

УДК 597–151:639.2.081.9

Управление нагульными миграциями радужной форели (о. Сааремаа, Балтика)

Л.А.Воловова

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ «ВНИРО»), г. Москва
e-mail: ryhtach@yandex.ru

Рассмотрено состояние проблемы управления нагульными миграциями рыб в открытых водоёмах за последние 20 лет. Ретроспективно проанализированы ключевые этапы становления технологии ВНИРО за последние 20 лет. В процессе экспериментального исследования на натуральных полигонах Балтики была выявлена синергичная роль психоакустических свойств звукового стимула и обстановочных факторов среды обитания в формировании у рыб стабильного доминантного специализированного условного рефлекса. Отработан регламент обучения, выпуска и возврата рыб в контрольную зону на сигнал с рабочей частотой 300 Гц в форме сложной кодированной посылки, излучаемой специализированным гидроакустическим комплексом «Сигнал-М». Использование разработанной методической базы, стимульного акустического комплекса обусловили высокую результативность её применения на управляемом пастбище радужной форели на Балтике. Обобщение опыта международных исследований показывает, что апробированная в 80–90-е гг. прошлого века инновационная технология ВНИРО и в настоящее время на фоне имеющихся аналогов вполне способна обеспечить безопасность национального запаса водных биологических ресурсов в сопредельных международных акваториях.

Ключевые слова: биоакустика рыб, звуковой стимул, нагульные миграции рыб, гидроакустическая стимуляция.

ВВЕДЕНИЕ

Элементы управления миграциями морских рыб с целью приближения зон их нагула и облова в национальные воды используются в стратегии марикультуры с конца XX в. и не потеряли своей актуальности в XXI в. [Биологи научат рыб..., 2008; Воловова, 1988; Воловова, Красюк, 2006; Воловова и др., 1986; Израильские учёные..., 2008; Smith, 1985].

Настоящая статья ставит своей задачей на фоне акцентированного научного интереса проанализировать накопленный методологический

опыт исследований ВНИРО в этом направлении с тем, чтобы совершенствовать его на настоящем этапе этих разработок.

Наибольшую известность получили в своё время японские исследования на о. Кюсю по формированию управляемого стада морского карася (*Diplodus noct* (Valenciennes)), обученного собираться на звуковые сигналы в зону буя-кормушки [Ishioka et al., 1986].

Аналогичные эксперименты с лососем, радужной форелью, треской и другими объектами морского рыбоводства проводили в США,

Норвегии, Англии и России. При этом особое внимание уделялось поиску путей управления миграциями лососей, выпускаемых на нагул в море [Воловова, Красюк, 1987; Воловова, 1988; McNeil, 1983; Smith, 1985].

Технологическими предпосылками для разработки методов управления поведением рыб именно звуковыми сигналами стали высоко-развитая система слухового восприятия у рыб, сравнительно большая дальность распространения звука в воде и технически легко реализуемая генерация звука в воде.

Биоакустические исследования феномена акустической ориентации и общения животных, в том числе и водных, лежат в основе их использования в прикладных задачах управления поведением рыб. Среда обитания рыб заполнена многообразием звуков, сопровождающих их жизнедеятельность.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Звуки рыб, связанные с движением, обусловлены шумами жаберных крышек, хрустом сочленений скелета и гидродинамическими звуками. Гидродинамические звуки образуются в результате срыва водяных вихрей с поверхности обтекаемого тела. Частота таких вихрей прямо пропорциональна скорости движения рыб и обратно пропорциональна размеру обтекаемого тела. Гидродинамические звуки эффективно излучаются при резких бросках и поворотах. Эти звуки, как правило, имеют импульсный случайный характер. Число импульсов и их амплитуду определяет энергичность броска. Звуки движения рыб имеют шумовой характер и занимают область частот от 20 Гц до 5 кГц. Различия в структуре звуков у большинства видов невелики и связаны с особенностями строения тела, с характером движения (равномерное, неравномерное), с количеством особей в стае [Биоакустика, 1975; Воловова, 1983].

Звуки при захвате и перетирании пищи в процессе питания рыб возникают произвольно вследствие гидродинамического удара, броска, резкого движения открываемых жаберных крышек или ротового аппарата. При питании малоподвижными организмами звук захвата у большинства рыб не слышен. Лишь наиболее голодные рыбы захватывают пищу

с причмокиванием, засасыванием или заглушённым цоканьем. При питании подвижными организмами во время захвата обычно возникают сильные звуки. Эти звуки характеризуются двумя-тремя сравнительно мощными импульсами (до 100 бар) с периодом порядка секунд. Наибольшая мощность этих звуков лежит в интервале частот 400–600 Гц [Биоакустика, 1975; Воловова, 1983].

Шумоподобные звуки рыбы издают при перетирании пищи в результате трения челюстных, глоточных зубов. Их спектр занимает полосу от 50 Гц до 10 кГц. Строение зубов, размеры тела, плавательного пузыря, пищевых объектов влияют на характер звучания рыб вне зависимости от их видовой принадлежности. Это проявляется в широкой вариабельности структуры звуков, что нивелирует их информационную ценность как своеобразной флюктуации шумового фона в зоне его возникновения.

Специализированные звуки издаются рыбами при помощи плавательного пузыря. Плавательный пузырь как «пузырьковый» излучатель имеет однородную физическую природу излучения. Видовые и возрастные различия в устройстве плавательных пузырей обуславливают специфику издаваемых рыбами звуков. Эти акустические особенности излучения звуков у рыб могут являться биологическими критериями видовой и возрастной идентификации. Издаваемые плавательными пузырями звуки имеют импульсную структуру с пиковым давлением порядка 10 бар. Спектр этих звуков значительно уже, чем у звуков питания — от 50 Гц до 1,5–2,5 кГц с максимальным уровнем на частотах 100–700 Гц. Звуки имеют сезонный характер и связаны с фазой нереста и охраны потомства.

Для восприятия звуков рыбы имеют два типа слуховых аппаратов. Рыбы, обладающие слуховым аппаратом, составной частью которого является плавательный пузырь, имеют более развитый слух. У рыб, не имеющих плавательного пузыря, восприятие звуков осуществляет система акустико-латерального органа с общим центром в продолговатом мозгу. В качестве рецепторов рыбы используют кожные анализаторы, представляющие собой датчики смещений [Биоакустика, 1975].

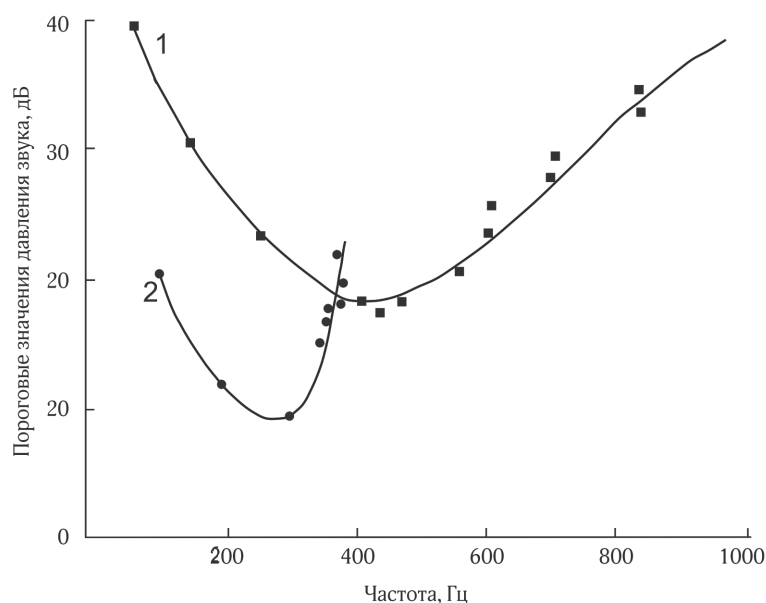


Рис. 1. Аудиограмма у *Lutjanus apodus* (Walbaum) [Tavolga, Wodinski, 1963]:
1 — связанная с работой органа слуха; 2 — связанная с работой боковой линии

Границы воспринимаемых звуковых частот у различных видов варьируют от десятков герц до нескольких килогерц. Слуховые возможности рыб отображает аудиограмма на рис. 1. Как видно из аудиограммы, слуховой орган имеет более низкую чувствительность, чем орган боковой линии.

Острота слуха разных видов рыб различна. Так, голяны при предварительной дрессировке способны различать сложные звуки, состоящие из серии тонов и пауз между ними, количество импульсов в сложном звуке. В естественных условиях акустическая сигнализация между рыбами осуществляется в условиях окружающих шумов. Рыбы способны выделять «полезные» сигналы из шума. Однотонные звуки, издаваемые ритмически, хорошо выделяются рыбами даже в том случае, когда они полностью скрыты окружающими шумами.

Звуковая сигнализация во внутривидовом и межвидовом общении рыб занимает особое место. Звуковой сигнал как средство общения имеет ряд преимуществ при распространении его в водной среде. Звуку не препятствуют густые заросли, нагромождения валунов и перепады рельефа. С помощью звука могут быть переданы большие объёмы информации на большие расстояния. Звуковая сигнализация сопровождает различные ситуации в жизни

рыб: воспроизведение потомства, территориальное, пищевое, агрессивное и оборонительное поведение.

Многолетние исследования биоакустики рыб позволили установить взаимосвязь теоретических и прикладных её направлений. Практический интерес представляет возможность управления кормовым поведением рыб на рыбохозяйственных акваториях, удобных для последующего отлова.

Принцип управления поведением рыб посредством имитации их звуков не нашёл практического применения. Соблюдение высокой точности имитации при воспроизведении достаточных уровней не гарантировали ответной реакции рыб, так как она зависела от готовности к восприятию, то есть от физиологического состояния. В то же время, в режиме условно-рефлекторного обучения рыб с кормовой стимуляцией во время воспроизведения звуков питания в лабораторных экспериментальных условиях, у рыб устанавливалась чёткая ответная реакция на имитацию биозвуков. Однако для практического применения для привлечения рыб в открытых водоёмах этот эффект всегда ограничен дистанцией в силу противоречивости требования мощности воспроизведения биозвуков и точности их имитации [Биоакустика, 1975; Воловова, 1983].

Исследования по разработке метода привлечения радужной форели (*Salmo gairdneri* Richardson) к источнику звука начались во ВНИРО совместно с эстонскими специалистами на Балтике в 1981 г.

На первом этапе исследований вёлся поиск оптимального акустического сигнала, удовлетворяющего поставленной цели. Изначально в качестве стимулов привлечения рыб были исследованы звуки их питания. Звуки питающейся в вольере форели записывали с помощью гидрофона на магнитную ленту. Выбранные по результатам анализа наиболее характерные фрагменты записи воспроизводились этим же рыбам. Безусловная реакция привлечения на эти звуки и последующее получение ими корма сформировали у рыб вольера чёткую поведенческую реакцию привлечения. Однако после выпуска рыб из вольера в море этот сигнал больше не имел для них стимульного значения. Тактико-технические параметры биозвуков питания — амплитудная и пространственно-временная вариабельность — осложняют у рыб запечатлевание и распознавание такого стимула, и поэтому рефлекс тоже оказывается неустойчивым. Эти ограничения предполагают, что использование их в рыбохозяйственной практике для стимульного привлечения лишено перспективы.

Очевидным стал выбор условно-рефлекторной стратегии управления нагульным поведением рыб на открытой акватории.

При выборе гидроакустического сигнала в качестве условного стимула принималось во внимание всё выше изложенное. Во-первых, он должен легко восприниматься и запоминаться, т. е. соответствовать психоакустическим возможностям рыб. Во-вторых, существенно отличаться от случайных шумов на акватории, чтобы быть помехоустойчивым и легко распознаваемым. Всё это необходимо реализовать достаточно простыми техническими способами.

Сформированный кодированный сигнал в известной степени удовлетворял предъявленным требованиям. Сигнал представлял собой ритмически организованную посылку из последовательности четырёх импульсов с частотой заполнения 300 Гц. Всенаправленное излучение его может быть реализовано современны-

ми гидроакустическими средствами, и сигнал будет находиться в диапазоне оптимальной слуховой чувствительности большинства рыб. В ритмическом рисунке сигнала соблюдается порядок следования импульсов: 100, 290, 290, 180 мс с интервалами между импульсами в посылке 180 мс и паузой между посылками 1,1 с. По сложности организации он находится в вариационном ряду звуков питания рыб разных видов и размеров, что было установлено анализом биоакустических записей, полученных в разное время на различных объектах, в том числе и в рамках наших исследований звуков питания форели [Воловова, 1983; Воловова и др., 1986]. Информационная идентичность сформированного искусственного сигнала с его природным аналогом облегчает запоминание и распознавание при его трансляции в среду обитания рыб. Во всех последующих исследованиях с использованием условно-рефлекторного обучения форели и других рыб в качестве условного стимула применяли именно такой сигнал, излучаемый специальным гидроакустическим комплексом «Сигнал-М» [Воловова, Красюк, 1987; Воловова, 1988; Воловова, Красюк, 2006].

При выработке пищевого условного рефлекса мотивационное состояние («эмоциональный резонанс») создаётся голодом. При этом поведение животных делается активным, условный рефлекс — целенаправленным. Стадия генерализации рефлекса устанавливается после проведения нескольких опытов, в которых с самого начала применяется сочетание звука с пищей. Когда соблюдается один и тот же интервал между применением условного и безусловного раздражителя, формируется условный рефлекс на время. Пища снимает чувство голода и тем самым как бы гасит очаг доминантного состояния. Тем не менее, стадия генерализации рефлекса сохраняется за счёт применения условных раздражителей — сигнала и особенно обстановочных факторов. Обстановочный рефлекс играет существенную роль в организации доминантного состояния при выработке стойкого пищевого рефлекса.

При изменении обстановки у голодного животного может возникнуть противоречие между разными мотивациями: — ориентиро-

вочно-оборонительной и собственно пищевой, что может отражаться на скорости выработки условного рефлекса. И.П.Павлов отмечал, что доминирование «панического рефлекса» приводит к замедленной выработке пищевого рефлекса у «трусливых». Индивидуальный тип оборонительного реагирования приводит к индивидуальной скорости выработки условного рефлекса. Различия в скорости выработки, прежде всего, отражают выраженность данного «эмоционального резонанса» в иерархии других мотиваций у животных (т. н. «смелые» и «трусливые»).

Таким образом, создание доминантного очага в мотивационном центре является необходимым условием для формирования условно-рефлекторной связи. При этом характер возбуждения в мотивационном центре определяет скорость выработки условного рефлекса, а не количество сочетаний стимулов. Обстановочный рефлекс, дистантные условные раздражители (звуковой сигнал) повышают уровень возбуждения в центре «голода». Когда в каче-

стве условного применяется один и тот же звуковой сигнал, доминанта переходит на стадию специализации.

Экспериментальные исследования по управлению нагульным поведением радужной форели в море на основе условно-рефлекторного тренинга были выполнены в бухте Тагалахт о. Сааремаа (Балтийское море) на акватории, примыкающей к пирсам морской форелевой фермы эстонского колхоза «Сааре Калур». Морская ферма товарного выращивания форели примыкала к восточному берегу бухты Тагалахт, образуя П-образный рифовый атолл со сторонами пирсов более 200 м. Пирсы, сложенные из мешков с песком и обложенные крупными валунами, образовывали множество лабиринтообразных укрытий для рыб. Северный пирс и восточный берег сформировали участок акватории, защищенный от ветров и штормов, комфортный для тренинга и последующего привлечения форели (рис. 2). Прибрежная зона этой части бухты имеет песчаное дно, каменистое мелководье, изобилует крупными валунами, что

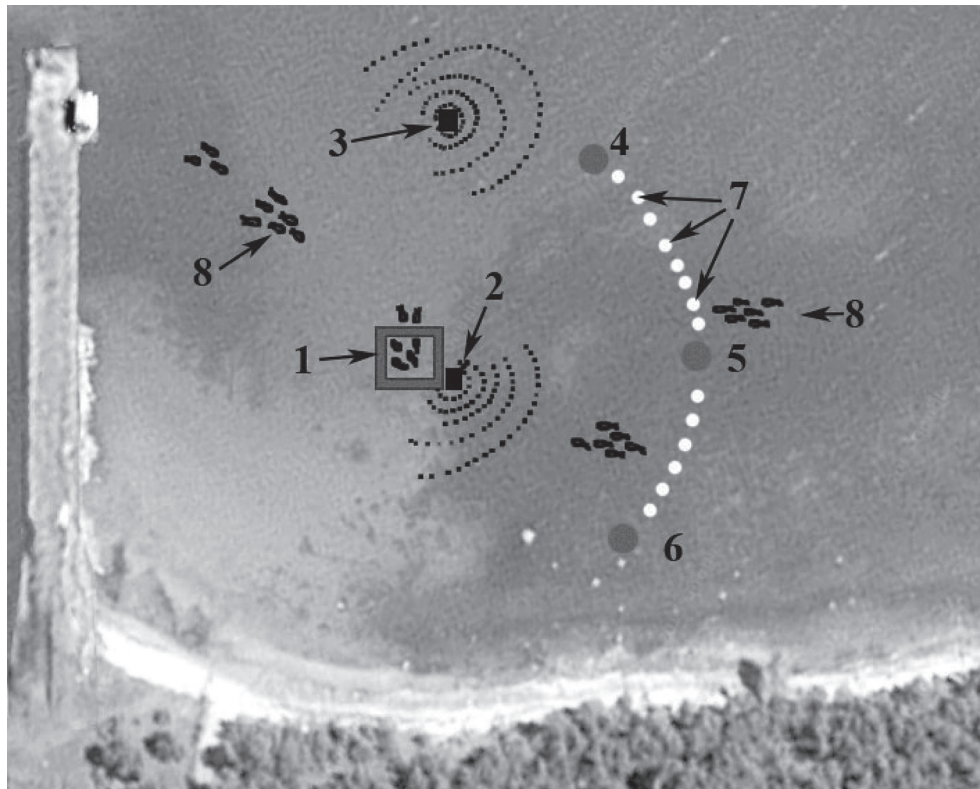


Рис. 2. Схема экспериментальной акватории:

1 — понтон-носитель; 2 — ближняя антенна; 3 — дальняя антенна; 4,5,6 — буи; 7 — поплавок; 8 — скопления рыб

благоприятствовало обитанию молоди форели, выпускаемой на нагул.

Кормовые миграции форели в мае—октябре занимают прибрежную полосу, ограниченную пятиметровой изобатой. Для определения зон, предпочитаемых рыбами для нагула и миграционных трасс, на пастбищной акватории предварительно были проведены биотелеметрические исследования с применением ультразвуковых меток. Прослеживая по принятым пеленгам направление миграции меченых рыб, был построен планшет траекторий миграции форели на акватории пастбища.

Биотелеметрические исследования показали, что 70% меченых рыб в течение нагульного сезона (июнь—август) не покидали контрольную зону акватории пастбища площадью 1 км². Остальные рыбы из группы меченых рыб принадлежали к тем, кто совершал миграции в сторону открытого моря, но через 3—5 суток снова возвращался в контрольную зону, либо вообще или надолго покидал бухту.

Обучение и управление нагулом рыб осуществлялось с морского понтона, который был установлен на глубине 5 м в центре штормозащитного полигона. Морской понтон был оснащён вольером 5×5×5 м для содержания обучаемых рыб, последующего выпуска в море и привлечения рыб на сигнал. Форель визуально прекрасно ориентируется в среде с крупными предметами, имеющими также характер-

ную геометрическую форму и контрастную окраску. На понтоне был установлен акустический комплекс «Сигнал-М» для выработки у рыб условно-рефлекторного пищепоискового поведения (рис. 3).

Группа форели для обучения в морском вольере в количестве 1000 экз. представляла собой генетически однородный, жизнестойкий, без патологий, без физических повреждений посадочный материал навеской 150—200 г, так что плотность посадки не превышала 2—3 кг/м³.

Рыбам давали адаптироваться к новым условиям обитания до появления у них активного кормления. Дневной рацион корма составлял не более 3—5% от биомассы рыб в вольере. Корм для рыб готовили на основе рыбного фарша из малоценных видов рыб с добавкой соответствующих ингредиентов для повышения его питательных и вкусовых качеств. За 2 дня до начала обучения рыб в вольере не кормили, затем приступали к выработке у рыб пищевого рефлекса на звуковой сигнал [Воловова, Красюк, 1987].

Гидроакустические излучатели, один из которых был совмещён с понтоном — «Ближний», а другой удалён от понтона на расстояние порядка 20 м — «Дальний», излучали направленные кодированные сигналы с дальностью действия порядка 1 км.

Рыбы практически не ориентируются на источник звука и, воспринимая сигнал, ищут

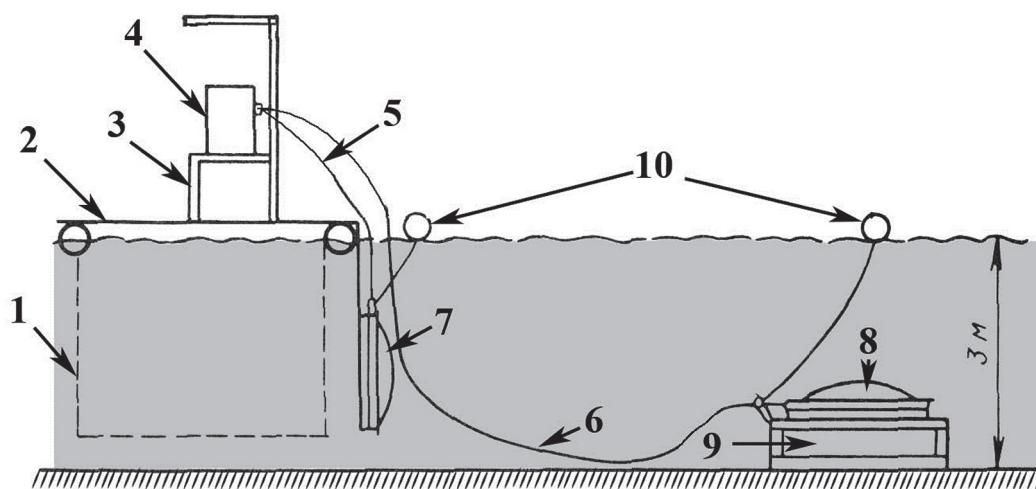


Рис. 3. Блок-схема эксперимента:

- 1 — садок из дели; 2 — понтон; 3 — тумба для аппаратуры; 4 — электронный блок; 5 — кабель ближней антенны; 6 — кабель дальней антенны; 7 — ближняя антенна; 8 — дальняя антенна; 9 — балластная рама; 10 — буй

не источник его излучения, а место кормления, приобретая тем самым обстановочный рефлекс.

Обучение рыб проводят сеансами в период наибольшей кормовой активности — в зоревые часы утром и вечером (рефлекс на время). Каждый сеанс разбивают на два периода. В первом полусеансе за 30 с до подачи корма включают ближний источник звуковых стимулов. В последующих 10 сеансах запаздывание подачи корма постепенно увеличивают до 5 мин и оставляют неизменным на весь регламент обучения.

Корм разбрасывают по поверхности воды в вольере порциями по мере поедания в течение 15 мин. При этом уровни излучаемых сигналов могут незначительно варьировать, но не превышать 10 Па, приучая рыб реагировать только на фонетику стимула безотносительно его громкости. Пауза 10 мин разделяет два полусеанса. Во время паузы корм рыбам не подают. Возбуждённые пищей рыбы циркулируют в вольере по его периметру, следят за оператором, реагируют на ложные взмахи руки в ожидании корма. Во втором полусеансе после паузы включают сигнал «Дальнего» излучателя, уровень излучения которого также варьировать в процессе кормовой стимуляции. Вторую дозу корма, так же как и в первом полусеансе, равномерно распределяют на весь период звуковой стимуляции, и через 10–20 с после его выедания сигнал выключают. Такой регламент сохраняется на весь период обучения — 10–12 дней.

В набор обстановочных факторов обучающихся рыб, помимо понтона, вольера, излучателя звукового сигнала, непременно попадает оператор — человек на понтоне. Оператор вскоре в восприятии рыб начинает ассоциироваться с «кормильцем», что может «затенять» эффект собственно звукового стимула. Для снятия «эффекта оператора» в регламенте тренинга рекомендуется упредительное появление на понтоне лодки с оператором за 10 мин до начала сеанса и оставление им понтона спустя 10 мин после сеанса, профилактическое посещение понтона в промежутке между утренним и вечерним сеансом, а также игровая имитация кормления рыб блёснами и т. п. Таким образом, продолжительность одного сеанса обучения форели составляла не менее 1 ч.

Скорость формирования рефлекса, как уже отмечалось выше, зависит от уровня оборонительной мотивации у обучаемого сообщества рыб. Считается, что тип оборонительного реагирования вида определяет его «технологичность» как способность к управлению внешними факторами среды, устойчивость к стрессу.

Продолжительность курса обучения зависит от скорости становления условного рефлекса и обычно не превышает 20–25 сеансов, когда рыб начинают готовить к выпуску из вольера в море. За 2–3 дня до выпуска изменяют порядок включения в полусеансах «Ближнего» и «Дальнего» излучателей и сохраняют его на весь период последующего контроля и привлечения к понтону выпущенных рыб.

Выпускают рыб во время утреннего сеанса следующим образом: проводят стандартный первый полусеанс; после паузы опускают стенку вольера на дно и начинают второй полусеанс, подавая корм и в вольере, и вне, со стороны опущенной стенки. В день выпуска рекомендуется провести дополнительно дневной сеанс, несколько увеличить рацион подаваемого корма и расширить площадь его подачи за пределами вольера.

Через 2–3 дня вольер следует убрать и собирать рыб в контрольных сеансах на открытой кормовой площадке понтона.

После выпуска рыб в море сеансы проводят реже, но не менее трёх в неделю. При этом время проведения сеансов выдерживают неизменным как изначальную установку рефлекса не только на место, но и на время. Подкармливание приобретает символический характер, и мера его зависит от количества привлечённых рыб. Корм подают редкими малыми порциями с запаздыванием 10 мин относительно включения сигнала «Дальнего». Паузу перед вторым полусеансом с сигналом «Ближнего» удлиняют до 15 мин в расчёте на подход наиболее отдалённых рыб, рассеянных по акватории пастбища. Сами сеансы становятся более продолжительными, что позволяет «поощрять» кормом рыб, подошедших на сигнал с «опозданием» с периферийных участков пастбища.

Определённая группа рыб постоянно обитала в окрестности понтона и упредительно приходила на кормовую площадку при приближении лодки к понтону до стимуляции сигналом.

Заведение рыб в вольер периодически осуществляли для контроля динамики численности привлекаемых по сигналу рыб. При этом наличие метки на выпущенных на нагул рыб позволяло отличать их от прилова аборигенов, включающихся, как правило, в пастбищный социум обученных.

Концентрирование всех рыб стаи, включая необученных, на кормовом участке достигается благодаря хорошо развитому у рыб подражательному поведению. Подражание, или имитация, представляет собой безусловный рефлекс, заключающийся в повторении поведенческих актов одними особями вслед за другими. Подражающие рыбы не только имитируют поведение других рыб, но и быстро обучаются тем же навыкам, которыми уже обладают другие рыбы, т. е. приобретают условные навыки от других особей, будучи лишь свидетелями действий последних. Сигнальная преемственность — приобретение условных рефлексов от других рыб, оно биологически более выгодно, чем выработка этих рефлексов на основании собственного опыта. Зрительное восприятие питающихся рыб, а также пищевые стимулы других модальностей (запахи и звуки) привлекают остальных особей, и вскоре вся стая собирается на кормовом участке.

Для выполнения операции заведения за два-три дня снова устанавливают вольер на понтоне. В эти дни во время подготовительных стимульных сеансов корм рыбам подают только в створе расположения подъёмной стенки вольера и внутри него.

Перед заведением в вольер в первом полу-сеансе, а также в начале второго рыб частично прикармливают вблизи подъёмной стенки. К концу второго полусеанса значительную порцию корма вбрасывают в центр вольера и резко поднимают стенку. В «подсушенном» вольере производят селекцию рыб разного генезиса — интродукции и аборигенов, — отбирают сачком и пересаживают в разные сортировочные ёмкости (кольцевые садки). После выполнения мониторинга (идентификация меток, постановка новых, подсчёт, выборка для биологического анализа и контрольного взвешивания) рыб оставляют в вольере на один-два дня для проведения восстановительных сеансов снятия стресса «хэндлинга». Затем

снова открывают вольер, и рыбы снова уходят в море и снова возвращаются по сигналу в контрольную зону.

Примечательна устойчивость приобретённого рыбами рефлекса на звуковой сигнал, который сохранялся без подкрепления вплоть до начала следующего нагульного сезона. В течение трёхлетнего экспериментального периода возобновлялись стимулированные подходы на сигнал прошлогодних «выпускников». Перезимовавшие в море, предположительно в устье бухты, и вернувшиеся снова на нагул в ту же бухту они чётко приходили на сигнал к понтону. Это была уже крупная товарная рыба в возрасте 3+, подходившая не только группами, но и поодиночке, зачастую выпрыгивая из воды на подходе к понтону.

Такие доместифицированные рыбы могут составлять лидирующее ядро в нагульном поведении пастбищного социума. Опишем чрезвычайно неординарный случай, подтверждающий эту мысль.

После окончания жёсткого шторма, бушевавшего на Балтике, когда стало возможным подойти на лодке к понтону для проведения контрольного сеанса, визуально было обнаружено, что в вольере находится большое скопление крупной рыбы. Стенка вольера немедленно была поднята до начала сеанса, и обитателей вольера удалось рассмотреть, подсчитать, выборочно обмерить и взвесить. В вольере оказалось около 4 тыс. экземпляров рыб, в том числе в возрасте 4+ и старше, явные «дикари», навеска некоторых достигала 3 кг. В стандартных сеансах заведения рыб в вольер обычно обнаруживалось порядка 2 тыс. и «домашних», и «диких» с навеской до 0,9–1 кг.

Со временем, на втором и третьем году практики управляемого пастбища в бухте, когда на пастбище стало много обученных, появление «диких» рыб в стандартных сеансах воспринималось достаточно ординарно. Обнаружение такого «элитного сбора» — следствие чрезвычайной ситуации в море. Только угроза жизни заставила этих рыб перейти к социальной форме поведения и следовать за обученными в известное только им укрытие, внутри которого штормовое волнение гасилось и защитой пирса, и бортами достаточно штормоустойчивого понтона [Воловова, 2011].

Это уникальное поведенческое наблюдение приоткрывает загадку социальной жизни лососей в море. Феноменальная способность ориентироваться в информационном обстановочном поле среды обитания и оптимизировать своё поведение и самоорганизацию определяет их технологичность как объекта управления. Весь этот внеплановый улов после обследования и мечения был отпущен снова в море.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Трёхлетний период исследований на модельном полигоне пастбищного нагула форели показал, что эффект промыслового возврата нарастал по мере увеличения кратности и численности выпусков обученной форели, а также за счёт присоединения к ним аборигенов. Промысловый возврат в сезоне варьировал: достигал максимума 70% (только обученных) в пике нагула и снижался к осени, когда заметно возрастал уровень оборонительной мотивации в поведении. Рыбы, набравшие вес, становились более осторожными, скрытными, поисковое и кормовое поведение сменило бросковую ритмику на более спокойную, акцентировалось индивидуальное, не стайное поведение.

Параллельно с нашими исследованиями на Балтике в Японии уже действовала программа экосистемного возрождения и повышения ресурсного потенциала прибрежных акваторий [Ishioka et al., 1986]. Топография рифовых комплексов, улучшающих условия обитания и нагула заводской молодежи планомерно расширяется по всему островному контуру. Разработанная для этих целей «эко-инженерная» технология включает комплекс обучения рыб перед выпуском их в море и последующего сопровождения их в пастбищном нагуле с целью стимульного привлечения к специализированным морским платформам. Морские платформы, оборудованные радиоуправляемыми системами с обратной связью, обеспечивают автоматизированную подачу звукового стимула (300 Гц), гидроакустический контроль концентрации рыб в зоне привлечения и режим подачи адекватной порции корма [Grove et al., 1994].

В настоящее время, по сообщениям информационного центра «Рыбные ресурсы», иссле-

дования по обучению рыб и их последующему возврату по сигналу в зону выпуска проводят в США (Морская биологическая лаборатория) и в Израиле (Институт «Волкани») [Биологи научат рыб..., 2008; Израильские учёные..., 2008].

Использование инновационной технологии управления нагульным поведением рыб, когда в одни и те же акватории нагула осуществляют выпуск различные страны, например Россия и Япония, может обусловить неординарную ситуацию в промысловом возврате ценных ВБР в национальные воды. Экспериментально доказано, что у обученных рыб формируется навык территориального предпочтения обитания и возвращения в нативные воды. Более того, как показали наши исследования, обученные рыбы способны опосредованно вовлекать в свои сообщества рыб, не имеющих такого навыка.

Резюмируя изложенное выше, можно утверждать, что использование апробированной технологии ВНИРО для управления нагульными миграциями лосося, например атлантического, на современном этапе следует рассматривать в аспекте стратегии сохранения национального запаса водных биоресурсов.

ЛИТЕРАТУРА

- Биоакустика. 1975 / Под ред. В.Д.Ильичева М.: Высшая школа. 255 с.
- Биологи научат рыб ловиться на звук. 2008 // Рыбные Ресурсы. URL: <http://www.fishres.ru/news/news.php?id=8021> (дата обращения — 02.03.2016).
- Воловова Л.А. 1983. О структуре биозвуков питающейся форели // Вопросы промысловой гидроакустики: Сборник научных трудов ВНИРО. М.: Изд-во ВНИРО. С. 65–71.
- Воловова Л.А. 1988. Форелевое ранчо, управляемое по гидроакустическому каналу // Физические поля в рыбоводстве. Приложение к журналу «Рыбное хозяйство СССР». М.: Агропромиздат. С. 39–52.
- Воловова Л.А. 2011. Самоорганизация пастбищной популяции радужной форели: фрактальные пространственно-временные структуры // Современное состояние биоресурсов внутренних водоёмов: Мат-лы докл. Всероссийская конференция с международным участием (12–16 сентября 2011 г., г. Борок, Россия). В 2 т. М.: АКВАРОС. Т. 1. С. 123–130.

- Воловова Л.А., Красюк В.В. 1987. Методические рекомендации по управлению морским нагулом и отловом радужной форели при помощи гидроакустических стимулов. М.: Изд-во ВНИРО. 28 с.
- Воловова Л.А., Красюк В.В. 2006. Экологическая безопасность воспроизводства водных биоресурсов: задачи и проблемы экозащитного конструирования зон управляемой продуктивности // Повышение эффективности использования водных биологических ресурсов. Первая международная научно-практическая конференция: Мат-лы конф. (1–2 ноября 2006 г., г. Москва, ВВЦ). М.: Изд-во ВНИРО. С. 118–119.
- Воловова Л.А., Шабалин В.Н., Питк А.А. 1986. Способ возврата рыб на локальную акваторию при их выращивании. А.с. 1261598 СССР. Открытия, изобретения № 37.
- Израильские учёные научили рыб. 2008 // Рыбные ресурсы. URL: <http://www.fishres.ru/news/news.php?id=7643>. (дата обращения — 02.03.2016).
- Ishioka H., Hatakeyama I., Skaguchi S., Iajima Sh. 1986. The effect of sound stimulus on the behavioral disturbance of Red Sea bream // Bull. Nansei Reg. Fish. Res. Lab. № 20. P. 59–70.
- McNeil W.J. 1983. World salmon ranching // Proc. Oceans' 83. San Francisco, 20 Aug.— 1 Sept. P. 880–883.
- Grove R.S., Makoto N., Hiroshi K., Sonu Ch.J. 1994. Aquatic habitat technology innovation in Japan // Bul. of Marine Science. № 55 (2–3). P. 276–294.
- Smith R.J.F. 1985. The control of fish migration. Berlin. Springer-Verlag. № 15. 243 p.
- Tawolga W.H., Wodinsky J. 1963. Auditory capacities in fishes. Pure tone thresholds in nine species of marine teleosts // Bull. Amer. Mus. Nat. Hist. P. 1–30.
- REFERENCES**
- Bioakustika [Bioacoustics]. 1975 / Pod red. V.D. Il'icheva. M.: Vysshaya shkola. 225 s.
- Biologi nauchat ryb lovit'sya na zvuk [Biologists will teach fishes to be caught on a sound]. 2008 // Rybnye Resursy. URL: <http://www.fishres.ru/news/news.php?id=8021> (02.03.2016).
- Volovova L.A. 1983. O strukture biozvukov pitayushchejsya foreli [On the structure of biosounds produced by eating rainbow trout] // Voprosy promyslovoy gidroakustiki: Sbornik nauchnyh trudov VNIRO. M.: Izd-vo VNIRO. S. 65–71.
- Volovova L.A. 1988. Forelevoe rancho, upravlyаемое po gidroakusticheskomu kanalu [The trout ranch operated on the hydroacoustic channel] // Fizicheskie polya v rybovodstve. Prilozhenie k zhurnalu "Rybnoe khozyajstvo SSSR". M.: Agropromizdat. S. 39–52.
- Volovova L.A. 2011. Samoorganizatsiya pastbishchnoy populyatsii raduzhnoy foreli: fraktalnye prostranstvenno-vremennye struktury [Self-organization of the rainbow trout fish pasture community: the fractal space-time structures] // Sovremennoe sostoyanie bioresursov vnutrennih vodoemov. Mat-ly dokl. Vserossiyskaya konferentsiya s mezhdunarodnym uchastiem (12–16 sentyabrya 2011 g., g. Borok, Rossiya). V 2 t. M.: AKVAROS. T. 1. S. 123–130.
- Volovova L.A., Krasnyuk V.V. 1987. Metodicheskie rekomendatsii po upravleniyu morskim nagulom i otlovom raduzhnoy foreli pri pomoshchi gidroakusticheskikh stimulov [Methodical recommendations about management of sea fattening and catching of an iridescent trout by means of hydroacoustic incentives]. M.: Izd-vo VNIRO. 28 s.
- Volovova L.A., Krasnyuk V.V. 2006. Ekologicheskaya bezopasnost' vosproizvodstva vodnyh bioresursov: zadachi i problemy ekozashchitnogo konstruirovaniya zon upravlyаемoy produktivnosti [Ecological safety of aquatic living resources reproduction: designing of environmentally protected zones] // Povyshenie effektivnosti ispol'zovaniya vodnyh biologicheskikh resursov. Pervaya mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya. Mat-ly konf. (1–2 noyabrya 2006 g., g. Moskva. VVTs). M.: Izd-vo VNIRO. S. 118–119.
- Volovova L.A., Shabalin V.N., Pitk A.A. 1986. Sposob vozvrata ryb na local'nyu akvatoriyu pri ih vyrashchivani. [A way of return of fishes on the local water area at their cultivation]. A.s. 1261598 SSSR. Otkrytiya, izobreteniya № 37.
- Izrail'skie uchenye nauchili ryb [The israeli scientists taught fishes]. 2008 // Rybnye resursy. URL: <http://www.fishres.ru/news/news.php?id=7643> (02.03.2016).

Поступила в редакцию 11.02.16 г.
Принята после рецензии 30.03.16 г.

Management of coast rainbow trout feeding migrations (Saaremaa Island, Baltic Sea)

L.A. Volovova

Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (FSBSI "VNIRO", Moscow)

This article has been considering the problem of fish feeding migrations management in water bodies. The formation key stages of FSBSI "VNIRO" technology for the last 20 years are retrospectively analyzed. In the process of pilot study on the Baltic Sea natural waters the synergistic role of psychoacoustic characteristics of audiostimulus and factors conditions of habitat in formation of a stable dominant behavior reflex of fish has been revealed. The regulation of training, fish discharge and return into inspection zone on a signal with 300 Hz working frequency in the form of difficult coded parcel radiated by the specialized hydroacoustic «Signal-M» complex has been worked out. Usage of the developed methodical base, stimulus acoustic complex caused high effectiveness of its application on controlled water body of coast rainbow trout on the Baltic Sea. Experience generalization of international researches shows that FSBSI "VNIRO" innovative technology that has been approved in 80–90th years of the last century is still quite capable to ensure national stock safety of water living resources in neighbor international water areas despite available analogs.

Key words. Fish bioacoustic, sound incentive, feeding migrations of fishes, hydroacoustic stimulation.