

На правах рукописи

УДК 534.883:639.2.081.9

Поленюк Виталий Васильевич

БИОФИЗИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ
СРЕДСТВ УПРАВЛЕНИЯ ПОВЕДЕНИЕМ РЫБ

05.11.06 – Акустические приборы и системы
05.18.17 – Промышленное рыболовство

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Владивосток 2001

Работа выполнена в Дальневосточном государственном техническом рыбохозяйственном университете

Научные руководители: кандидат технических наук, старший научный сотрудник Кузнецов Ю.А.;

доктор технических наук, профессор Бахарев С.А.

Официальные оппоненты: ведущий научный сотрудник ТОВВМИ им. С.О. Макарова, член-корреспондент МАН, доктор технических наук, профессор Мироненко М.В.;


директор совместного предприятия «ТОКАЙ», кандидат технических наук Бойцов А.Н.

Ведущая организация: ТИНРО-центр

Защита диссертации состоится «29» ноября 2001 г. в 10 часов на заседании диссертационного совета Д 307.006.01 в Дальневосточном государственном техническом рыбохозяйственном университете по адресу: 690600, Владивосток, ул. Луговая, 52 корпус «Б».

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Дальневосточного государственного технического рыбохозяйственного университета

Автореферат разослан «29» октября 2001 г.

Ученый секретарь диссертационного совета, кандидат технических наук, профессор  М.А. Мизюркин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Современный этап развития рыболовства характеризуется активным поиском способов более рационального использования существующей сырьевой базы и ведения добычи рыбы с минимальными финансово-временными затратами. Принципиальные вопросы прибрежного промысла, селективного океанического лова массовых объектов и рационального регулирования промысловых нагрузок по видовой и размерной градациям требуют совершенствования технологий лова, основанных на приёмах дистанционного управления поведением рыб. Современная рыбохозяйственная наука накопила большое количество данных о поведении объектов лова, механизмах рецепции, ориентации и сигнализации рыб. Однако до настоящего времени нет достаточно надёжных и эффективных способов и средств управления поведением рыб с помощью акустических стимулов и их применение в промышленном рыболовстве крайне ограничено. Это связано, прежде всего, с тем, что недостаточно полно исследована акустическая активность промысловых видов рыб, особенно Дальневосточного региона. недостаточно точно определены и экспериментально обоснованы параметры акустических стимулов, перспективных для эффективного энергетического и информационного воздействия на рыб, а также пути технической реализации соответствующих акустических систем и способов их применения на промысле. Решению сформулированных выше проблем посвящена диссертационная работа.

Цели исследования: обоснование параметров акустических стимулов, эффективных для дистанционного воздействия на рыб, создание бионических моделей акустических излучателей, имитирующих биологические сигналы рыб и морских хищников, и разработка акустических (АИ) и пневмоакустических (ПИ) излучателей для управления поведением промысловых объектов Дальневосточного региона.

В соответствии с поставленными целями решались следующие задачи:

- анализ и обобщение результатов исследований по слуховым и ориентационным способностям рыб, структуре и механике звукообразования у них, а также поведенческой реакции рыб на различные акустические сигналы;
- исследование морфофункциональных особенностей восприятия рыбами смещений и акустических колебаний в выбранном диапазоне частот, установление связи спектрально-энергетических и временных характеристик сигналов объектов промысла с их мотивационным поведением;
- разработка методик проведения исследований, а также приборов для управления поведением рыб;
- экспериментальная оценка эффективности разработанных приборов на основе выбранных критериев и частных показателей;

• усовершенствование способов лова рыб с использованием разработанных приборов и выработка рекомендаций по их дальнейшему совершенствованию.

Методы исследования. Для достижения сформулированных ранее целей использовался системный принцип биоакустических исследований и бионического моделирования звукоизлучающих систем для управления поведением рыб, впервые предложенный в 1985 г. ведущим специалистом в этой области канд. техн. наук Кузнецовым Ю.А. Поставленные задачи решались с помощью проведения натурных измерений параметров акустических полей и гидрофизических характеристик морской среды под научным руководством профессора Дальрыбвтуза, д-ра техн. наук Бахарева С.А. Исследования выполнялись на рыбохозяйственном полигоне Дальрыбвтуза, специально организованном в шельфовой зоне Японского моря (бухта Северная залива Петра Великого) и биостанции ТИНРО -центра в Уссурийском заливе в разные сезоны года. Сравнение результатов измерений и оценка уловистости ставных орудий лова проводились с использованием и без применения разработанных приборов управления поведением рыб.

Достоверность результатов подтверждена: повторяемостью данных многократных экспериментов, качественным согласованием между результатами натурных исследований и численного моделирования, а также непротиворечивостью известным научным положениям и фактам. Применяемые измерительно-регистрационные средства прошли специальные калибровки и тестовые испытания.

Научная новизна диссертации заключается в расширении знаний об акустической сигнализации некоторых стайных промысловых рыб Дальневосточного региона и возможности дистанционного управления их поведением с помощью акустических стимулов, имитирующих биологические сигналы. Определены и экспериментально обоснованы параметры акустических стимулов, перспективных для информационного воздействия на рыб с целью увеличения их концентрации в стационарных орудиях лова, а также пути технической реализации соответствующих акустических систем и способов их применения на промысле. Получены новые данные об акустической активности и поведенческих характеристиках некоторых стайных промысловых рыб.

Практическая ценность работы. В результате биоакустических экспериментальных исследований и бионического моделирования звукопринимающих органов рыб разработаны акустические системы привлекающего действия, позволяющие эффективно решать проблему повышения уловистости орудий лова в интересах рационального природопользования и обеспечения экологической безопасности промысла. Материалы исследований послужили основой для разработки целой серии пневмоакустических излучателей, защищённых авторскими свидетельствами и патентами РФ на изобрете-

ния, а также использованных на кошельковом, траловом и ставном неводном лове пелагических рыб на Дальневосточном и Западном бассейнах РФ. Реализация акустических средств и рекомендаций по их использованию отражена в прилагаемых к диссертации актах внедрения.

Личный вклад автора. Автор участвовал в Государственной программе «Мировой океан - 071» (раздел «гидробионика»), проводимой в 70-80-х гг. группой специалистов ТИНРО и Дальрыбвтуза с многопрофильной ориентацией под научным руководством Кузнецова Ю.А. В работах, выполненных в соавторстве, автор принимал равноценное участие в постановке задач, в анализе и интерпретации результатов измерений и моделирования. Автору принадлежит организация экспериментальных исследований на рыбохозяйственном полигоне Дальрыбвтуза, получение основных результатов и их интерпретация. Основные макеты приборов, используемые для управления поведением рыб, разработаны и изготовлены лично автором.

Апробация работы и публикации. Результаты, изложенные в диссертации, докладывались на 2-й Дальневосточной акустической конференции «Человек и океан» (Владивосток, 1978), на научно-технической конференции во ВНИРО «Использование физических раздражителей в целях развития морского рыбного промысла» (Москва, 1982), Российской гидроакустической конференции, посвящённой 300-летию Российского флота (Владивосток, 1996), Международной научной конференции «Рыбохозяйственные исследования Мирового океана» (Владивосток, 1999). По теме диссертации опубликовано 16 работ, в том числе 10 статей, 2 доклада на научно-технических конференциях и 4 авторских свидетельства на изобретения.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Результаты исследований морфофункциональных особенностей восприятия рыбами - промысловыми объектами Дальневосточного региона - акустических колебаний в выбранном диапазоне частот.

2. Приборы для управления поведением рыб. Методика и результаты исследований.

3. Способы лова рыб с использованием разработанных приборов. Методика и результаты экспериментальных исследований.

4. Рекомендации для разработки технологии лова, основанной на методах дистанционного акустического воздействия на рыб - объектов промысла.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, 6 глав, заключения, списка используемой литературы и приложения. Её общий объём составляет 168 страниц, включая 61 рисунок, 9 таблиц и список литературы из 198 наименований. В приложение включены копии актов внедрения, авторских свидетельств, патентов на изобретения и технической документации.

КРАТКОЕ ИЗЛОЖЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обсуждается актуальность и практическая значимость научных задач, решению которых посвящена данная работа. Анализируются результаты работ отечественных и зарубежных специалистов по использованию звуковых сигналов в качестве привлекающего или отпугивающего стимула для рыб, а также по изучению поведения объектов промысла в зоне действия орудий лова. Обосновывается необходимость разработки селективных орудий лова и новых приёмов рыболовства и рыбоводства с применением акустических средств для управления поведением рыб на основе знаний о поведенческих реакциях объекта лова с точки зрения рационального использования ресурсов Мирового океана.

В первой главе приведены результаты исследований органов восприятия звуков рыб: показано строение, расположение и функциональные особенности таких звуковоспринимающих структур, как внутреннее ухо (представленное перепончатым лабиринтом, расположенным в слуховых капсулах задней части черепа и отвечающим за восприятие более высокочастотных сигналов), плавательный пузырь и боковая линия, «фасцириющая» звуковой диапазон в низкочастотную (НЧ) область и играющая основную роль в определении источника сигнала в ближнем поле. Представлены характеристики двух типов строения периферических отделов слуховой системы, включающих и исключающих плавательный пузырь; описаны три типа соединения последнего с внутренним ухом; показано, что рыбы, обладающие плавательным пузырьём, демонстрируют более развитую слуховую функцию по сравнению с беспузырными.

Автором, на основании результатов исследований, разработана эквивалентная схема системы генерации акустических сигналов и их регистрации рыбами (рис.1).

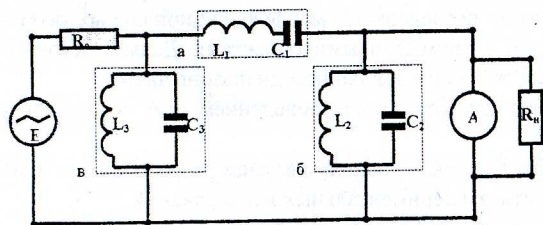


Рис.1 Эквивалентная схема взаимодействия внешних источников акустических сигналов с органами жизнеобеспечения рыб:

Е - источник сигналов (звука); а, б, в - биологические приёмники звуковых сигналов; $L_1 C_1$ - внутреннее ухо; $L_2 C_2$ - боковая линия; $L_3 C_3$ - плавательный пузырь; А - анализатор (продолговатый мозг); R_H - исполнительная система (органы движения, органы дыхания, органы кровообращения, органы внутренней секреции и др.); R_A - акустическое сопротивление среды

При этом источником раздражения рыб Е могут являться как сигналы, издаваемые другими биологическими объектами, судами, орудиями лова, так и средствами интенсификации лова (ПИ «Дельфин», «Сардина», «Сардина-2», «Лосось», «Корюшка» и др.). Звуковой сигнал, распространяющийся в воде, поступает на резонансные контуры $L_1 C_1$ (внутреннее ухо), $L_2 C_2$ (боковая линия), $L_3 C_3$ (плавательный пузырь). В зависимости от условий распространения сигналов (неоднородность водной среды, шумы моря и технические шумы, рельеф дна, расстояние от излучателя до биологического приёмника, и т.д.) их интенсивность снижается и составляет величину суммарных потерь на акустическом сопротивлении R_A . Сигналы от рецепторов по нервным волокнам поступают в анализирующий центр А (продолговатый мозг), который в зависимости от их сигнального значения посылает ответные команды на исполнительную систему R_H (органы движения, дыхания, кровообращения, внутренней секреции и т.д.)

Приведённая схема позволяет более корректно оценить процессы, происходящие в системе: «водная среда - орудие лова - объект промысла», а также приблизить параметры разработанных гидроакустических систем к реальным сигналам морских биологических объектов, концентрируемых в зоне действия орудий лова.

В главе представлены экспериментальные данные, показывающие ответственность различных морфофункциональных структур рыб за восприятие звуков в различных диапазонах частот. Методика эксперимента заключалась в оценке, по изменению электрокардиограммы (ЭКГ), реакции восточного морского окуня *Sebastes taczanowskii Steindachner (Scorpaenidae)* и восточной скумбрии *Scomber japonicus Houttuyn (Scombridae)*, «интактных» и с «отключённой боковой линией» на предъявляемые стимулы 150 Гц, 800 Гц и сигнал, издаваемый ПИ «Дельфин».

Полученные данные показывают, что реакция объектов с отключённой боковой линией значительно ослабевает на сигналы более низкого спектра частот по сравнению с реакцией интактных рыб, происходит облегчение восприятия рецепторами внутреннего уха высокочастотных (ВЧ) сигналов как тональных, так и входящих в состав сложного звука «Дельфин».

Установлено, что скорость восприятия звука у скумбрии значительно выше, чем у окуня, который лучше воспринимает НЧ сигналы. Предположительно это объясняется анатомическими особенностями внутреннего уха исследуемых объектов (рис.2), которые обусловлены различием их образа жизни, групповыми отношениями, контактированием с жертвами и хищниками.

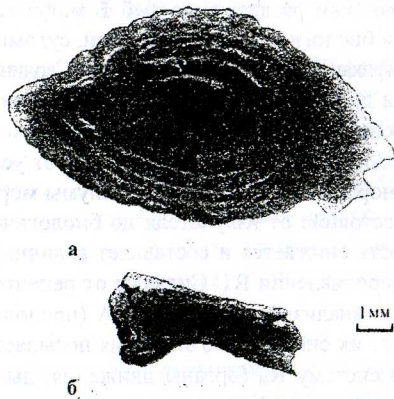


Рис.2 Отолиты некоторых видов дальневосточных рыб:
а - восточный морской окунь; б - восточная скумбрия

В главе показано, что при предъявлении акустического стимула для рыб (приманки или угрозы) может происходить изменение числа сокращений сердечной мышцы в единицу времени, причём, чем более значима информация угрозы, тем длительность замирания сердца больше. При этом существенным фактором при получении информации звуковых сигналов является латентный период, то есть временной интервал, необходимый объекту для ответной реакции. На рис. 3, для примера, представлена ЭКГ скумбрии, где стрелкой указано направление движения ленты самописца.

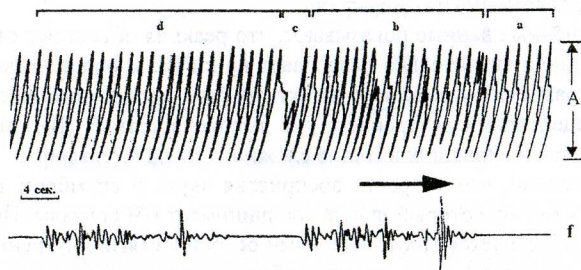


Рис.3 Электрокардиограмма скумбрии с хорошо выраженным замиранием сердца:

А - амплитуда сокращений сердечной мышцы; f - предъявляемый сигнал;
а - участок с фоновой регистрацией; б - получение объектом звуковой информации; с - замирание сердечной мышцы объекта; d - возбуждение объекта

Результаты эксперимента, проведённого на восточном морском ерше с целью изучения реакций рыб по ЭКГ и двигательной активности,

показали, что увеличение периода замирания сердца соответствует реакции «вздрагивания» туловищных мышц, что в поведенческом плане является оборонительной реакцией и отражает ситуацию тревоги.

Таким образом, данные, представленные в главе, показывают: существование корреляции между спектром воспринимаемых частот и особенностями строения звуковоспринимающих органов рыб, что в свою очередь обусловлено образом жизни изучаемых объектов; возможность передачи восприятия внешней обстановки от одного рецептора к другому, когда один из рецепторов попадает в неблагоприятные для получения информации условия.

Вторая глава посвящена определению пороговой чувствительности слуха семи видов дальневосточных промысловых рыб. Обоснование выбора данных видов рыб состоит в следующем: исследуемые виды должны быть промысловыми; представлять различные экологические группы; иметь морфологические и функциональные особенности органов восприятия звука; оставаться жизнеспособными при длительном содержании в аквариальных условиях. На основании полученных данных построены графики зависимости слуховых порогов от частоты (аудиограммы) для выбранных объектов (рис.4).

Как видно из рисунка, сельдь имеет практически одинаковую акустическую чувствительность (64-70 дБ) в диапазоне частот от 20 до 960 Гц. Аудиограмма тихоокеанской сардины похожа на аудиограмму сельди. Чувствительность сардины примерно одинакова в широком диапазоне частот от 20 до 1300 Гц.

Краснопёрка имеет почти одинаковую чувствительность в диапазоне частот от 20 до 1300 Гц. Максимальная чувствительность японской скумбрии отмечается в диапазоне частот от 200 до 960 Гц. У восточного морского окуня порог акустической чувствительности на частотах ниже 200 Гц превышает интегральный уровень шума всего на 2-5 дБ, а верхняя граница не превышает 300 Гц. У камбал диапазон воспринимаемых сигналов ограничивается сверху частотой 200 Гц. Порог акустической чувствительности южного однопёрого терпуга незначительно превышает интегральный уровень шума в диапазоне от 20 до 240 Гц. Выше этой частоты чувствительность резко уменьшается, а на частоте 300 Гц значение порога повышается до 75 дБ.

В главе показано, что количественные характеристики слуха рыб разных экологических групп создают благоприятную перспективу для выбора рабочего диапазона частот при разработке средств управления поведением рыб.

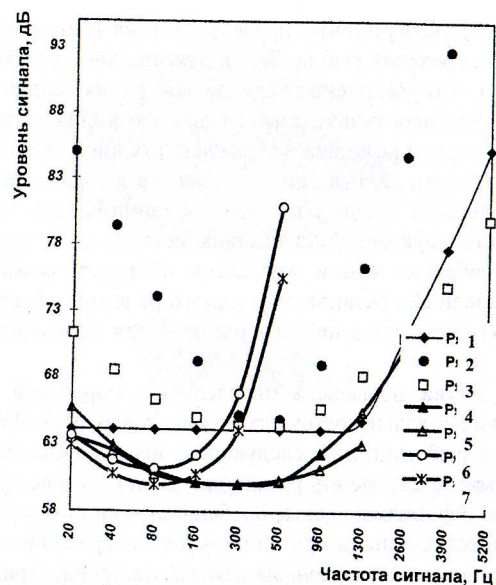


Рис.4 Аудиограммы некоторых видов дальневосточных промысловых рыб:
 1 - восточный морской ерш (*Sebastes taczanowskii steind*); 2 - японская скумбрия (*Scomber japonicus*); 3 - тихоокеанская сельдь (*Clupea harengus pallasi* (Val.);
 4- тихоокеанская сардина (*Sardinops sagax melanosticta*); 5- дальневосточная краснопёрка (*Leuciscus brandti* (dubouski)); 6- звёздчатая камбала (*Pleuroneetes stellatus*); 7- южный одноперый терпуг (*Pleurogrammus azonus*)

Третья глава посвящена определению значимости сигналов от различных источников, которые возбуждают объекты исследования и вызывают у них наибольшую активность. Для получения наиболее полной картины реактивности рыб на воздействие различных акустических сигналов была проведена серия экспериментальных работ. Методика проведения исследований заключалась в следующем. До предъявления и при предъявлении сигналов состояние объекта оценивалась по трём параметрам: снималась электрокардиограмма, характеризующая реакцию рыб по числу сокращений сердечной мышцы, измерялась скорость плавания и регистрировалось распределение особей в бассейне относительно источника звуков. Дно бассейна, в котором находился объект исследования, было разделено на прямоугольники 0,25 x 0,4 м, имеющие нумерацию от 0 до 9 вдоль бассейна и от 0 до 3 поперёк его. Над бассейном в укрытом месте располагался наблюдатель с кинокамерой, излучатели сигналов располагались за акустически прозрачным экраном из брезента в девятой или в нулевой зоне. Двигательная активность и распределе-

ние объекта исследований фиксировались на киноленту до предъявления акустического стимула и после подачи сигнала.

К примеру, результаты наблюдений за поведением скумбрии (японской морской) в ответ на предъявляемые акустические стимулы (предъявлялось 14 сигналов через прибор FC-12) показали, что объект исследований реагировал уходом от излучателя при предъявлении сигналов, которые отличаются от других низкочастотным наполнением основных максимумов в общем спектре.

Сравнительные эксперименты по выяснению действия различных акустических стимулов на поведение рыб проводились на группах тихоокеанской сардины.

В табл. 1 представлены результаты эксперимента, количественно характеризующие поведенческие ответные реакции тихоокеанской сардины на акустические стимулы.

Таблица 1

Поведенческие ответные реакции тихоокеанской сардины на акустические стимулы

Акустический стимул	V_c/V_ϕ					M_ϕ	M_c
	1	2	3	4	5		
Сигналы частотой 150 Гц	1,2	1,2	2,0	2,1	2,0	4,44	3,37
Сигналы частотой 800 Гц	4,5	4,5	3,7	3,5	4,0	3,73	4,7
Биосигналы дельфинов через FC-12	1,6	2,6	3,0	2,5	2,0	4,56	2,88
Сигналы излучателя «Дельфин» через FC-12	1,2	1,5	1,6	1,7	1,4	4,58	4,61
Сигналы пневмоизлучателя «Дельфин»	3,0	3,3	5,0	3,7	3,4	4,4	2,05

Реактивность тихоокеанской сардины оценивалась по отношению скорости перемещения объекта при предъявлении звукового стимула к фоновому значению скорости (V_c/V_ϕ), а также по изменению среднего распределения рыб по зонам бассейна в течение 1 минуты с момента предъявления сигнала (M_c) по сравнению с фоновым распределением рыб (M_ϕ). Источник акустических сигналов устанавливался в 9-й зоне.

Как видно из таблицы, наибольшая реакция ухода от источника звуковых стимулов наблюдается при действии ПИ «Дельфин». При этом значительно увеличивается и скорость перемещения объекта.

В табл. 2 представлены результаты эксперимента, характеризующие ответные реакции тихоокеанской сардины по ЭКГ на акустические стимулы.

Таблица 2
Ответные реакции тихоокеанской сардины по электрокардиограмме на акустические стимулы

Акустический стимул	Латентный период, с	Количество замираний сердца в 1 мин	
		во время стимула	после стимула
Сигналы частотой 150 Гц	5,7	2	3
Сигналы частотой 800 Гц	10,8	4	3
Биосигналы дельфинов через FC-12	8,7	6	8
Сигналы излучателя «Дельфин» через FC-12	15,8	5	8
Сигналы пневмоизлучателя «Дельфин»	4,2	8	7

Как видно из таблицы, наибольшие изменения ЭКГ также наблюдались при предъявлении сигналов от ПИ «Дельфин».

В главе, для примера, представлены результаты сравнительной оценки реактивности сельди в ответ на различные акустические раздражители. Следует заметить, что при предъявлении сигналов от излучателя звуков сельди (ИЗС), в отличие от сигналов ПИ «Дельфин», наблюдалось направленное перемещение сельди в зоны бассейна, приближённые к излучателю акустических сигналов.

Также показано, что наибольшая двигательная и вегетативная реакция рыб - объектов исследования - проявляется на предъявление сигналов, которые по своим спектрально-временным характеристикам аналогичны сигналам биологического происхождения, причём исследуемые объекты способны дифференцировать различные акустические сигналы по их значимости и проявлять соответствующую ответную реакцию.

Четвёртая глава посвящена определению влияния некоторых внешних и внутренних факторов различной природы (света, температуры воды, уровня приливов и отливов, времени приёма пищи, жирности) на реактивность рыб.

Эксперименты по изучению двигательной активности морского ерша *Sebastes taczanowskii* (Steindachner) в зависимости от времени суток в условиях постоянной освещённости при постоянной температуре и погодных условиях показали два периода двигательной активности - утренний и вечерний (рис. 5).



Рис.5 Распределение вероятности совершения плавательных движений у морского ерша *Sebastes taczanowskii* (Steindachner) в зависимости от времени суток

При экспериментах в море также отмечена различная реакция на предъявляемые акустические раздражители в вечернее и дневное время. На рис. 6 представлены электрокардиограммы, показывающие реакцию морского ерша *Sebastes taczanowskii* (Steindachner) на тональный сигнал 800 Гц в различное время суток.

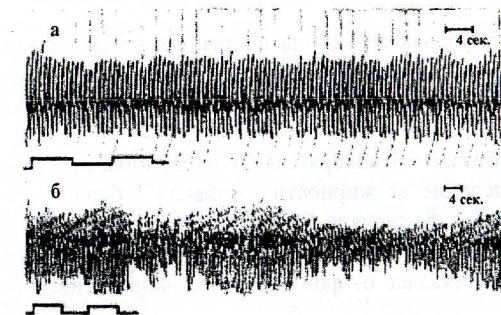


Рис. 6 Электрокардиограммы морского ерша *Sebastes taczanowskii* (Steindachner): а - в дневное время (11 ч); б - в вечерний пик активности (17 ч); — предьявление сигнала

Анализируя результаты, представленные на рис. 5 и рис. 6, можно сделать вывод о важности знания суточных ритмов в поведении рыб, что позволяет эффективнее применять акустические раздражители для управления поведением рыб на промысле.

В главе представлены результаты сравнительных экспериментов по оценке влияния жирности исследуемого объекта и температуры морской воды на его поведенческую реакцию. В качестве объекта использовалась осенняя нагульная сельдь, выловленная в заливе Петра Великого, жирностью 5 баллов по шкале Прозоровской.

Методика эксперимента описана в главе 3. На рис. 7 представлены гистограммы распределений осенней нагульной сельди относительно излучателя звуков дельфинов (ИЗД), расположенного в 0 -й зоне, при температуре морской воды 8 °С.

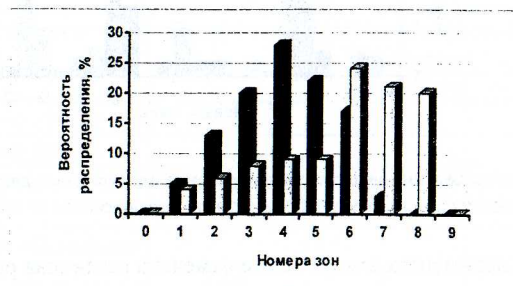


Рис. 7 Гистограммы распределений осенней нагульной сельди относительно излучателя ИЗД:

- - распределение сельди без предъявления сигнала;
- - распределение сельди при предъявлении сигнала

Осенняя нагульная сельдь была значительно пассивнее весенне-летней сельди, в то же время, как видно из рис. 7, при работе ИЗД осенняя нагульная сельдь воспринимала эти сигналы и «предпочитала» удалённые от излучателя зоны.

С 26 октября по 15 ноября сельдь выдерживалась в бассейне без подкормки. Определение её жирности составило 1 балл. Температура воды в бассейне 15 ноября составляла 4 °С. Предъявление стимула от ИЗД показало ещё меньшую активность сельди в зоне действия ИЗД, скорость перемещений почти не отличалась от фоновой, ярко направленной реакции не обнаружено.

В течение двух суток, с 15 по 17 ноября, произвели нагревание воды в бассейне на 10 °С, с 4 до 14 °С (0,208 °С в час).

На рис. 8 представлены гистограммы распределений осенней сельди (жирность 1 балл) относительно излучателя ИЗД при температуре морской воды 14 °С.

Сельдь чётко и мгновенно реагировала направленным движением от ИЗД. Всё скопление перемещалось в зону, удалённую от источника, например, 6 на рис. 8.

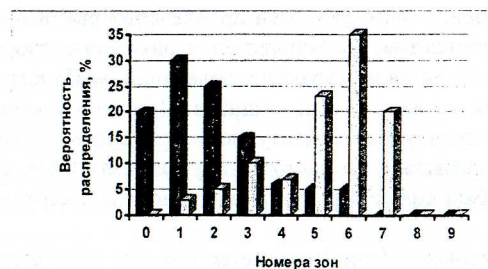


Рис. 8 Гистограммы распределений осенней сельди (жирность 1 балл) относительно излучателя ИЗД:

- - распределение сельди без предъявления сигнала;
- - распределение сельди при предъявлении сигнала

В главе показано, что физиологическое состояние объекта (жирность, половозрелость и др.), гидрофизические характеристики среды (температура морской воды, скорости течений и др.), ритмика (суточная, годовая и др.) активности в значительной мере влияют на поведенческие характеристики рыб. Данное обстоятельство необходимо учитывать при синтезе стимулов для эффективного управления поведением рыб, при реализации разработанных способов лова с использованием привлекающих акустических сигналов и технических устройств.

В пятой главе приведены классификационные характеристики сигналов рыб с позиций их биологической значимости. По происхождению сигналы рыб подразделены на две группы: излучаемые при помощи специальных органов (сигналы 1-го порядка) и возникающие произвольно, в ходе поведенческих реакций (сигналы 2-го порядка).

В главе разрабатываются способы повышения эффективности акустической стимуляции рыб в интересах увеличения их концентрации в зоне действия орудий лова. Эффект достигается за счёт согласования параметров акустического сигнала с пространственной линейной решёткой энергонесущих вихрей путём имитации гидродинамического шума движения пищевых объектов определённого вида (сигналы 2-го порядка), а также сигналов 1-го порядка.

Также приведены результаты параметров зондирующих сигналов и описана структурная схема устройства, реализующая разработанный способ создания искусственной концентрации рыб на заданной акватории.

В основу положено то обстоятельство, что рыбы для обнаружения объектов пищи используют тонально-модулированные сигналы, которые излучаются рыбами при их перемещении за счёт преобразования части кинетической энергии относительного движения в акустическое излучение. Другими

словами, повышение эффективности привлечения рыб в зону действия орудий лова достигается тем, что используется физическая способность морских биологических объектов по характеру колебаний, возбуждаемых ими в воде, определять наличие жертвы или хищника. При этом в качестве имитирующего сигнала используются амплитудно-модулированные колебания, где несущая частота равнялась бы частоте упругого излучения жидкости, деформируемой колебаниями тела рыб, а модуляционная частота - частоте колебаний тела.

Положительный эффект достигается тем, что зондирующий сигнал «согласуется» с пространственной линейной решёткой, состоящей из неоднородностей водной среды, шаг которой задаётся величиной $\alpha_i L_{0i}$, и с внутренним заполнением решётки энергонесущими вихрями с характерным размером l_i , определяемым как величина сопряжения с шагом решётки:

$$l_i = \frac{c_{\text{св}}}{\alpha_i \sqrt{2\pi F_{i1} F_{i2}}}, \quad (1)$$

где $c_{\text{св}}$ - скорость распространения внутренних волн в среде; α_i - безразмерная величина, характеризующая удалённость объекта от границы раздела «вода-воздух»; F_i - модуляционная составляющая зондирующего сигнала; i - классовый номер обнаруживаемого объекта.

Зондирующий сигнал - амплитудно-модулированный, частоты которого определяются по формулам:

$$f_{i1} = \frac{c_{zj}}{l_i}, \quad (2)$$

$$F_{i1} = \frac{v_{iz1}}{\alpha L_{0i}}, \quad (3)$$

$$F_{i2} = \frac{v_{iz2}}{L_{0i}}, \quad (4)$$

где f_i - несущая частота зондированного сигнала; c_{zj}, v_{iz1} - скорости звука и объекта на глубине движения; L_{0i} - длина объекта.

В главе раскрыт механизм звукоизлучения у некоторых дальневосточных объектов промысла (лососей и др.). Показано, что звуковые сигналы возникают при срабатывании в толщу воды струек газа за счёт сжатия стенок плавательного пузыря при вертикальных миграциях этих видов рыб. Данную систему следует рассматривать как струйный автогенератор звука, а расчёт резонансной частоты f_p плавательного пузыря производить по известной формуле:

$$f_p = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{3\gamma P_A + 4M \cdot \frac{3t}{a}}{\rho_A}}, \quad (5)$$

где P_A - давление окружающей среды; γ - отношение удельных теплоёмкостей газов, заполняющих пузырь; ρ_A - плотность среды; M - модуль сдвиговой упругости тканей, окружающих плавательный пузырь; t - толщина ткани плавательного пузыря; a - радиус сферического пузырька того же объёма, что у плавательного пузыря рыбы.

Показано, что значения резонансной частоты плавательного пузыря горбуши в зависимости от её размеров находятся в пределах от 220 до 280 Гц. Это хорошо согласуется с диапазоном частот, на котором наблюдается основная звуковая активность рыб. Два максимума в спектре частот сигналов сельди обусловлены влиянием плавательного пузыря (он служит своеобразным резонатором, усиливающим НЧ составляющие в области частот 300-600 Гц) и ostium genitale (максимум на частотах 800-1100 Гц).

Первый максимум в спектре частот сигналов горбуши (на частоте 260 Гц) и кеты (на частоте 110 Гц) также обусловлен участием плавательного пузыря в звукообразовании. Вторые максимумы в спектральных характеристиках (на частотах 970 и 600 Гц) соответственно для горбуши и кеты обусловлены формированием струй воздуха в момент их выброса в окружающее пространство.

В шестой главе представлены новые способы лова с использованием разработанных акустических излучателей («Сардина», «Сардина -2» и др.) для управления поведением рыб. Приведены основные характеристики стационарных орудий лова и средств марикультуры, снабжённых акустическими устройствами для концентрации рыб в зоне действия этих сооружений. Представлены методики и результаты полунатурных и натуральных исследований.

Для примера на рис. 9 представлен пневмоизлучатель «Сардина», который предназначен для повышения концентрации лососевых рыб в зоне действия орудий лова.

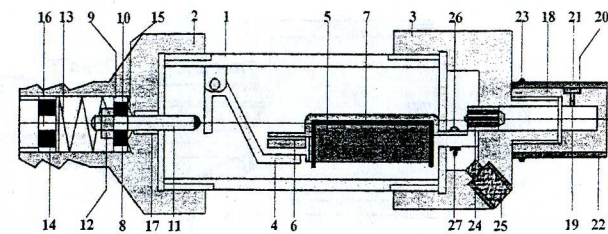


Рис. 9 Внешний вид пневмоизлучателя «Сардина»:

- 1 - цилиндр; 2 - штуцер; 3 - корпус; 4 - рычаг; 5 - электромагнит; 6 - сердечник;
- 7 - якорь; 8 - золотник; 9 - канал; 10 - втулка; 11 - шток; 12 - гайка;
- 13 - пружина; 14 - гайка; 15 - седло; 16 - отверстие; 17 - канал; 18 - насадка;
- 19 - канал; 20 - гнездо; 21 - шайба; 22 - манжета; 23 - хомут; 24 - клапан перепускной; 25 - отверстие; 26 - болт; 27 - гайка

Следует заметить, что стабильная работа излучателя обеспечивается при помощи электронной схемы управления.

На рис. 10 представлена спектрограмма звуков ПИ «Сардина».

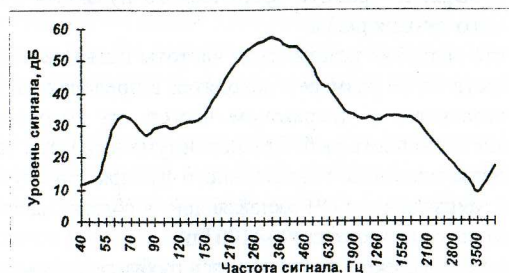


Рис.10 Спектрограмма звуков пневмоизлучателя «Сардина»

Как видно из рис.10, ПИ «Сардина» обеспечивает эффективное излучение акустических сигналов, привлекающих лососевых рыб к ставным неводным установкам в диапазоне частот их наибольшей акустической чувствительности (70 - 900 Гц). В дальнейшем, используя аналогичный принцип функционирования, был разработан более совершенный ПИ «Сардина-2».

На рис. 11 представлен пневмоизлучатель «Сардина-2». Отличия данного звукоизлучающего устройства заключаются в его способности работать в автономном режиме за счет энергии сжатого воздуха и возможности регулировать наклон переднего фронта сигнала за счёт резиновой камеры, обтягивающей цилиндр.

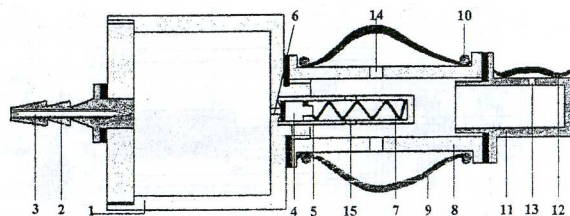


Рис.11 Внешний вид пневмоизлучателя «Сардина-2»:

- 1 - ресивер; 2 - игольчатый дроссель; 3 - штуцер; 4 - поршень; 5 - цилиндрический корпус; 6 - отверстие; 7 - пружина; 8 - цилиндр; 9 - резиновая камера; 10 - стяжные кольца; 11 - излучающая головка; 12 - резиновая манжета; 13, 14, 15 - радиальные отверстия

При создании пневмоизлучателей (ПИ) определялись зависимости акустического поля от изменения таких параметров, как давление сжатого воздуха в предварительной камере, диаметр срабатывающего отверстия в излучающей головке, относительное удлинение натяжения мембраны излучающей головки, площадь излучающей поверхности. Для того чтобы не происходило быстрой адаптации объекта промысла к сигналам, форма, интенсивность и длительность их излучения изменялись определённым образом.

На рис.12 представлен внешний вид АИ «Корюшка».

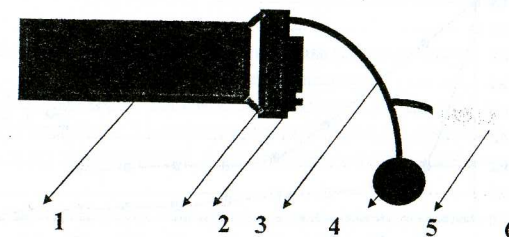


Рис.12 Акустический излучатель «Корюшка»:

- 1 - герметичный отсек для блока питания и электронного блока; 2 - крепление крышки герметичного отсека; 3 - переключатель режимов работы; 4 - сигнальный кабель; 5 - пьезокерамический излучатель; 6 - плавучесть

Для примера на рис. 13 представлена осциллограмма сигнала АИ «Корюшка», используемого для привлечения малоротой корюшки (*Hypomesus olidus* (PALL)) и молоди тихоокеанской сельди (*Clupea harengus pallasi* (Val.)).

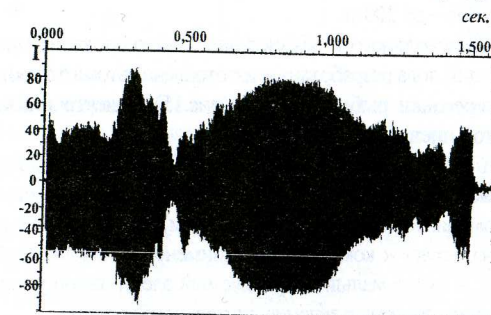


Рис. 13 Осциллограмма сигнала акустического излучателя «Корюшка»

Отличительные особенности АИ «Корюшка» заключаются в следующем: с помощью электронной схемы генерируются специальные сигналы, предотвращающие адаптацию объекта к сигналу в течение длительного ин-

тервала времени; во время работы АИ происходят периодические изменения интенсивности, формы и частоты сигнала.

На рис. 14 представлены графические зависимости уровней сигнала (в относительных единицах) АИ «Корюшка» от расстояния по двум трассам распространения сигналов, где пунктиром показан уровень акустических помех в районе проведения экспериментальных исследований (бухта Северная залива Славянка Японского моря).



Рис. 14 Графические зависимости уровней сигнала акустического излучателя «Корюшка» от расстояния:

- 1- трасса распространения акустического сигнала вдоль береговой черты;
- 2- трасса распространения акустического сигнала в направлении моря

Как видно из рис.14, наибольшие потери акустической энергии происходят на трассе распространения сигнала от АИ «Корюшка» вдоль береговой черты ~ до 400 м, а в направлении моря ~ до 200 м.

Для более рационального и эффективного использования пневмоизлучателей в зоне действия орудий лова разработана и изготовлена автоматизированная система для привлечения и перегонки рыбы к неводу (рис.15) с электронным устройством для управления работой пневмоизлучателей.

Особенность данной системы состоит в том, что она позволяет в ручном или автоматическом режиме управлять работой ПИ через пусковые пневмореле при относительно небольшом давлении (не более 1,5-2 атм) от магистрального трубопровода, подключённого на берегу к компрессору. Применение накопителей воздуха, его экономичный расход, а также малый потребляемый электронной установкой ток позволяют эксплуатировать систему в течение длительного времени.

Сравнительные испытания способов лова рыбы ставными неводами (при использовании излучателей и без них) показали, что средний вылов лососей за сутки работы невода, например с ПИ «Сардина», возрастал до 180%. Эксперименты проводились в заливе Корфа п-ова Камчатка.

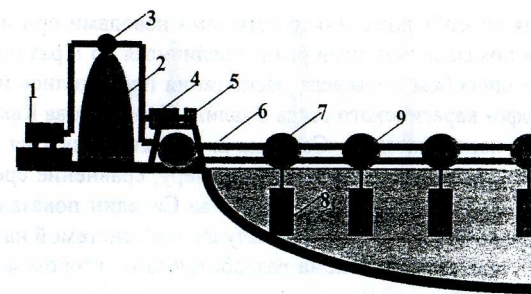


Рис.15 Автоматизированная система для привлечения и перегонки рыбы к неводу:

- 1 - компрессор высокого давления; 2 - накопитель воздуха; 3 - редуктор;
- 4 - электронный блок; 5 - аккумуляторная батарея; 6 - воздухопровод;
- 7 - специальное ответвление; 8 - пневмоизлучатели; 9 - пневмореле

Сравнительная оценка уловистости промысловых и контрольных сетей (при использовании излучателей и без них) проводилась на реке Вывенка п-ова Камчатка. На рис. 16 представлена схема проведения экспериментов.

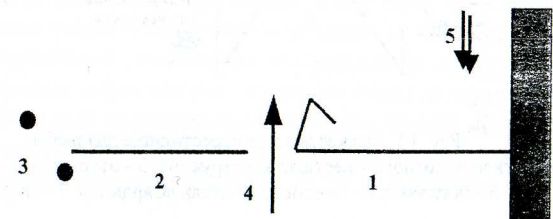


Рис.16 Схема проведения экспериментальных исследований:

- 1 - промысловая ставная сеть; 2 - контрольная ставная сеть; 3 - пневматические излучатели; 4 - направление течения реки; 5 - направление хода лососей;
- 6 - правый берег реки

Следует заметить, что во всех случаях промысловая сеть ставилась в месте традиционно высоких уловов. При этом, в случае отсутствия сигналов ПИ «Сардина» отношение уловов контрольной сети к промысловой составляло величину 1:20. При излучении сигналов уловистость контрольных сетей увеличилась ~ в 6 раз по сравнению с фоновыми результатами с одновременным уменьшением ~ в 4 раза уловистости промысловой сети, отношение уловов контрольной сети к промысловой составляло величину 6:5.

Испытания способа лова сельди ставными неводами при использовании ПИ «Сардина» показали, что улов рыбы увеличился до 8 раз по сравнению с традиционным способом промысла. Испытания проводились на лове весенней сельди корфо- карагинского стада в заливе Корфа п-ова Камчатка.

Модели звукоизлучателей «Сардина-2» испытывались на лососях Камчатки в морских и речных условиях. К примеру, сравнение среднесуточных уловов ставных неводов в заливе Анива о-ва Сахалин показало увеличение эффективности работы невода с пневмоизлучающей системой на 273%.

На рис. 17 представлена схема разработанного автором искусственного нерестилища для рыб.

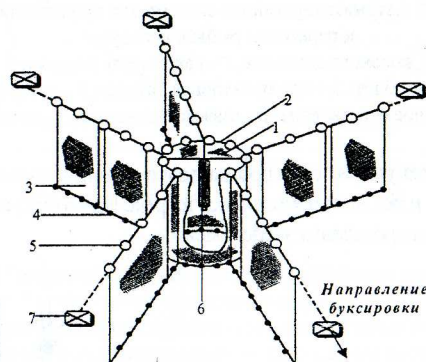


Рис. 17 Искусственное нерестилище для рыбы:
1 - сетное полотно; 2 - несущая конструкция; 3 - открылки; 4 - грузила;
5 - поплавки; 6 - пневмоизлучатель «Сардина»; 7 - якоря

Как видно из рис. 17, разработанное нерестилище имеет пять радиально расположенных открылков, обтянутых искусственным субстратом (капроновым сетным полотном), а внутри него устанавливается ПИ «Сардина». При реализации данного способа лова на небольшом участке акватории достигается создание оптимальных условий для нереста сельди. Применение нерестилища в гавани Сибирь залива Корфа п-ова Камчатка позволило сохранить промысловое стадо сельди.

Эксперименты по привлечению сельди к ставным сетям с помощью АИ «Корюшка» проводился в заливе Корфа п-ова Камчатка. На рис. 18 представлена схема взаимного расположения ставных сетей и акустических излучателей.

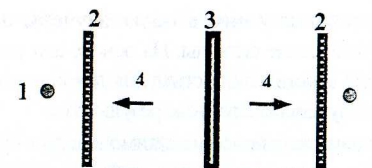


Рис. 18 Схема взаимного расположения ставных сетей и акустических излучателей:

1 - акустические излучатели «Корюшка»; 2 - промысловые ставные сети;
3 - контрольная сеть; 4 - направления движения сельди при работающих излучателях

Следует заметить, что расстояние между промысловыми ставными сетями составляло ~ 300 м, а между ними устанавливалась контрольная сеть. Расстояние от промысловой сети до АИ «Корюшка» составляло ~ 15 м. Результаты уловов на промысловых сетях показали, что движение сельди было направлено преимущественно в сторону акустических излучателей. При этом штучное заячеивание контрольной сети обнаруживалось с обеих её сторон.

Испытания по аналогичной методике проводились в бухте Северная залива Славянка Японского моря в 1998 г. Проведённые испытания показали высокую эффективность АИ «Корюшка» для повышения концентрации объектов промысла (корюшки, молоди сельди) в зоне действия ставных неводов. При этом средние показатели уловов увеличивались ~ в 2-3 раза, а в отдельных случаях максимальный улов превышал контрольный более чем на порядок.

В главе оценена эффективность новых способов лова рыб и излучателей звуков рыб (ПИ и АИ), разработанных на основе знаний морфофизиологических особенностей органов звуковосприятия и органов звукообразования рыб, а также выработаны рекомендации по их дальнейшему совершенствованию.

В заключении сформулированы основные результаты работы.

1. Проанализированы и обобщены результаты исследований по слуховым и ориентационным способностям рыб, структуре и механике звукообразования у них, а также исследованы поведенческие реакции рыб на различные акустические сигналы.

2. Исследованы морфофункциональные особенности восприятия рыбами смещений и акустических колебаний в заданном диапазоне частот, установлены связи спектрально-энергетических и временных характеристик сигналов объектов промысла с их мотивационным поведением.

3. На рыбохозяйственном полигоне, организованном в шельфовой зоне Японского моря (бухта Северная залива Петра Великого) и биостанции ТИПРО-центра в Уссурийском заливе проведены биоакустические исследования по слуховым и ориентационным способностям рыб, структуре и

механике звукообразования у них, а также изучены поведенческие реакции рыб на различные акустические сигналы. На основе анализа данных экспериментов разработаны параметры акустических стимулов для создания привлекающих звукоизлучающих систем, получены следующие результаты:

- представлена эквивалентная схема взаимодействия органов жизнеобеспечения рыб с внешними источниками акустических полей;
 - получены данные о качественно различном восприятии звуковых частот внутренним ухом и боковой линией восточного морского окуня и восточной скумбрии: показано, что при денервации боковой линии реакция объекта значительно ослабевает на сигналы более низкого спектра частот по сравнению с реакцией интактных рыб; высказано предположение о влиянии размеров отолитов на диапазон воспринимаемых частот;
 - исследованы характеристики пороговой чувствительности семи видов дальневосточных промысловых рыб в диапазоне от 20-5200 Гц;
 - определён спектр биологически значимых частот, вызывающих максимальную ответную реакцию у некоторых промысловых видов рыб залива Петра Великого;
 - исследовано влияние суточных временных факторов на реактивность восточного ерша, а также температуры воды и биологического состояния на реактивность тихоокеанской сельди;
 - определены спектральные характеристики звуковых сигналов и механизмы звукоизлучения у тихоокеанской сельди и лососевых. Выполнен расчёт резонансной частоты плавательного пузыря горбуши. Установлено сходство полученных расчётов с диапазоном частот, на котором наблюдается основная звуковая активность рыб.
4. Разработаны пневмоакустические («Сардина», «Сардина-2») и акустические («Корюшка») излучатели для управления поведением рыб.
5. Разработаны общие и частные методики проведения исследований в натуральных и полунатурных условиях.
6. Разработаны новые способы лова рыб с использованием пневмоакустических и акустических излучателей специальных сигналов.
7. Оценена эффективность разработанных приборов на основе выбранных критериев и частных показателей.
8. Разработаны рекомендации по дальнейшему совершенствованию акустических приборов и способов повышения концентрации объектов лова в зоне действия орудий лова и средств марикультуры, направленные на
- увеличение уловистости ставных сетей путём направленного гона или создания искусственной концентрации рыб в зоне действия обьёживающих орудий лова;
 - увеличение штормоустойчивости ставных неводов путём уменьшения их размеров и установки в удобных для промысла местах;
 - предотвращение гибели малька путём направления производителей на благоприятные нерестилища.

По теме диссертации опубликованы следующие работы :

1. Кузнецов Ю.А., Кунцова М.Я., Поленюк В.В. и др. Акустико-латеральная нервная система восточного морского окуня *Sebastes taczanowskii* и анализ ЭКГ при действии на боковую линию гидродинамического поля // Промышленное рыболовство. Владивосток: ТИНРО, 1977. Вып. 7. С. 61-70.
2. Кузнецов Ю.А., Кручинин О.Н., Поленюк В.В. и др. Исследования двигательных и вегетативных реакций сельди на акустические стимулы в условиях бассейна // Промышленное рыболовство. Владивосток: ТИНРО, 1978. Вып. 8. С. 81-91.
3. Кузнецов Ю.А., Поленюк В.В., Сорокин М.А. Поведение сельди и скумбрии при предъявлении акустических стимулов в бассейне: Тез. докл. 2-й Дальневосточной акустической конференции «Человек и океан». Ч.4. Владивосток: ДВГУ, 1978. С. 79-82.
4. Кузнецов Ю.А., Поленюк В.В., Сорокин М.А. Акустические средства исследования океана // Сб. ТООИ АН СССР. Владивосток, 1978. С. 79-82.
5. А. с. 948353 СССР. Искусственное нерестилище для рыбы / Кузнецов Ю.А., Поленюк В.В., Коновалов С.М. 1982.
6. Поленюк В.В., Кузнецов Ю.А., Ковыза Г.А. Применение физических раздражителей для сохранения запасов рыб: Тез. докл. науч.- техн. совещ. «Использование физических раздражителей в целях развития морского промысла». М.: ВНИРО, 1982. С. 31-33.
7. Поленюк В.В., Кузнецов Ю.А., Худенко Г.В. Физические раздражители в технике рыболовства: Науч. тр. ТИНРО. Владивосток, 1982. С. 38-44.
8. Поленюк В.В., Кузнецов Ю.А., Худенко Г.В. Поведение тихоокеанской сардины *Sardinops sagax melanosticta (Schlegel)* при действии различных звуковых сигналов в бассейне // Физические раздражители в технике рыболовства. Владивосток: ТИНРО, 1982. С. 38-45.
9. А. с. 1039376 СССР. Имитатор звуков рыб «Сардина» / Поленюк В.В., Кузнецов Ю.А. 1983.
10. Худенко Т.В., Кунцова М.Я., Поленюк В.В. Морфофункциональные особенности восприятия звука восточным морским окунем *Sebastes taczanowskii Steindachner (Scorpaenidae)* и восточной скумбрией *Scomber japonicus Houttuyn (Scombridae)* // Вопросы ихтиологии. Владивосток. 1983. Т. 23. Вып. 2. С. 16-20.
11. А. с. 1270918 СССР. Имитатор звуков рыб «Сардина-2» / Кузнецов Ю.А., Ковыза Г.А., Поленюк В.В. 1986.
12. А. с. 1449080 СССР. БИ № 1. Устройство для направленного перемещения рыбы в зону облова кошельковым неводом / Кручинин О.Н., Поленюк В.В., Кузнецов Ю.А. 1989.

13. Бахарев С.А., Кузнецов Ю.А., Поленюк В.В. О возможности поиска скоплений беспозвоночных по их шумовым полям // Науч. тр. Дальрыбвтуза. Владивосток, 2000. Вып. 13. С.16-21.

14. Бахарев С.А., Поленюк В.В., Пуленец М.Л. Способ повышения эффективности промысла морских биологических объектов // Науч. тр. Дальрыбвтуза. Владивосток, 2000. Вып. 13. С. 21-25.

15. Поленюк В.В. Влияние звуковых сигналов, генерируемых излучателем «Корюшка», на поведение рыб в бухте Северной // Науч. тр. Дальрыбвтуза. Владивосток, 2000. Вып. 13. С. 32-34.

16. Поленюк В.В., Кузнецов Ю.А., Сорокин М.А. Слуховые способности рыб и возможность использования акустических сигналов для управления их поведением на промысле // Науч. тр. ДВГТУ. Владивосток, 2001. Вып. 128. С. 34-43.

Поленюк Виталий Васильевич

И

Вр. хр.

АНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ
ПОВЕДИЕНИЕМ РЫБ

Поленюк В.В.

Биофизическ

обоснован. акустическ

средств управ. поведен.

Автореферат

2001

Печать офсетная.

0 экз.

технического