.

12. Induction of triploidy and gynogenesis in teleost fish with emphasis on marine species / A. Felip, S. Zanuy [et al.] // Genetica. – 2001. – Vol. 111. – P. 175–195.

13. Experimental use of female sperm in the production of monosex female stocks of Chinook salmon (Oncorhynchus tshawytscha) at commercial fish farms / I. I. Solar, I. J. Baker [et al.] // Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. – 1987. – Vol. 1552. – P. 14.

14. Komen, H. Androgenesis, gynogenesis and the production of clones in fishes: A review / H. Komen, G. H. Thorgaard // Aquaculture. – 2007. – Vol. 269 (1–4). – P. 150–173.

15. Lou, Y. D. Diploid gynogenesis induced by hydrostatic pressure in rainbow trout, Salmo gairdneri Richardson / Y. D. Lou, C. E. Purdom // The Journal of Fish Biology. – 1984. – Vol. 24(9). – P. 66–670.

16. Optimization of Thermal Shock for Poliplody Induction in Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) under Photoperiodic Control of Spawning / Y. Güner, Z. Peker [et al.] // Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. – 2016. Vol. – 16 (4). – P. 797–804.

17. Piferrer, F. Endocrine sex control strategies for the feminization of teleost fish / F. Piferrer // Aquaculture. – 2001. – Vol. 197. – P. 229–281.

18. Piferrer, F. The comparative effectiveness of the natural and a synthetic estrogen for the direct feminization of chinook salmon (Oncorhynchus tshawytscha) / F. Piferrer, E. M. Donaldson // Aquaculture. – 1992. – Vol. 106. – P. 183–193.

19. Piferrer, F. Uptake and clearance of exogenous estradiol-17b and testosterone during the early development of coho salmon (Oncorhynchus kisutch), including eggs, alevins and fry /

F. Piferrer, E. M. Donaldson // Fish Physiology and Biochemistry. – 1994. – Vol. 13. – P. 219–232.

20. Ploidy manipulation and gynogenesis in fishes: Cytogenetic and fisheries applications / P. E. Ihssen, L.R. McKay [et al.] // Transactions of the American Fisheries Society. – 1990. – Vol. 119. – P. 698–717.

21. Production of monosex female groups of Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) by the fertilization of normal ova with sperm from sex-reversed females / G. A. Hunter, E. M. Donaldson [et al.] // Aquaculture. – 1983. – Vol. 33. – P. 355–364.

22. Sex control and ploidy manipulation in sea bass. / M. Carrillo, S. Zanuy [et al.] // Environmental Impacts of Aquatic Biotechnology. – Paris : OECD, 1995. – P. 125–143.

23. Sex differentiation / T. Yamamoto, W. S. Hoar [et al.] // Fish Physiology. – 1969. – Vol. 3. – P. 117–175.

24. 17β-Estradiol Can Induce Sex Reversal in Brown Trout / J. M. Voorhees, E. R. J. M. Mamer [et al.] // Fishes. – 2023. – Vol. 8. – P. 103.

25. Tabata, K. Induction of gynogenetic diploid males and presumption of sex determination mechanisms in the hirame Paralichthys olivaceus / K. Tabata // Nippon Suisan Gakkaishi. – 1991. – Vol. 57. – P. 845–850.

26. Yamazaki, F. Sex control and manipulation in fish / F. Yamazaki // Aquaculture. – 1983. – Vol. 33. – P. 329–354.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 3
1. КРАТКАЯ РЫБОВОДНО-БИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ 8
2. ПЛАНИРОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА ФОРЕЛЕВОГО ХОЗЯЙСТВА 14
2.1. Качество воды 14
2.2. Температурный режим 16
2.3. Возможность забора воды 17
2.4. Оценка объекта 18
2.5. Методы определения производственной мощности 19
2.6. Выживание и рост 19
2.7. Кислородный баланс 22
2.8. Производственная мощность планируемого объекта 24
2.9. Потребность в воде на различных этапах выращивания 28
2.10. Рециркуляция 29
2.11. Площадь и объем объектов 30
2.12. Технические средства 32
3. ПРАВИЛА ВЕДЕНИЯ СЕЛЕКЦИОННО-ПЛЕМЕННОЙ РАБОТЫ. ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ РЕМОНТНО-МАТОЧНЫХ СТАД 34
3.1. Основные задачи и направления селекционно-племенной работы 34
3.2. Статистическая оценка и ведение племенной документации 41
3.3. Технология формирования ремонтно-маточных стад 41
3.3.1. Оценка биологических характеристик, отбор, содержание маточного стада 41
3.3.2. График роста производителей форели при регулируемых температурах в УЗВ 42
3.3.3. Технологические операции при формировании ремонтно-маточных стад форели в УЗВ 44
4. ТЕХНОЛОГИЯ КРУГЛОГОДИЧНОГО ПОЛУЧЕНИЯ ОПЛОДОТВОРЕННОЙ ИКРЫ РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ 47
4.1. Биотехнология воспроизводства форели на основе управления сезонностью размножения 47
4.2. Содержание маточного стада форели в УЗВ 49
4.3. Искусственное воспроизводство радужной форели 51
4.3.1. Признаки, свидетельствующие о созревании производителей 51
4.3.2. Способы подготовки производителей к нересту 51
4.3.3. Нерестовый период 54
4.3.4. Стимулирование созревания производителей форели гормонами 55
4.3.5. Получение половых продуктов 57
4.3.6. Осеменение и закладка икры на инкубацию 62
4.3.7. Подсчет яиц 66
4.3.8. Технологические операции по искусственному воспроизводству радужной форели 67
4.3.9. Реабилитация производителей 71
4.4. Технология инкубации икры 72
4.4.1. Критические стадии в развитии икры 72
4.4.2. Ранний онтогенез форели 74
4.4.3. Выдерживание предличинок 76
4.4.4. Технологические операции при инкубации икры 77
4.5. Технология упаковки и транспортировки икры (эмбрионов) 82
4.5.1. Общие принципы транспортировки 82

4.5.2. Температурный режим в контейнере 83
4.5.3. Выбор стадии развития икры для перевозки 84
4.5.4. Отход при перевозке 85
5. ТЕХНОЛОГИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛОМ РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ. ХРОМОСОМНЫЕ МАНИПУЛЯЦИИ. ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ОДНОПОЛОГО И ТРИПЛОИДНОГО ПОТОМСТВА 87
5.1. Общие биологические и технологические принципы управления полом радужной форели 87
5.2. Хромосомные манипуляции 91
5.2.1. Гиногенез 91
5.2.2. Триплоидия 97
5.2.3. Андрогенез и тетраплоидия 105
5.3. Гормональное воздействие 106
5.3.1. Гормональное воздействие для получения самок 106
5.3.2. Гормональное воздействие для получения самцов 110
5.3.3. Гормональное воздействие для получения стерильных рыб 112
5.3.4. Другие способы использования гормонов для получения однополого (женского) потомства 113
5.4. Технология получения однополого и триплоидного потомства 114
5.4.1. Производство самок 114
5.4.2. Производство самцов 116
5.4.3. Производство стерильных рыб 118
5.4.4. Производство гибридов 118
6. ВЕТЕРИНАРНО-САНИТАРНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ И ИХТИОПАТОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ 120
6.1. Перечень ветеринарно-санитарных мероприятий и популярные заболевания радужной форели 120
6.2. Ветеринарно-санитарные требования при работе с ремонтно-маточным стадом (РМС) и производителями 122
6.3. Ветеринарно-санитарные требования в период инкубации икры 123
6.4. Ветеринарно-санитарные требования в период выращивания молоди 124
6.5. Комплекс ветеринарно-санитарных и лечебно-профилактических мероприятий 125
6.6. Методика ихтиопатологических исследований 130
7. РЫБОВОДНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ МАТОЧНОГО, РЕМОНТНО-МАТОЧНОГО СТАДА И РЫБОПОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ РМС 138
7.1. Расчет необходимой численности производителей и ремонтной группы в составе ремонтно-маточного стада, а также необходимого количества молоди для ежегодного пополнения ремонтно-маточного стада, обеспечивающих получение в течение календарного года 4 генераций молоди 138
7.1.1. Нормативы и рыбоводно-технологические расчеты маточного, ремонтно-маточного стада и рыбопосадочного материала для формирования РМС 139
7.2. Рыбоводно-технологические расчеты рыбоводных емкостей, площадей и объемов для содержания маточного, ремонтно-маточного стада и рыбопосадочного материала для формирования РМС 148
7.3. Пример рыбоводного маточного индустриального хозяйства для круглогодичного производства оплодотворенной икры (эмбрионов) радужной форели на стадии глазка 151
8. НАУЧНЫЕ ЛАБОРАТОРИИ И ИХ КОМПЛЕКТАЦИЯ 190
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК 192

Научное издание

Барулин Николай Валерьевич
Шумский Константин Леонардович
Жарикова Анастасия Олеговна

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КРУГЛОГОДИЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА ДИПЛОИДНОЙ, ТРИПЛОИДНОЙ И ОДНОПОЛОЙ ОПЛОДОТВОРЕННОЙ ИКРЫ (ЭМБРИОНОВ) РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ В УСЛОВИЯХ РЫБОВОДНЫХ ИНДУСТРИАЛЬНЫХ ХОЗЯЙСТВ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Монография

Редактор *Н. Н. Пьянусова*
Технический редактор *Н. Л. Якубовская*
Корректор *Н. П. Лаходанова*

Подписано в печать 31.07.2026. Формат 60×84 $^{1}/_{16}$. Бумага офсетная.
Печать цифровая. Усл. печ. л. 11,39. Уч.-изд. л. 9,61.
Тираж 100 экз. Заказ .

Белорусская государственная сельскохозяйственная академия.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий № 1/52 от 09.10.2013.
Ул. Мичурина, 13, 213407, г. Горки.

Отпечатано в Белорусской государственной сельскохозяйственной академии.
Ул. Мичурина, 5, 213407, г. Горки.