
Итоги сотрудничества ученых Росрыболовства
и Российской академии наук

УДК 57.084.1+591.582:639.2.081.9

**Межотраслевой научный полигон морских
биотехнологий как средство эффективного решения
актуальных рыбопромысловых проблем**

*А.А. Байталюк¹, А.В. Адрианов², В.Н. Акулин¹,
И.В. Дюйзен², М.Ю. Кузнецов¹, Ю.А. Кузнецов³*

¹ Тихоокеанский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»), г. Владивосток

² Национальный научный центр морской биологии (ФГБУН «ННЦМБ» ДВО РАН),
г. Владивосток

³ Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет
(Дальрыбвтуз), г. Владивосток

E-mail: mikhail.kuznetsov@tinro-center.ru

В 2018 г. на базе научно-образовательного комплекса «Приморский океанариум» Национального научного центра морской биологии (ННЦМБ) ДВО РАН был создан Центр коллективного пользования (ЦКП) с научным оборудованием, береговой и прибрежной инфраструктурой, уникальными установками и биологическим материалом. В функциональном отношении — это межотраслевой научный полигон морских биотехнологий (МНПМБТ), создаваемый на принципах коллективного доступа его участников к морским акваториям, береговым научным станциям, к биологической и инструментальной базе на площадке базы исследований морских млекопитающих (БИММ) Приморского океанариума. Структура МНПМБТ в формате ЦКП может стать полезной в решении широкого круга задач реализации наукоёмких морских биотехнологий, совершенствования бионических способов воздействия на гидробионтов, проведении натурных исследований и испытаний макетов гидроакустических, электротехнических, сетеснастных и иных манипуляторов двигательного поведения гидробионтов, их адаптации к условиям промыслов. Приводятся первые результаты совместных исследований на МНПМБТ. Работы содержат изучение акустической и кинематической активности и характеристик сигналов морских млекопитающих и рыб, тестирование гидроакустических излучателей для управления поведением рыб, экспериментальные исследования отражательных свойств гидробионтов и влияния гидроакустических излучателей привлекающего и отпугивающего действия на поведение рыб в садках с использованием современных инструментальных методов и средств наблюдений.

Ключевые слова: поведение гидробионтов, управление, промысел, гидробионика, биотехнологии, полигон, биоакустика, оценка запаса.

DOI: 10.36038/2307-3497-2020-181-16-32

ВВЕДЕНИЕ

Одной из возможностей существенного роста увеличения объёмов вылова водных биоресурсов (ВБР) на Дальневосточном рыбопромысловом бассейне России является освоение мезопелагических рыб и моллюсков [Шунтов, 2016], относящихся к категории потенциально промысловых, запасы которых в дальневосточных морях составляют порядка 45 млн тонн (почти 50% от мирового вылова). Однако, эти объекты при своей внушительной биомассе не образуют устойчивых промысловых скоплений. Поэтому традиционные техника и технологии ведения промыслов не позволяют эффективно облавливать этих гидробионтов. Решение этой масштабной проблемы лежит в сфере новых научных подходов. Разработки морских биотехнологий дистанционного воздействия на поведение гидробионтов, средств искусственной их концентрации и промысла с малыми энергетическими затратами — один из таких подходов.

Более тридцати лет назад один из авторитетных специалистов в области мирового рыболовства П.А. Моисеев писал: «... По мере возрастания степени промысловой освоенности морей и океанов и снижения уровня запасов ряда основных традиционных объектов лова, возможность дальнейшего увеличения общего вылова будет все в большей степени зависеть от способности человека создать искусственные концентрации рассеянных в толще воды водных объектов, численность которых относительно велика, но которые не образуют скопления промысловой плотности, научиться управлять поведением рыб, создавать рациональное и в то же время эффективное использование многовидовых экосистем...» [Моисеев, 1989]. А родоначальник теории рыболовства проф. Ф.И. Баранов с самого её зарождения подчёркивал необходимость исключения в ней фундаментальной неопределённости. Это касалось, прежде всего, процессов взаимодействия живого с техническим, т. е. их бионического содержания. Уже тогда он настаивал на получении базовых данных о поведении гидробионтов: «... приступая к разработке орудия для лова

той или иной рыбы, нужно, прежде всего, иметь данные об особенностях поведения этой рыбы... Поскольку такой основной момент, как поведение объекта лова (вообще недостаточно изученный), не поддаётся численному определению, то и определение основных элементов орудия — размеров, формы и т. д. — не может быть обосновано путём вычислений...» [Баранов, 1960]. Для того времени эти постулаты не могли быть основательно поддержаны методически и инструментально.

На промысле сохраняют устойчивость только природные стереотипы акустического и двигательного поведения гидробионтов. Знания ориентационных способностей и механизмов направленной реакции у рыб, имеющих морфологические и функциональные особенности органов восприятия звука, необходимы для понимания мотивов и стереотипов поведения рыб в физических полях как чисто акустических, так и многомодальных, а также при разработке акустических средств управления поведением рыб и выборе оптимальных методов их использования на промысле.

Отношения запаса с промыслом и объекта лова с техникой лова — в сущности, гидробионические процессы. Для их раскрытия необходимы эмпирические знания и компетенции бионического содержания, что невосполнимо опытом математического эксперимента и моделирования. Новая наука для решения фундаментальных и прикладных проблем океанологии — гидробионика — как раздел общей бионики занимается исследованием биологических особенностей и закономерностей, свойственных водным, преимущественно морским, животным, и разработкой на их основе методов и технических средств морепользования. В ней сосредоточен огромный потенциал ещё нераскрытых возможностей для создания природоподобных биотехнологий промысла на организменном уровне, заимствующих устойчивые связи гидробионтов с внешней средой.

Гидробионические исследования в области рыбопромысловой биоакустики были развёрнуты в ТИНРО в 70–80-х гг.

прошлого века в рамках Государственной Программы 0.74.01 «Мировой океан» (раздел «Гидробионика»). Понимая сложность поставленных задач один из авторов статьи, тогда руководитель этих работ, предложил системный принцип организации биоакустических исследований [Кузнецов, 1975, 1985]. За основу были взяты работы W.N. Tavolga [1964], В.Р. Протасова [1978], Е.В. Шишковой [1977], В.Н. Мельникова [1973], Б.П. Мантейфеля [1980] и др. учёных, которые подвели научную базу под феноменологию акустического и двигательного поведения рыб. В результате комплексной постановки задач исследований, к середине 80-х гг. удалось создать теоретическую базу для разработок в области промысловой гидробиоакустики и гидробионики. Были исследованы слуховые способности некоторых дальневосточных рыб, их реакции на акустические стимулы различного спектрально-энергетического и временного состава. Выявлены внутренние и внешние мотивы и механизмы формирования поведения хищных китообразных и рыб, определяющие звуковые эмоции контактирующих гидробионтов в стрессовой ситуации (нападение хищников, питание, нерест и т. д.). Разработаны первые устройства, имитирующие сигналы дельфинов и рыб.

Эти исследования, во многом опережающие запросы рыбного хозяйства того времени, оказались успешными благодаря участию в них учёных разных специальностей. Кроме учёных по технике промышленного рыболовства, в них участвовали гидроакустики, океанологи, биофизики, гидробиологи, физиологи и другие специалисты академических институтов и вузов Дальнего Востока и центральных районов страны [Кузнецов, 1985].

Несмотря на очевидные успехи таких исследований, материально-техническая база, вполне современная по тем временам, ограничивала возможности экспериментальных работ и практическую реализацию результатов, оставляя открытыми многие важные для создания технологий дистанционного управления поведением гидробионтов и модернизации современного рыболовства вопросы.

На рубеже 20–21 веков ведущие специалисты в области биоакустики пришли к пониманию того, что возможности акустической стимуляции водных животных для повышения эффективности их промысла в значительной степени не используются и что существующее состояние разработки акустических способов и устройств для управления поведением ВБР нельзя считать удовлетворительным [Popper, Carlson, 1998; Кузнецов, Кузнецов, 2007; Popper, Schilt, 2008]. Было сделано заключение, что эта работа не может быть сделана только учёными-биологами, или учёными-акустиком, или инженерами-конструкторами. Требуется междисциплинарная интеграция и комплексная направленность исследований по определению и моделированию наиболее эффективных стимулов, вызывающих врождённые безусловнорефлекторные реакции у рыб при различных состояниях объекта, в т. ч. в условиях промысла.

Для реализации этих исследований и разработки новых морских биотехнологий промысла необходимо объединение усилий учёных и инженеров различных специальностей, работающих в системе образования, фундаментальной и отраслевой науки, участия рыбопромышленников. В то же время отдельными исследованиями и разработками ТИПРО и Дальрыбвтуза за последние годы был подготовлен ряд научных заделов и обоснована необходимость создания современной базы для проведения морских полигонных НИОКР в интересах повышения эффективности рыбного промысла и коммерциализации разрабатываемых биотехнологий [Кузнецов, Кузнецов, 2016].

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Для объединения усилий и обеспечения успешной интеграции академической и отраслевой науки и образования в интересах решения актуальных рыбопромысловых проблем и ускорения коммерциализации прорывных научных заделов из области морских биотехнологий на базе научно-образовательного комплекса «Приморский океанариум» Национального научного центра морской биологии (ННЦМБ) ДВО

РАН в 2018 г. создан Центр коллективного пользования (ЦКП) с научным оборудованием, береговой и прибрежной инфраструктурой, уникальными установками и биологическим материалом. Эта научно-организационная структура в форме ЦКП стала полезной в решении задач реализации наукоёмких морских биотехнологий для организаций, которые не имеют соответствующей технологической и экспериментальной базы и нуждаются в проведении натуральных исследований и испытаний макетов гидроакустических, электротехнических, сетеснастных и иных ресурсосберегающих технологий добычи ВБР, их адаптации к условиям промыслов. В ЦКП заинтересованные организации-партнёры участвуют в разработках программ и методик исследований, обеспечивают базу исследований морских млекопитающих (БИММ) Приморского Океанариума разнообразным биологическим материалом и береговым оборудованием, современной научно-экспериментальной и приборной базой, участвуют в реализации комплексной целевой программы научных исследований и разработок в интересах рыбного хозяйства Российской Федерации на 5 лет (2019–2023 гг.). Они направляют для участия в работе временных творческих коллективов (ВТК) своих квалифицированных спе-

циалистов, вовлекают в исследовательский процесс профессорско-преподавательский состав вузов и студентов, а в программы промысловых испытаний — представителей рыбопромышленных компаний и других субъектов хозяйственной деятельности на море.

В функциональном отношении — это **межотраслевой научный полигон морских биотехнологий (МНПМБТ)**, создаваемый на принципах коллективного доступа его участников к морским акваториям, береговым научным станциям, к биологической и инструментальной базе на площадке БИММ научно-образовательного комплекса (НОК) «Приморский океанариум» Национального научного центра биологии (ННЦБ) ДВО РАН. Агрегатная структура МНПМБТ представлена на рис. 1.

Согласно этой схеме и схеме организации биоакустических и гидробионических исследований [Кузнецов, Кузнецов, 2016] на МНПМБТ предусматривается освоение методов прямой регистрации природных феноменов кинематического, вегетативного и акустического поведения животных в естественных условиях их обитания и неволе. Также необходимо в структуре полигона предусмотреть возможность освоения методов и средств оценки степени биологической значимости внешних и внутренних

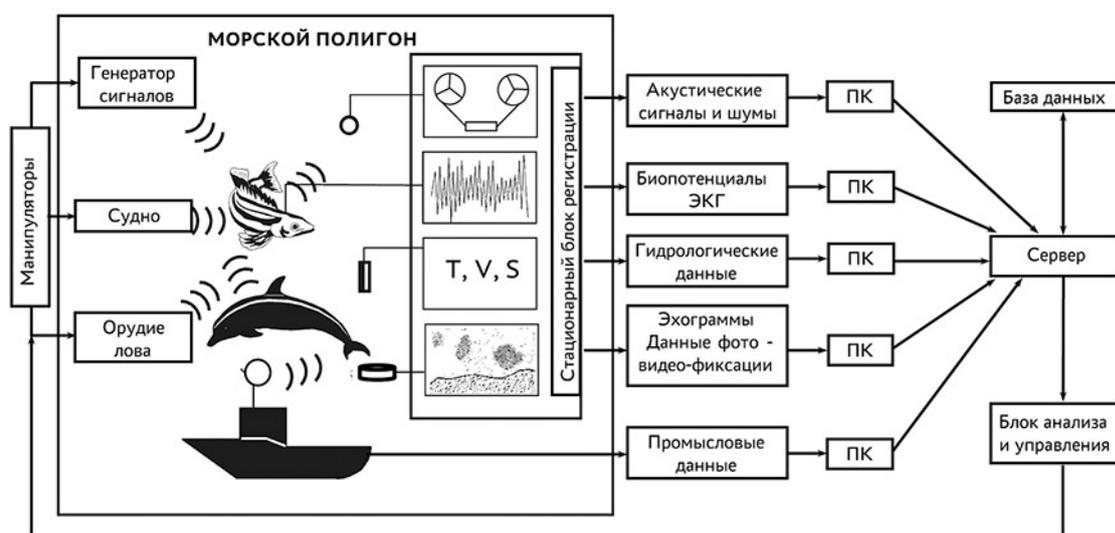


Рис. 1. Агрегатная структура МНПМБТ

факторов на поведение гидробионтов, в т. ч. с использованием электрофизиологических методов исследования.

Последнее потребует имитации в условиях акватории и в садковых (аквариальных) условиях адекватных физических полей воздействия с использованием различных манипуляторов биологических и технических источников звука. Физические возмущения и сопутствующее поведение гидробионтов регистрируется в реальном времени и пространстве через стационарный блок полигона — лабораторию, оснащённую техникой регистрации, анализа и накопления данных о двигательной, вегетативной и акустической активности гидробионтов, о сигналах и шумах от манипуляторов-имитаторов звуков рыб и других животных, от орудий лова и судов, о направленной кинематике поведения и электрофизиологических реакциях гидробионтов на внешние раздражители, о распределении и перераспределении скоплений в пространстве, об изменениях гидрологических условий среды и влиянии их на реактивность гидробионтов (см. рис. 1).

Полигон, оснащённый соответствующей измерительной техникой подводных наблюдений и измерений, должен обеспечивать аквариальные, садковые и натурные исследования, позволяющие определить ответственность различных биологических, гидрофизических и технических факторов в формировании поведения исследуемого объекта. Мобильная часть инструментария применяется в морских экспериментах и при промысловых испытаниях, стационарная — устанавливается на береговых научных станциях.

Одна из основных целей создания МНПМБТ — биофизическое обоснование и разработка новых наукоёмких, энергосберегающих и экологически безопасных технологий лова с использованием гидроакустических методов и средств дистанционного воздействия на гидробионтов.

Объектом исследований являются промысловые открытопузырные рыбы и хищные китообразные дальневосточных морей, создаваемые ими гидроакустические поля

и технические модели гидроакустических излучателей.

Содержание работ:

– регистрация шумов и сигналов биологического происхождения, изучение суточной и сезонной акустической и кинематической активности и характеристик сигналов морских млекопитающих и рыб;

– тестирование и измерения характеристик сигналов технических моделей гидроакустических излучателей для управления поведением рыб привлекающего действия (имитация собственных сигналов гидробионтов) и отпугивающего действия (информационные — имитация сигналов зубатых китов; энергетические — взрывные низкочастотные источники);

– экспериментальные исследования влияния гидроакустических излучателей привлекающего и отпугивающего действия на поведение беспозвоночных и рыб в садках с использованием современных инструментальных методов и средств наблюдений.

По первой работе на МНПМБТ исследовалась акустическая активность и кинематическое поведение различных видов рыб и хищных китообразных. Методической основой исследований являлись регистрация и анализ биологических сигналов хищных китообразных и рыб в садках и вольерах с использованием гидрофонной измерительной системы и программного анализатора, реализующего алгоритм быстрого преобразования Фурье, выявление устойчиво повторяющихся звуков и их параметров. Для контроля распределения рыб в садке был установлен портативный научный эхолот EK60 Simrad с рабочей частотой 200 кГц (рис. 2). Регистрация сигналов и распределения рыб в садке производилась непрерывно в течение суток.

В ходе наблюдений получены новые данные о суточной акустической активности японского анчоуса *Engraulis japonicus* в садке (рис. 3). Как и у других открытопузырных рыб (кеты, горбуши, тихоокеанской сельди и дальневосточной сардины) звуковая активность японского анчоуса существенно усиливается в сумеречное и ночное время суток, когда ослабевает зрительный контакт между особями.

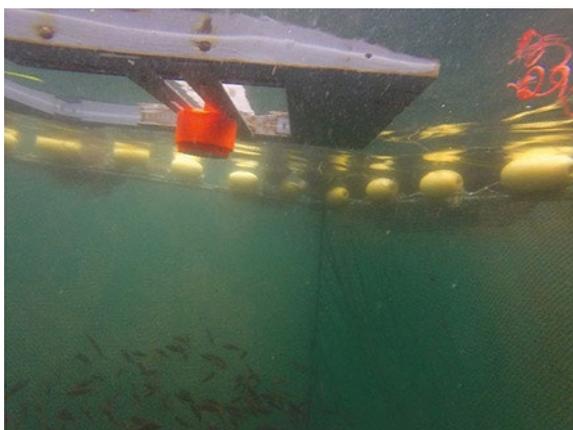


Рис. 2. Размещение антенны эхолота EK60 в садке

Суточная акустическая активность рыб связана с распределением рыб. Днём рыбы в садке находятся в плотном косяке, активно реагирующем на шум (рис. 4). Ночью, когда уменьшается освещённость и особи не могут осуществлять совместные синхронные движения, косяк рыб рассеивается в толще воды (плотность рыб снижается). При этом происходит усиление функции слуховых рецепторов, обеспечивающих поддержание стайного контакта, и, как следствие, существенное увеличение акустической активности рыб. Переход от одного состояния к другому достаточно

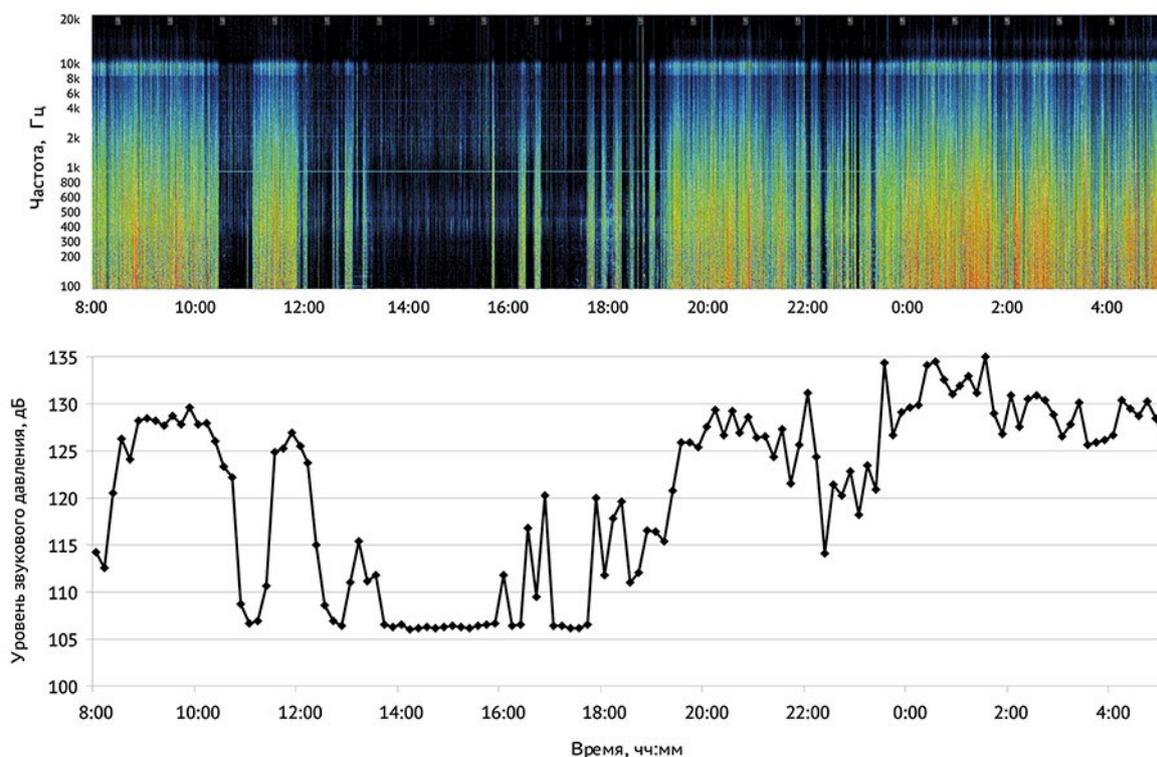


Рис. 3. Сонограмма и график суточной акустической активности японского анчоуса *Engraulis japonicus*

строго связан со степенью освещённости. По результатам наблюдения переходный период длится около 1 часа вечером и около 0,5 часа утром.

Получены экспериментальные оценки суточного акустического поведения и характеристик сигналов и шумов хищных китообразных семейства дельфиновых (белух и косатки) в вольере. Исследования показали, что интенсивность их звучания суще-

ственно варьирует в течение суток и имеет связь с событиями, которым соответствует определённое биологическое состояние и поведение животных (кормление, игра с тренером, работа с излучателями). Наибольшая акустическая активность предшествует кормлению дельфинов. Выявлены характерные признаки звуков китообразных. Как показали первые результаты, акустическая активность зубатых китов достаточно

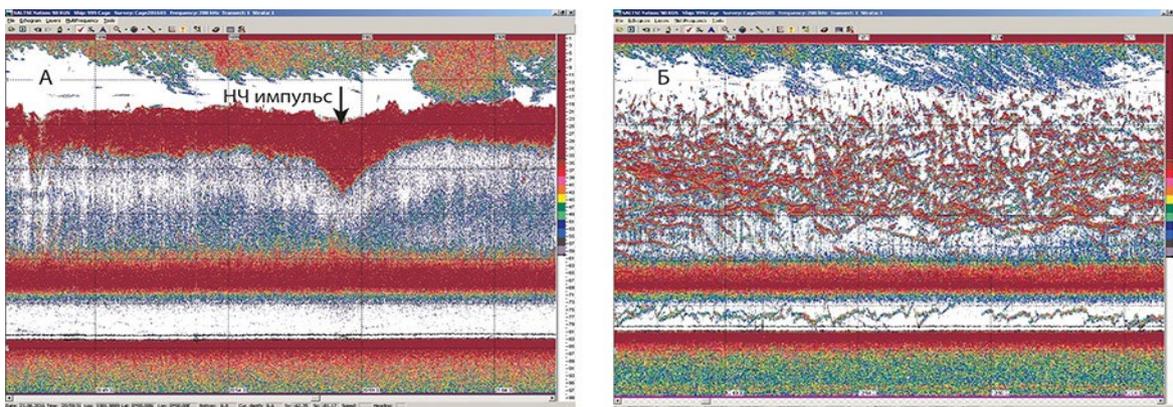


Рис. 4. Эхограммы, иллюстрирующие распределение анчоуса *Engraulis japonicus* в садке:
А — день; Б — ночь

стереотипна. Наиболее часто встречаются свистовые частотно-модулированные сиг-

налы и крики, содержащие основную частоту и гармоники (рис. 5). Встречаются сигнала-

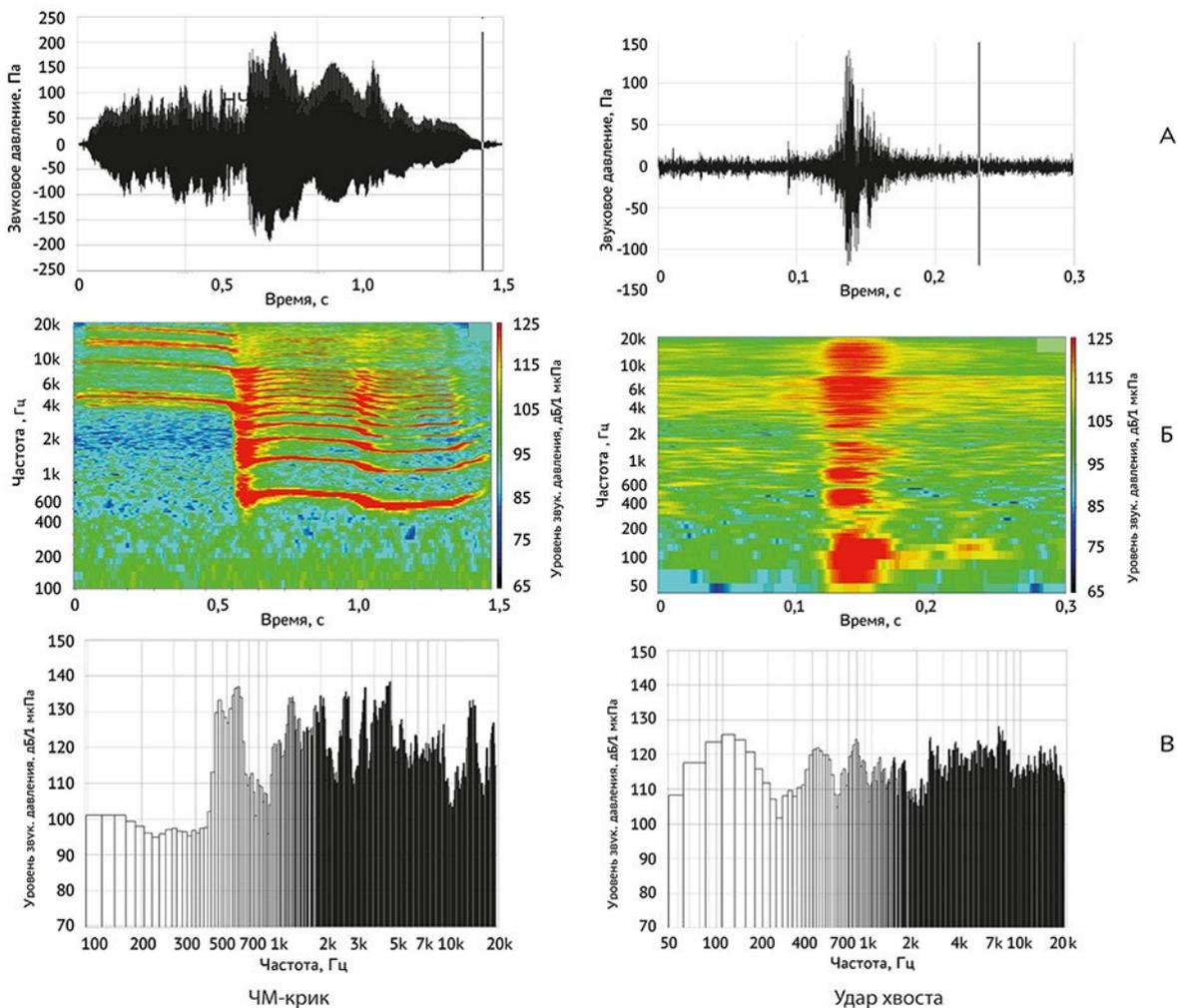


Рис. 5. Характеристики акустических сигналов косячки:

А — аналоговый вид (осциллограмма); Б — динамический спектр (сонограмма); В — усреднённый спектр (спектр несущих частот)

лы с более сложной спектрально-временной структурой и модуляцией. Дельфины и косатки во время поимки рыбы используют характерные импульсные частотно-модулированные свисты и низкочастотные крики, а также удары хвоста и завесу воздушных пузырьков, которые мы наблюдали и в вольере. Частотная и амплитудная модуляция сигнала, видимо, тоже являются стереотипами акустического поведения дельфинов, препятствующими адаптации объекта охоты в естественной среде.

Белухи чаще всего издают сигналы сериями, в которых можно услышать крики, свист, скрежет, лай и др. (рис. 6). Продолжительность серии составляет от 5 с до 1,5 мин. В течение серии характерна импульсная структура сигналов, с плавным нарастанием и экспоненциальным спадом амплитуды

в импульсах, и высокая вариабельность их длительности: от 0,05 с до 3 с.

В ходе экспериментов были получены первые обнадеживающие результаты по выявлению возможности использования источников биошумовых полей для воздействия на поведение белух и косаток. Предъявление дельфинам частотно-модулированных сигналов, излучаемых ими во время охоты на рыб, а также сигналов этих рыб, сопровождается их приближением к источнику звука и движениями поискового и эхолоцирующего характера. Это направление исследований посвящено поиску возможностей использования гидроакустических средств для разработки экологически безопасных технологий снижения потерь уловов на ярусном промысле при нападении косаток и отпугивания

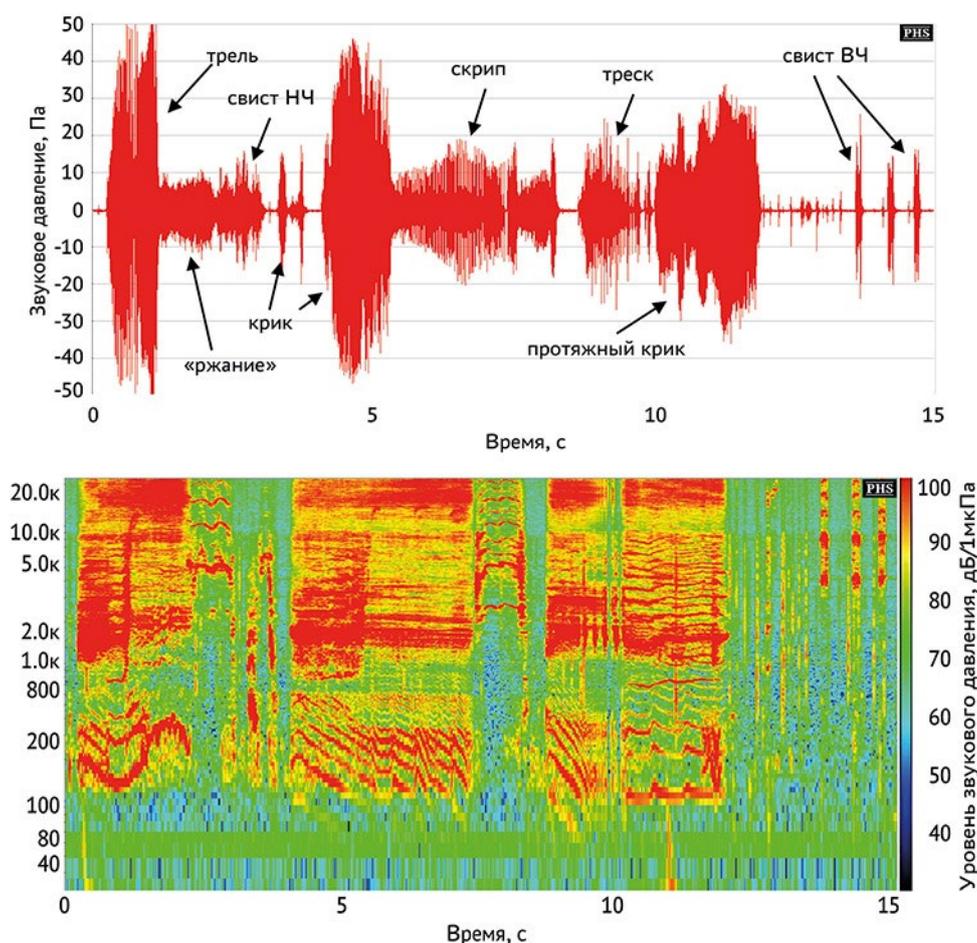


Рис. 6. Пример серии сигналов белух в вольере

ластоногих, в частности, тюленей ларга от ставных неводов и других орудий лова.

Второе направление работ на МНПМБТ связано с тестированием и измерениями характеристик сигналов разрабатываемых технических моделей и макетов гидроакустических излучателей для управления поведением беспозвоночных и рыб привлекающего и отпугивающего действия. В частности, контролируется временная структура, спектры и уровни излучаемых моделями акустических сигналов, которые должны поддерживаться для эффективного воздействия на гидробионтов [Кузнецов, Кузнецов, 2009]. На полигоне протестированы технические модели пневмоакустических излучателей, имитирующих биологические сигналы открытопузырных рыб (рис. 7 А). Характерными признаками сигналов имитаторов является их импульсная структура с экспоненциальным спадом амплитуды в импульсах, выраженные частотные составляющие в определённых зонах обобщённого спектра сигналов

рыб, амплитудная модуляция, а также зависимость распределения спектральной энергии от размеров (вида) рыб. Другой излучатель имитирует характерные низкочастотные частотно-модулированные крики дельфинов-косаток во время охоты на рыб и мощные импульсные сигналы взрывного характера (удары хвоста) в области низких и инфранизких частот (рис. 7 Б).

При разработке способов использования разрабатываемых акустических средств управления поведением рыб на промысле необходимо знать дистанции, на которых можно вызвать направленные перемещения гидробионтов. И это является третьим направлением работ, проводимых на МНПМБТ.

Целью данной работы является проведение экспериментов по оценке реакции рыб в садке на сигналы гидроакустических излучателей привлекающего и отпугивающего действия с использованием современных инструментальных методов и средств наблюдений. Результаты экспериментов по-

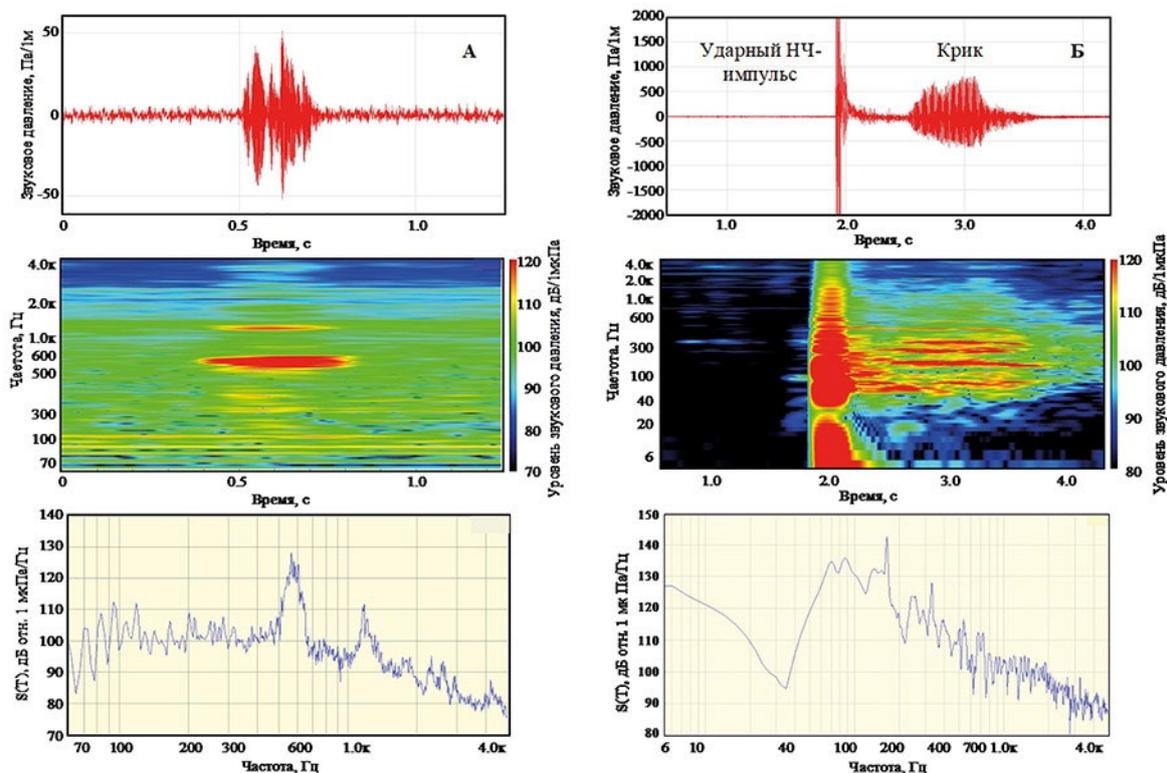


Рис. 7. Характеристики сигналов технических моделей излучателей:

А —имитатора звуков анчоуса; Б —имитатора звуков косатки

зволят оценить параметры звуковых полей и границы диапазона расстояний, на которых можно вызвать направленные перемещения рыб. При садковых исследованиях можно судить о поведенческой реакции и значимости акустического сигнала по нескольким параметрам. Могут оцениваться скорость и направление движения объекта, площадь, занимаемая косяком, и латентный период. Эти параметры дают возможность определить степень воздействия звуковых сигналов на гидробионтов, быстроту ответной реакции и время, после которого наступает адаптация объекта к сигналам, позволяют судить о качестве предъявляемого стимула (является ли он приманкой или угрозой для рыб).

Работы проводились в открытом плавучем вольере МНПМБТ (о. Русский)

в сентябре-октябре 2019 г. Для проведения экспериментов использовался садок размером 8×2,5×3 м, позволяющий свободное движение стаи рыб по отношению к излучателю, устанавливаемому за пределами садка на различных расстояниях (рис. 8).

Методической основой исследований являются непрерывные измерения плотности рыб в различных зонах садка во время предъявления акустического стимула и при фоновом их состоянии одновременно тремя гидроакустическими антеннами научного эхолота EK60 Simrad 70 кГц, 200 кГц и 333 кГц, разнесёнными равномерно по длине садка, и измерения уровней звукового давления предъявляемых сигналов с использованием гидрофонной измерительной системы (рис. 9). Действие стимулов оценивается на основе оборонительной реакции (избе-

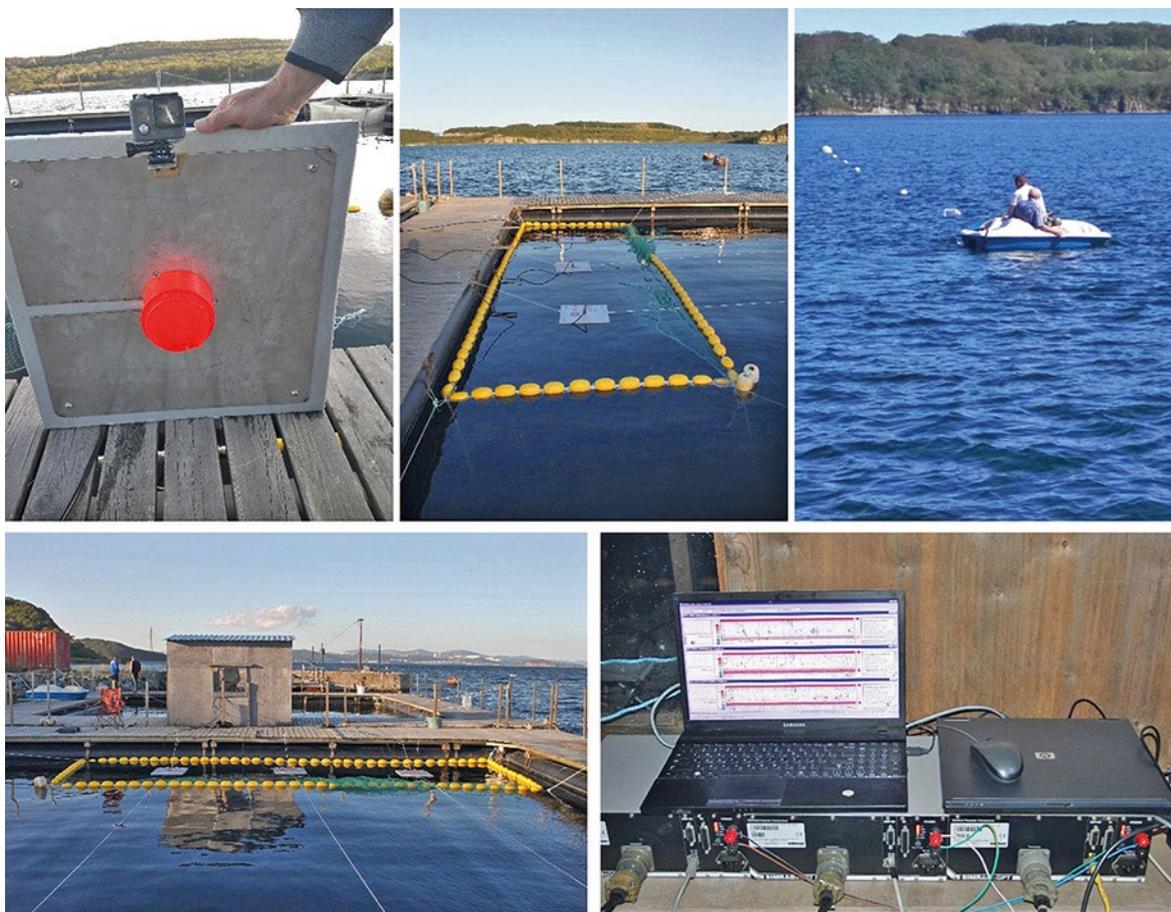


Рис. 8. Фрагменты подготовки и проведения экспериментальных работ на МНПМБТ

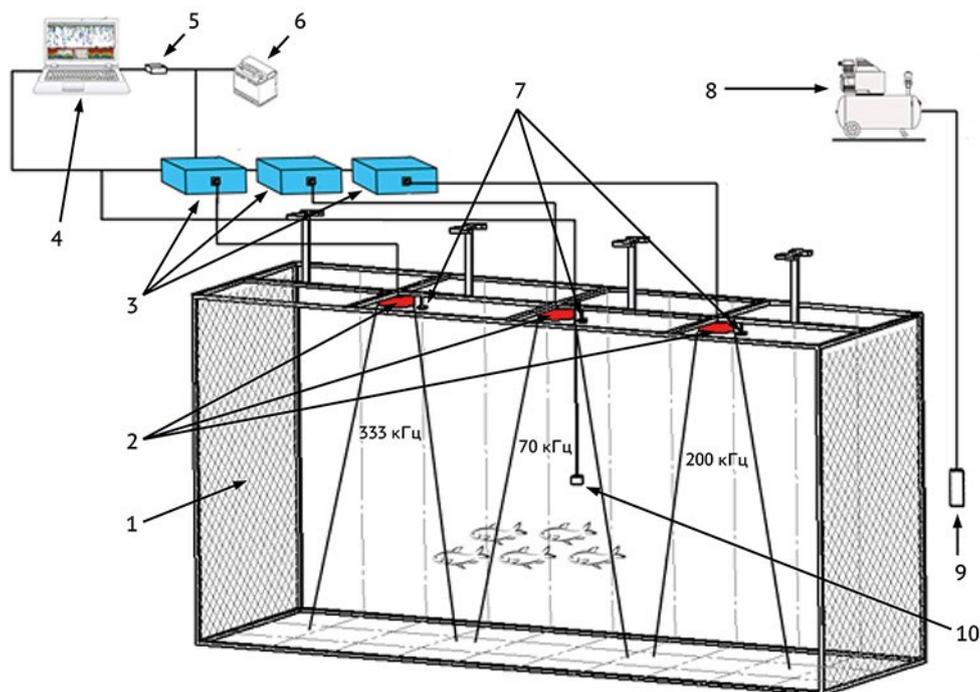


Рис. 9. Экспериментальная установка для оценки реакции рыб:

1 — садок, 2 — антенны эхолота, 3 — GPR-приемопередатчики, 4 — компьютер (ноутбук), 5 — адаптер питания, 6 — аккумулятор, 7 — экшн-камеры, 8 — компрессор, 9 — излучатель (ГИ), 10 — гидрофон

гание) на высокоамплитудные сигналы технических моделей гидроакустических излучателей (ГИ) —имитаторов звуков косатки или реакции приближения (привлечение) к акустическим излучателям —имитаторам звуков рыб.

Оценка реакции рыб производилась в режиме постпроцессорной обработки эхограмм по отношению плотности рыб при включении ГИ к её фоновому значению как коэффициент реакции (изменение плотности рыб относительно исходной). По этим данным затем оценивались изменения в распределении (смещение центра концентрации рыб в садке относительно излучателя) и пороговые уровни сигнала.

В результате проведённых экспериментальных исследований было установлено, что предъявление сигналов ГИ-имитатора звуков рыб сопровождалось увеличением подвижности косяка и перемещением части рыб из дальней в ближнюю к излучателю зону садка (рис. 10). Уровень излучения, при котором реакция рыб была максимальной, составлял 140 дБ/мкПа или 10 Па (рассто-

яние 40 м от источника) у скумбрии и 136 дБ/мкПа или около 6 Па (60 м от источника) у анчоуса. С дистанции более 60 м сила реакции постепенно снижалась, но плотность анчоуса в ближней зоне садка оставалась выше исходной на расстояниях 100 м и более (рис. 11).

Включение ГИ-имитатора звуков косатки вызывало увеличение скорости движения скумбрии, уплотнение рыб в группе и её локализацию в удалённых от излучателя зонах садка с дистанций более 100 м (рис. 12). С расстояний 50 м действие стимула вызвало заглубление группы. На расстояниях менее 30 м уменьшение плотности в ближних к излучателю зонах садка происходило лавинообразно. Как показали наблюдения, сумеречное поведение рыб характеризуется более высокой подвижностью и наличием бросковых движений. Границы диапазона дистанций реагирования и сила реакции привлечения и отпугивания рыб в свободном пространстве (вне садка) могут быть значительно выше и будут уточняться в ходе дальнейших исследований.

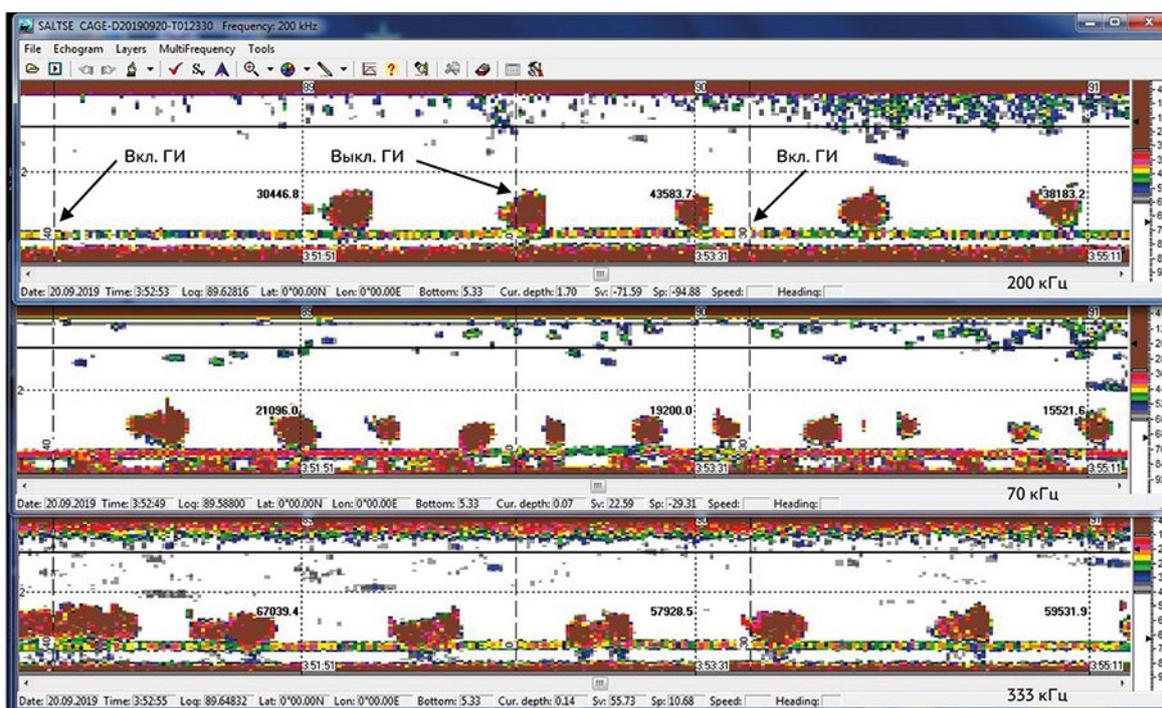


Рис. 10. Фрагменты эхограмм, иллюстрирующие положение косяка рыб в садке

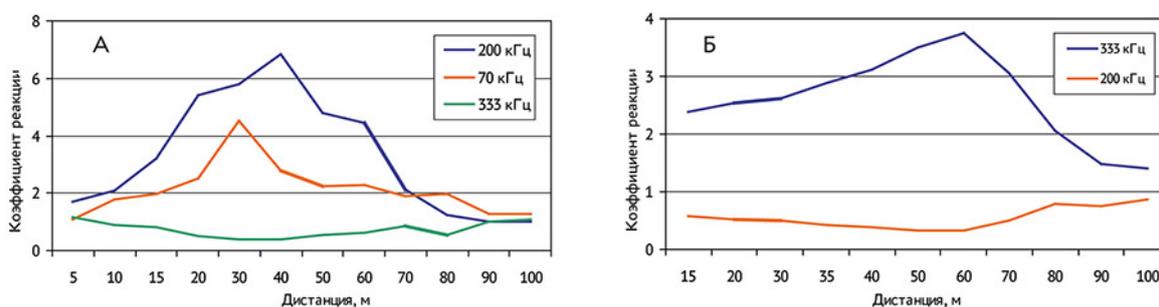


Рис. 11. Реакция рыб в садке на различных расстояниях от ГИ:
А —сумбрия; Б —анчоус

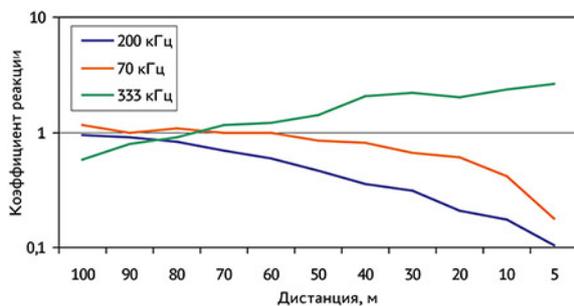


Рис. 12. Реакция сумбрии на сигналы ГИ-имитатора звуков косатки

Не менее важным направлением исследований на МНПМБТ являются работы, связанные с совершенствование методов оценки запасов рыб. Целью таких работ является повышение точности и достоверности оценки ВБР, доступных для рыбного промысла с использованием современных гидроакустических технологий.

Содержание работ:

- исследование гидроакустического шума судов и влияния антропогенного шума на поведение и распределение рыб и морских млекопитающих;

– исследования отражательных свойств (акустической силы цели) рыб, являющихся объектами ресурсных исследований и промысла;

– исследования и поиск зависимостей суточного вертикального распределения и миграций рыб от биотических и абиотических факторов, их сезонной изменчивости.

Отражательные свойства одиночных объектов и их скоплений количественно оцениваются акустическим сечением обратного рассеяния (σ) и силой цели (TS). Сила цели непосредственно влияет на точность оценки запаса гидроакустическим методом, поскольку зависимость TS от длины рыб (L) используется в алгоритме расчёта их численности.

На МНПМБТ отработаны различные методики измерения отражательных свойств рыб *ex situ* и способы их подвеса в живом виде для достижения дорсального аспекта облучения на примере особей морского окуня *Sebastes schlegelii* Hilgendorf, 1880 (рис. 13). Зависимости между TS и длиной рыб задаются уравнениями регрессии. Результаты измерений и эмпирические регрессионные кривые на частоте 200 кГц представлены на рис. 14.

Ещё один серьёзный задел для совершенствования бионических способов моделирования приёмов воздействия на гидробионтов, который может быть реализован на МНПМБТ в ближайшее время, — освоение методов электрофизиологии наряду с поведенческими. Они будут результативны-

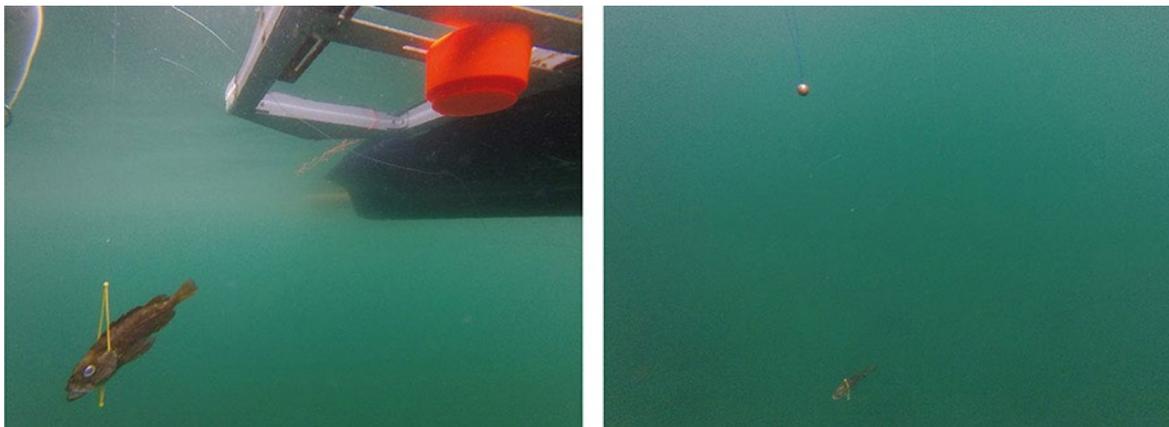


Рис. 13. Подвес рыб при измерении TS на МНПМБТ

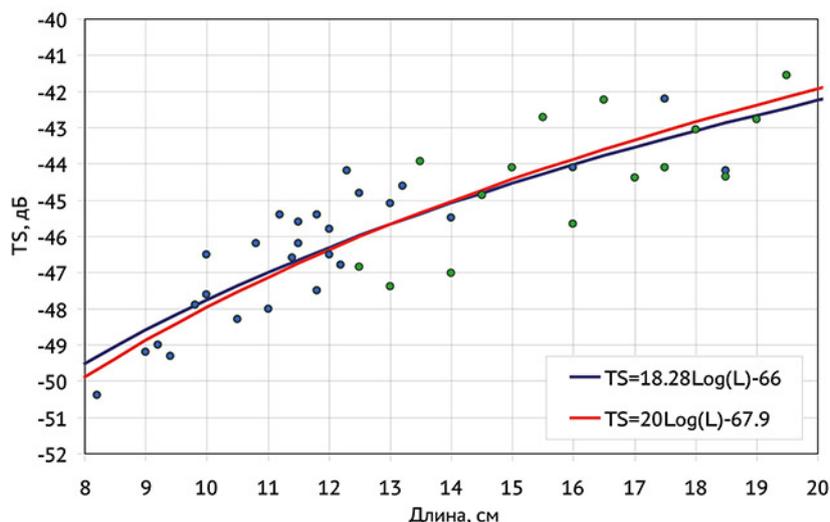


Рис. 14. Зависимости силы цели (TS) рыб *Sebastes schlegelii* от длины (длительность импульса 0,064 мс)

ми при оценках изменчивого состояния опытных животных в стрессовых ситуациях под воздействием моделируемых звуковых и других физических стимулов. Уже в предпроектных исследованиях на МН-ПМБТ апробирована методика регистрации акустоэнцефалограммы с головного мозга белухи, что позволяет планировать в экспериментах использование технологий неинвазивного съёма диагностической информации и мониторинга функционального состояния животного в условиях воздействия различных стимулов, не повреждающих опытных животных.

Изменение сердечного ритма (увеличение или сокращение), частоты дыхания, повышение тонуса или расслабление скелетных мышц, активация или торможение работы сфинктеров, участвующих в генерации звуков, вполне регистрируемы и значительно расширяют информационную базу в исследовании поведения гидробионтов. В теории стресса оценка состояния вегетативной нервной системы занимает одно из ключевых мест. Если данные реакции рассматривать в купе с гуморальной регуляцией, т. е. с участием гормонов и с учётом физиологического состояния объекта, на что сделан акцент в методологии бионического моделирования, то процесс взаимодействия гидробионта с внешней средой и с техникой лова приобретает биофизический смысл и содержание, которые не объяснить другими методами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты первых исследований, проведённых на межотраслевой основе, показали перспективу интеграции рыбохозяйственной, академической и вузовской науки в решении сложных биотехнических проблем рыбной отрасли. Модельные (контролируемые) эксперименты подтвердили, что на биологически значимые сигналы ответные реакции рыб соответствуют их содержанию. При этом остаются вопросы влияния на реактивность объектов физиологического состояния и факторов среды, определения критериев необходимой «чистоты» (или «качества») имитации биоаку-

стических сигналов (в какой степени звуки, имеющие сигнальное значение, могут отличаться от естественных по спектральным, временным или амплитудно-частотным характеристикам, не влияя на эффективность привлечения или отпугивания рыбы). Эти и другие работы на МНПМБТ позволят уточнить требования как к электронным, так и акустическим элементам устройств управления поведением рыб и более чётко определят их возможности. Результаты совместных исследований будут способствовать созданию эффективных средств и технологий дистанционного воздействия на поведение гидробионтов, в т. ч. интенсификации промысла тихоокеанского кальмара, сардины и скумбрии, снижения коммунсализма и щадящего отвода от орудий лова косаток и ластоногих, а также искусственной концентрации разреженных объектов мезопелагиали.

ЛИТЕРАТУРА

- Баранов Ф.И. 1960. Техника промышленного рыболовства. М.: Пищепромиздат. 696 с.
- Кузнецов М.Ю., Кузнецов Ю.А. 2009. Способ управления поведением рыб. Патент РФ № 2352111. БИ № 11.
- Кузнецов М.Ю., Кузнецов Ю.А. 2016. Гидроакустические методы и средства оценки запасов рыб и их промысла. Ч. 2. Методы и средства промысловой биогидроакустики // Известия ТИНРО. Т. 184. С. 264–294.
- Кузнецов Ю.А. 1975. Некоторые рекомендации для постановки исследований в области промысловой биоакустики (технические и биофизические задачи) // Промышленное рыболовство. Владивосток: ТИНРО. Вып. 5. С. 3–18.
- Кузнецов Ю.А. 1985. Системный принцип постановки биотехнических задач. Оптимизация техники и тактики промысла // Исследования по оптимизации рыболовства и совершенствованию орудий лова. М.: ВНИРО. С. 8–21.
- Кузнецов Ю.А., Кузнецов М.Ю. 2007. Обоснование и разработка методов и средств промысловой биоакустики. Владивосток: Дальрыбвтуз. 339 с.
- Мантейфель Б.П., Павлов Д.С., Ильичев В.Д., Баскин Л.М. 1980. Биологические основы управления поведением животных // Экологические основы управления поведением животных. М.: Наука. С. 5–24.
- Мельников В.Н. 1973. Биофизические основы промышленного рыболовства. М.: Пищевая промышленность. 392 с.

- Моисеев П.А.* 1989. Биологические ресурсы Мирового океана. М.: Агропромиздат. 368 с.
- Протасов В.Р.* 1978. Поведение рыб. М.: Пищевая промышленность. 295 с.
- Шишкова Е.В.* 1977. Физические основы гидроакустики. М.: Пищевая промышленность. 240 с.
- Шунтов В.П.* 2016. Биология Дальневосточных морей России. Т. 2. Владивосток: ТИНРО-Центр. 604 с.
- Popper A.N., Carlson T.J.* 1998. Application of sound and other stimuli to control fish behavior // Transactions of the American Fisheries Society. V. 127. P. 673–707.
- Popper A.N., Schilt C.R.* 2008. Hearing and Acoustic Behavior: Basic and Applied Considerations // Fish Bioacoustics. New York: Springer Science+Business Media. P. 17–48.
- Tavolga W.N.* 1964. Marine Bio-Acoustics // Proceedings of a Symposium held at the Lerner Marine Laboratory. Oxford–London–New York–Paris: Pergamon Press. 413 p.

*Поступила в редакцию 02.07.2020 г.
Принята после рецензии 03.08.2020 г.*

The results of the collaboration
of fisheries and academic scientists

**Experimental ground for interdisciplinary marine
biotechnology science as an effective solution tool
for existing problems in fishing industry**

A.A. Bajtalyuk¹, A.V. Adrianov², V.N. Akulin¹, I.V. Dyuzhen², M.Y. Kuznetsov¹, Y.A. Kuznetsov³

¹ Pacific Branch of FSBSI «VNIRO» («TINRO»), Vladivostok

² National Scientific Center of Marine Biology (FSBIS «NSCMB» FEB RAS), Vladivostok

³ Far Eastern State Technical Fisheries University (FSBEI HPE «FESTFU»), Vladivostok

In 2018, in the Scientific and Educational Complex “Primorsky Oceanarium” of the National Scientific Center for Marine Biology (NSCMB) FEB RAS, a Collective Use Center (CUC) was created with scientific equipment, coastal and near-shore infrastructure, unique facilities and biological materials. In its function, this Center is a unit for cooperation between fishery science and academic science in marine biotechnology (MBC). It was organized using principles of shared access of participants to marine areas, coastal research stations, biological and instrumental basis of Marine Mammals Research facility in “Primorsky Oceanarium” MBC structure in the form of CUC can be used in addressing a wide range of tasks in implementing knowledge intensive marine biotechnologies, upgrading bionic methods in the study of aquatic organisms, carrying out field studies and tests on hydroacoustic, electrical, fishing gear and other manipulators for moving behavior of aquatic organisms and their adaptation to fishing activity. The first MBC joint research results are shown. Those studies include research on acoustic and kinematic activity and characteristics of signals of marine mammals and fish, hydroacoustic emitters testing for controlling fish behavior, experimental studies on reflective properties of aquatic organisms, and influence of attracting and repelling hydroacoustic emitters on fish behavior in cages using modern instrumental control and observation tools.

Keywords: behavior of aquatic organisms, management, fishing, hydrobionics, aquarium, biotechnologies, experimental ground, fishing technologies, hydroacoustic equipment, remote influence, stock assessment.

DOI: 10.36038/2307-3497-2020-181-16-32

REFERENCES

- Baranov F.I.* 1960. Tekhnika promyshlennogo rybolovstva [Commercial fisheries engineering]. M.: Pishchepromizdat. 696 s.
- Kuznetsov M. Yu., Kuznetsov Yu.A.* 2009. Sposob upravleniya povedeniem ryb [Fish behavior manipulation method]. Patent RF № 2352111. Byul. № 11.
- Kuznetsov M. Yu., Kuznetsov Yu.A.* 2016. Gidroakusticheskie metody i sredstva otsenki zapasov ryb i ikh promysla. Ch. 2. Metody i sredstva promyslovoj biogidroakustiki [Hydroacoustic methods and tools for fish stock assessment and fishery maintenance Part 2. Methods and tools of fishery biohydroacoustics] // *Izvestiya TINRO*. T. 184. S. 264–294.
- Kuznetsov Yu.A.* 1975. Nekotorye rekomendatsii dlya postanovki issledovaniy v oblasti promyslovoj bioakustiki (tekhnicheskie i biofizicheskie zadachi) [Some recommendations for setting research in the field of commercial bioacoustics (technical and biophysical problems)] // *Promyshlennoe rybolovstvo*. Vladivostok: TINRO. Vyp. 5. S. 3–18.
- Kuznetsov Yu.A.* 1985. Sistemnyy printsip postanovki biotekhnicheskikh zadach. Optimizatsiya tekhniki i taktiki promysla [Systematic approach to planning of biotechnical tasks. Optimization of fishing techniques and tactics] // *Issledovaniya po*

- optimizatsii rybolovstva i sovershenstvovaniyu orudij lova. M.: VNIRO. S. 8–21.
- Kuznetsov Yu.A., Kuznetsov M. Yu. 2007. Obosnovanie i razrabotka metodov i sredstv promyslovoj bioakustiki [Argumentation and development of methods and approaches in fishery bioacoustics]. Vladivostok: Dal'rybvtuz. 339 s.
- Mantejfel' B.P., Pavlov D.S., Il'ichev V.D., Baskin L.M. 1980. Biologicheskie osnovy upravleniya povedeniem zhivotnykh [Biological fundamentals for regulating animal behavior] // *Ehkologicheskie osnovy upravleniya povedeniem zhivotnykh*. M.: Nauka. S. 5–24.
- Mel'nikov V.N. 1973. Biofizicheskie osnovy promyshlennogo rybolovstva [Biophysical fundamentals for Commercial fishery]. M.: Pishchevaya promyshlennost'. 392 s.
- Moiseev P.A. 1989. Biologicheskie resursy Mirovogo okeana [Biologic resources of the World Ocean]. M.: Agropromizdat. 368 s.
- Protasov V.R. 1978. Povedenie ryb [Fish behaviour]. M.: Pishchevaya promyshlennost'. 295 s.
- Shishkova E.V. 1977. Fizicheskie osnovy gidroakustiki [Physical fundamentals of hydroacoustics]. M.: Pishchevaya promyshlennost'. 240 s.
- Shuntov V.P. 2016. *Biologiya Dal'nevostochnykh morej Rossii* [Biology of the Russian Far East seas]. T. 2. Vladivostok: TINRO-TSentr. 604 s.
- Popper A.N., Carlson T.J. 1998. Application of sound and other stimuli to control fish behavior // *Transactions of the American Fisheries Society*. V. 127. P. 673–707.
- Popper A.N., Schilt C.R. 2008. *Hearing and Acoustic Behavior: Basic and Applied Considerations* // *Fish Bioacoustics*. New York: Springer Science+Business Media. P. 17–48.
- Tavolga W.N. 1964. *Marine Bio-Acoustics* // *Proceedings of a Symposium held at the Lerner Marine Laboratory*. Oxford–London–New York–Paris: Pergamon Press. 413 p.

FIGURE CAPTIONS

- Fig. 1.** The aggregate structure MNPMBT
- Fig. 2.** Placement of the EK60 sounder antenna in the charge
- Fig. 3.** Sonogram and graph of daily acoustic activity of the Japanese anchovy *Engraulis japonicus*
- Fig. 4.** Echograms illustrating the distribution of anchovy *Engraulis japonicus* in the cage: A is the day; B —night
- Fig. 5.** Characteristics of the killer whale acoustic signals: A —analog view (waveform); B —dynamic spectrum (sonogram); B —averaged spectrum (spectrum of carrier frequencies)
- Fig. 6.** An example of a series of beluga whales signals in an aviary
- Fig. 7.** Characteristics of signals of technical models of emitters: A —a simulator of anchovy sounds; B —simulator of killer whale sounds
- Fig. 8.** Fragments of the preparation and conduct of experimental work at MNPMBT
- Fig. 9.** An experimental setup for assessing the response of fish: 1 —a cage, 2 —an echo sounder antenna, 3 —a GPT transceiver, 4 —a computer (laptop), 5 —a power adapter, 6 —a battery, 7 —action cameras, 8 —a compressor, 9 —emitter (GI), 10 —hydrophone
- Fig. 10.** Fragments of echograms illustrating the position of the school of fish in the cage
- Fig. 11.** The reaction of fish in the cage at different distances from the GI: A —mackerel; B —anchovy
- Fig. 12.** The reaction of mackerel to signals GI —simulator of killer whale sounds
- Fig. 13.** Suspension of fish when measuring TS on MNPMBT
- Fig. 14.** Dependence of target strength (TS) of *Sebastes schlegeli* fish on length (pulse duration 0,064 ms)