

Гидроакустические технологии дистанционного управления поведением рыб и щадящего отвода морских млекопитающих от орудий лова

EDN XPDINI, DOI: 10.37663/0131-6184-2023-4-

Кузнецов Михаил Юрьевич – кандидат технических наук, заведующий лабораторией промысловой гидроакустики, технологий лова и технических средств аквакультуры, @mikhail.kuznetsov@tinro.ru, Владивосток, Россия;

Научная статья
УДК 639.2.081.7

Поляничко Владимир Ильич – заведующий сектором промысловой гидроакустики лаборатории промысловой гидроакустики, технологий лова и технических средств аквакультуры, @vladimir.polyanichko@tinro.ru, Владивосток, Россия;

Шевцов Василий Игнатьевич – ведущий специалист сектора промысловой гидроакустики лаборатории промысловой гидроакустики, технологий лова и технических средств аквакультуры, @vasiliy.shevtsov@tinro.ru, Владивосток, Россия –

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

Адрес: 690091, г. Владивосток, переулок Шевченко, дом 4

Аннотация.

Представлены результаты разработки гидроакустических устройств для направления и удержания рыб в процессе их промысла и отпугивания ластоногих от орудий лова. Устройства позволяют генерировать под водой звуковые сигналы, имитирующие биологические сигналы хищных китообразных. Показаны характеристики излучаемых ими звуков и способы их применения для повышения эффективности лова. Приводятся результаты экспериментальных исследований по оценке реакции рыб и ластоногих на сигналы гидроакустических излучателей – имитаторов звуков дельфинов-косаток.

Ключевые слова:

рыбы, ластоногие, управление поведением, косатка, гидроакустические сигналы, имитатор звуков, реакция избегания, орудие лова, эффективность промысла

Для цитирования:

Кузнецов М.Ю., Поляничко В.И., Шевцов В.И. Гидроакустические технологии дистанционного управления поведением рыб и щадящего отвода морских млекопитающих от орудий лова // Рыбное хозяйство. 2023. № 4. С. EDN XPDINI, DOI: 10.37663/0131-6184-2023-4-

HYDROACOUSTIC TECHNOLOGIES FOR REMOTE CONTROL OF FISH BEHAVIOR AND GENTLE REMOVAL OF MARINE MAMMALS FROM FISHING GEAR

Mikhail Yu. Kuznetsov – Candidate of Technical Sciences, Head of the Laboratory of Commercial Hydroacoustics, fishing Technologies and technical means of Aquaculture, @ mikhail.kuznetsov@tinro.ru, Vladivostok, Russia;

Vladimir I. Polyanichko – Head of the sector of commercial hydroacoustics of the Laboratory of commercial hydroacoustics, fishing technologies and technical means of aquaculture, @ vladimir.polyanichko@tinro.ru, Vladivostok, Russia;

Vasily I. Shevtsov – leading specialist of the field hydroacoustics sector of the Laboratory of field hydroacoustics, fishing technologies and aquaculture equipment, @ vasily.shevtsov@tinro.ru, Vladivostok, Russia –

Pacific Branch of VNIRO (TINRO), Vladivostok, Russia
Address: 4 Shevchenko Lane, Vladivostok, 690091

Annotation. The results of the development of hydroacoustic devices for the direction and retention of fish during their fishing and scaring of pinnipeds from fishing gear are presented. The devices allow generating underwater sounds that simulating the biological signals of predatory cetaceans. The characteristics of the sounds emitted and the methods of their application to increase the efficiency of fishing is shown. The results of experimental studies of the assessment of fish and pinnipeds reaction to the signals of hydroacoustic emitters - imitators of killer whales sounds are overviewed.

Keywords:

fish, pinnipeds, behavior management, killer whale, hydroacoustic signals, sound simulator, avoidance reaction, fishing gear, fishing efficiency

For citation:

Kuznetsov M.Yu., Polyanichko V.I., Shevtsov V.I. Hydroacoustic technologies for remote control of fish behavior and gentle removal of marine mammals from fishing gear // Fisheries. 2023. No. 4. Pp. EDN XPDINI, DOI: 10.37663/0131-6184-2023-4-

Одним из основных каналов связи и ориентации позвоночных животных, обитающих в водной среде, является звуковой канал. Акустические волны в воде распространяются гораздо быстрее, а затухают намного слабее, чем в воздухе, что создает благоприятные условия для дальнейшей сигнализации и связи гидробионтов (особенно на низких частотах). Видимо поэтому большинство видов рыб и морских млекопитающих обладают развитой системой слуховой рецепции, позволяющей им воспринимать, излучаемые ими и другими животными, звуки и определять направление на их источник в широкой полосе частот [1; 2]. Многие звуковые сигналы у рыб являются средством сигнализации между особями, вызывающими в процессе жизнедеятельности адекватные двигательные реакции (например, запускают процессы стаеобразования и нерестовых миграций, пищевого поведения и др.). Другие каналы связи и соответствующие им физические поля (световые и электрические) имеют в воде гораздо меньшие дистантные возможности и служат, в основном, для ближней ориентации гидробионтов [3].

Уникальными свойствами распространения звуков в воде и наличием органов акустической рецепции и звукогенерации у рыб, в процессе эволюции, научились успешно пользоваться многие, питающиеся ими, морские хищники. Наиболее приспособленными из них являются малые зубатые киты – дельфины и косатки. Эти млекопитающие обладают совершенным звукоформирующим и слуховым аппаратом, позволяющим им генерировать и воспринимать в воде звуковые и ультразвуковые сигналы от десятков герц до сотен килогерц. Разнообразие формы и структуры акустических сигналов хищных

китообразных свидетельствует об их физиологической пластичности, связанной с необходимостью пространственной ориентации и добывания пищи при любых состояниях внешней среды [4]. В условиях низкого шумового фона для поиска рыб дельфины активно используют возможности шумопеленгации (пассивной локализации) скоплений по излучаемым ими звукам. В более сложной окружающей обстановке для обнаружения рыбных косяков и определения расстояния до цели – высокочастотную эхолокацию. Изучение и моделирование механизмов поведения и ориентации китообразных является одним из основных направлений гидробионики [5]. В наших исследованиях акустическое поведение малых зубатых китов рассматривается, прежде всего, с точки зрения использования сигналов дельфинов и косаток для управления поведением других морских животных, учитывая высокую эффективность их охоты [6].

Косатки *Orcinus orca* (Linnaeus, 1758) – морские млекопитающие семейства дельфиновых отряда китообразных, подотряда зубатых китов (в зарубежной литературе *killer whales* – киты убийцы). Дельфины-косатки – основной хищник для многих видов морских млекопитающих и рыб. Типовой набор, издаваемых косатками, звуков включает эхолокационные щелчки, тональные и импульсно-тональные сигналы (разнообразные свисты и крики), используемые для внутривидовой коммуникации [7; 8]. Однако в контакте с рыбой акустическое поведение косаток и других дельфинов более динамично и допускает использование дополнительных звуковых манипуляторов (рис. 1). Когда дельфины или косатки окружают скопление (обычно это групповой метод охоты), для на-

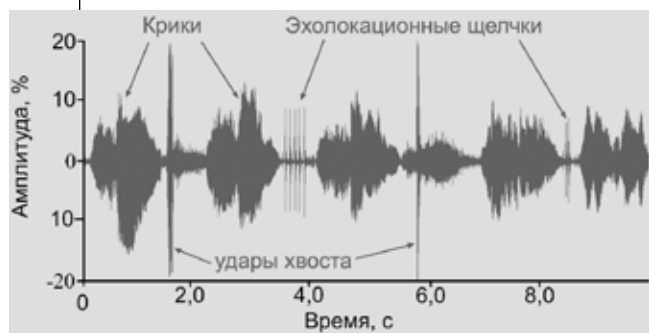


Рисунок 1. Осциллограмма (амплитудно-временная характеристика) сигналов дельфинов-косаток во время охоты на рыб

Figure 1. Oscillogram (amplitude-time characteristic) of killer whale signals while hunting for fish

правления и удержания рыб в ограниченном пространстве, они издают низкочастотные частотно-модулированные крики, которые характеризуются значительной продолжительностью ($3,0 \pm 1,1$ с) и высокой интенсивностью ($179-192$ дБ/1мкПа/1 м) [9; 2]. Для концентрации и удержания добычи в компактных косяках вблизи поверхности дельфины используют воздушно-пузырьковую завесу, а в близком контакте дезориентируют рыб ударами хвоста, вызывающими эффекты кавитации и создающими импульсы высокой интенсивности ($186 \pm 5,4$ дБ/1мкПа/1 м) [10]. В процессе охоты дельфинов-косаток на глубоко залегающую атлантическую сельдь, эти хищники поднимают десятки тонн рыбы к поверхности, где тактические возможности китов значительно выше. Для этого группа дельфинов-косаток погружается на глубину более 100 м и отделяет часть, лежащего у дна, плотного слоя сельди. Отделенную часть рыб косатки, скоординированными действиями группы, направляют в верхние горизонты, где, создавая плотные и компактные агрегации, успешно ими питаются [11]. Чтобы в темноте заставить такое количество рыб подняться на поверхность, эти китообразные также используют дистанционные акустические манипуляторы.

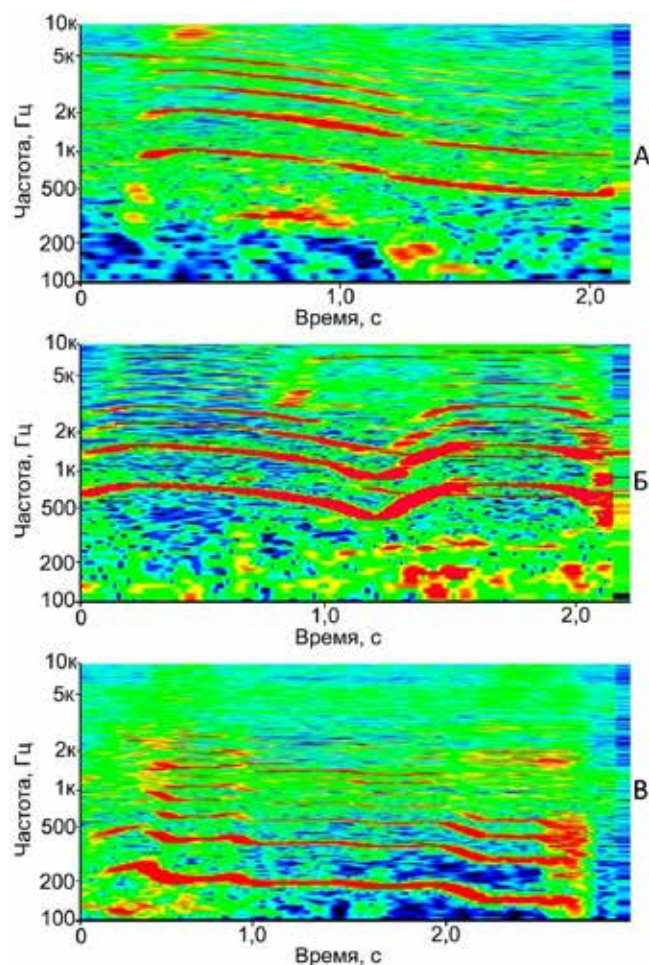


Рисунок 2. Характеристики сигналов дельфинов во время охоты на рыб: А – скумбрия (*Scomber*); Б – сельдь (*Clupea*); В – лососи (*Salmonidae*)

Figure 2. Characteristics of dolphin signals while hunting for fish: А – mackerel (*Scomber*); Б – herring (*Clupea*); В – salmon (*Salmonidae*)

Более того, косатки, как и другие, более мелкие дельфины, на завершающей стадии охоты адаптируют свое акустическое поведение в соответствии со слуховыми способностями рыб – объекта добычи (поимки). Иначе говоря, перенастраивают частотный диапазон излучаемых сигналов в область оптимального слухового восприятия именно того вида рыб, который является объектом их охоты. Характерные сигналы дельфинов во время охоты на рыб представлены на рисунке 2. Например, при нападении дельфинов-белобочек на скопления скумбрии (диапазон слуха 63-2800 Гц, максимальная чувствительность 200-900 Гц) были зарегистрированы свистовые сигналы с изменяющейся основной частотой 500-1000 Гц и шумами ниже 500 Гц. Во время охоты дельфинов-белух на лососей (диапазон слуха 30-380 Гц, максимальная чувствительность 100-200 Гц) доминируют частотно-модулированные крики с частотой основного тона в диапазоне 100-300 Гц. Процесс кормления дельфинов-косаток сельдью (диапазон максимальной чувствительности 100-1000 Гц) сопровождается звуковыми сигналами, которые также характеризуются нетипично низкой для внутривидовой коммуникации частотой 683 ± 131 Гц [9].

Известно, что диапазон слуховой чувствительности дельфинов-косаток составляет 2-80 кГц [12]. На частотах ниже 2 кГц слуховые пороги косаток быстро растут, поэтому, описанные выше, звуковые сигналы явно не подходят для их коммуникации. С другой стороны, основная частота этих сигналов находится в диапазоне максимальной слуховой чувствительности рыб – объектов их питания [6]. Это означает, что рыбы способны отчетливо воспринимать такие низкочастотные сигналы. Их излучение в момент охоты направлено именно на концентрацию и удержание рыб в плотном состоянии. Высокая плотность рыб, видимо, увеличивает эффективность, следующих за этими сигналами, ударов хвоста косатки [10]. Эти выводы

подтверждают данные исследований эхолокации дельфинов, согласно которым в «экстремальных» акустических условиях эти животные активно используют адаптивные возможности своего гидролокатора, что выражается в подстройке излучения под конкретную решаемую ими задачу [4].

Таким образом, предыдущими исследованиями показано, что в процессе охоты на рыб китообразные генерируют под водой тональные и импульсно-тональные частотно-модулированные сигналы, и низкочастотные шумы в диапазоне частот, адаптированном к слуховой системе гидробионта – объекта нападения. Эти сигналы являются очень эффективным инструментом охоты зубатых китов, который они используют для дистанционного управления движением, концентрации и удержания добычи. При этом, акустическая активность хищных китообразных во время охоты достаточно стереотипна. Дельфины и косатки используют характерные крики и свисты, а также удары хвоста и завесу воздушных пузырьков. Сигналы представляют собой сложные звуковые комплексы, включающие высокоамплитудные частотно-модулированные составляющие, низкочастотные импульсы высокой интенсивности и шумовые компоненты в диапазоне слуха рыб, как минимум на 80 дБ превышающие их слуховые пороги [6].

Вполне логичным выглядит стремление многих ученых и специалистов создать устройства, имитирующие или воспроизводящие сигналы хищных китообразных. В первую очередь – для повышения эффективности (интенсификации) промысла рыб, а также ряда других применений, где требуется изменение их поведенческих характеристик: направления движения, распределения и плотности скоплений (например, управляемого нереста, отвода производителей от заморных участков, пастбищного рыбоводства). Актуальной также является задача экологически безопасного отпугивания (щадящего отвода) ластоногих, в частности, тюленей ларга (*Phoca largha*) и сивучей (*Eumetopias jubatus*), вовлеченных в комменсализм (нахлебничество).

Однако, при создании гидроакустических устройств и систем для управления поведением гидробионтов, еще на предпроектном этапе работы, разработчикам необходимо решить две задачи: выбрать доминанты среди множества внешних и внутренних потребностей животных (ключевой стимул) и «раскачать» водную среду на низких частотах звукового диапазона, в котором происходят процессы слуховой рецепции, ориентации и сигнализации гидробионтов. Излучатели, на основе электроакустического преобразования энергии (пьезокерамические, магнитострикционные и др.), традиционно используемые для эхолокации и океанологических исследований, имеют ряд ограничений, связанных с их низкой эффективностью на частотах, ниже резонансной. Равномерная частотная характеристика в области спектра ниже 1 кГц, соответствующей области слуха большинства промы-

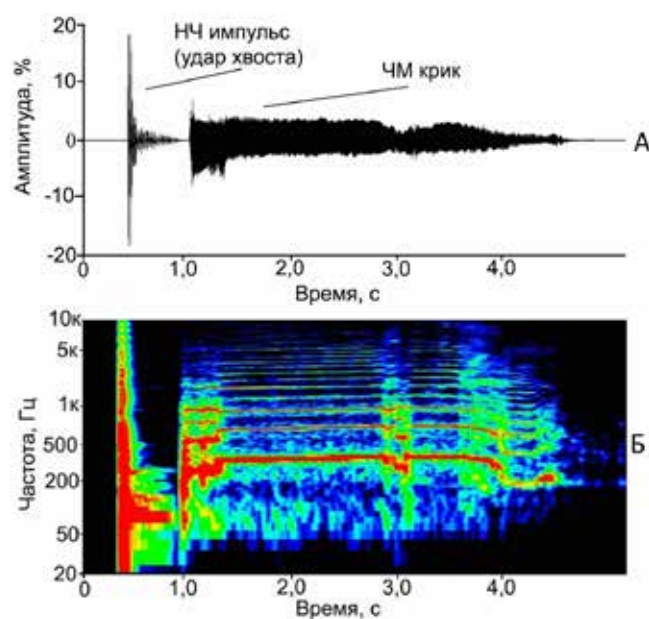


Рисунок 3. Характеристики сигналов имитатора звуков косатки: А – осциллограмма; Б – сонограмма

Figure 3. Characteristics of the killer whale sounds simulator signals: А – oscillogram; В – sonogram

ловых рыб, может быть получена только при значительных габаритах таких преобразователей, что предполагает их высокую стоимость и энергопотребление. Если же использовать электроакустические излучатели приемлемых для промысла размеров, неизбежны искажения спектра и уровня сигналов, особенно в наиболее информативной для рыб области низких частот.

В лаборатории промысловой гидроакустики и технологий лова Тихоокеанского филиала ВНИРО (ТИНРО) решили двигаться по другому пути – создания излучающих устройств на основе природоподобных технологий, а именно, гидробионического моделирования биологических аналогов – звукоформирующих органов морских животных. Бионическое моделирование воспроизводит «живой» механизм звукообразования, в котором, при малых затратах энергии, обеспечивается исключительно высокая, выработанная в процессе эволюции, эффективность излучения звука. Методом гидробионического моделирования разработан макет пневмоакустического излучателя (ПИ) для направления рыбных косяков. Излучатель генерирует 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. 3). В результате в водной среде формируется акустическое поле, имитирующее присутствие этих зубатых китов и вызывающее оборонительную реакцию у морских животных, имеющих в природе контакт с этими хищными китообразными. Обычно это реакция избегания – перемещение животного в направлении, противоположном градиенту звукового давления стимула.

ПИ-имитатор звуков дельфинов-косаток сочетает одновременно высокую мощность излучения (до 2500 Па) и приемлемые для промысла массогабаритные показатели. Конструкцией ПИ предусмотрена возможность регулирования временной структуры, спектра и уровня излучаемых звуков соответственно параметрам акустических стимулов, которые должны поддерживаться для эффективного воздействия на гидробионты [13]. К преимуществам пневмоакустических устройств, по сравнению с электроакустическими, относятся также низкие энергетические затраты (эффективности излучения), безопасность их эксплуатации в морской воде и относительно невысокая стоимость. Качество



Рисунок 4. Макет буксируемого имитатора звуков косатки с системой дистанционного управления запуском (пояснения в тексте)

Figure 4. Model of a towed killer whale call simulator with a remote launch control system (explanations in the text)



имитации биологических сигналов достигается за счет максимального морфологического и физического сходства механизма генерации звука в устройстве и звукопроизводящих органах косатки.

Эффективность акустического воздействия сигналов имитаторов на поведение рыб была доказана в ходе поведенческих экспериментов. Включение имитатора звуков косатки вызывало увеличение подвижности скумбрии в садке, уплотнение рыб в группе и их локализацию в удаленных от излучателя зонах садка с дистанций 100 м [14]. С расстояний 50 м действие стимула инициировало заглубление группы. На расстояниях менее 30 м уменьшение плотности рыб в ближних к излучателю зонах садка происходило лавинообразно.

В экспериментах с сельдью сигналы ПИ вызывали перемещение рыб в дальнюю от излучателя зону садка на расстояниях до 180 м от источника, а также сопровождалось уплотнением и заглублением стаи со 100 м и более [2]. Такое поведение адекватно оборонительной (защитной) реакции рыб при нападении хищных китообразных. Как показали наблюдения, сумеречное поведение рыб характеризуется более высокой реактивностью и наличием бросковых движений.

Буксируемый вариант ПИ, макет которого представлен на рисунке 4, состоит из: 1 – источник сжатого воздуха (электрокомпрессор), 2 – редуктор, 3 – источник электропитания (АКБ), 4 – программируемое реле, 5 – электромагнитный клапан (ЭМК), 6 – параван с крылом и отводителем-заглубителем, 7 – ПИ-имитатор сигналов дельфинов-косаток, 8 – шланги подвода и отвода сжатого воздуха. Электромагнитный клапан, источник электропитания и программируемое реле обеспечивают совместно дистанционно-управляемый запуск ПИ в заданном режиме. Устройство позволяет осуществлять излучение сигналов с программно задаваемой периодичностью, в том числе – в псевдослучайном порядке, создавая какофонию звуков, характерную для биоакустического поля стаи дельфинов во время охоты на рыб.

На траловом промысле ПИ могут быть использованы в виде двух буксируемых устройств (БУ) с отводителем-заглубителем правого и левого борта для направления и удержания в зоне облова трала скоплений рыб, находящихся за ее пределами или в шумовом поле судна. В основу способа положены результаты исследований акустического поведения дельфинов и двигательных реакций рыб на сигналы хищников, которыми они сгоняют рыб и удерживают их в плотном состоянии во время охоты. Косяки рыб, находящиеся между БУ, перемещаются в направлении от источника излучения, где уплотняются и попадают в зону облова трала. Такой способ лова имеет определенное сходство с механизмом группового взаимодействия дельфинов и косаток при поимке рыбы [6].

На кошельковом лове имитаторы звуков дельфинов-косаток, с системой питания сжатым

воздухом и дистанционного управления запуском, могут устанавливаться в местах возможного выхода рыбы из зоны облова (на пятном, бежном урезах, на нижней подборе, под килем судна) для направленного воздействия на поведение косяков рыб, обметываемых кошельковым неводом. Система питания позволяет осуществлять управляемый запуск ПИ. Излучатель создает мощные импульсные сигналы взрывного характера, имитирующие удары хвоста, и частотно-модулированные крики дельфинов-косаток, чем обеспечивает удержание рыб в зоне облова кошелькового невода.

Прибор multifunctional: кроме тралового, кошелькового лова, устройства на соответствующем носителе могут быть использованы для направления и концентрирования беспозвоночных и рыб в любых других активных и пассивных способах лова – сетном, ловушечном, неводном, а также в рыбоводстве – для ограждения заморных участков и удержания рыб на благоприятной для нагула или нереста акватории.

Воспроизведение сигналов косатки вызывает прекращение вокализаций и бегство большинства других китов и ластоногих морских млекопитающих из зоны облучения [15; 16]. Реакция избегания проявляется даже при воспроизведении криков безобидных для них рыбацких (резидентных) косаток [16]. Это делает возможным использование ПИ – имитатора звуков косаток для отпугивания ластоногих, в частности, тюленей ларга и сивучей. На некоторых видах промысла они в значительной степени (а иногда и полностью) блокируют работу орудий лова. Присутствие ластоногих затрудняет заход рыб в трал или в ловушку ставных неводов, что снижает их уловистость, а также ведет к потере части уже пойманных рыб, которых тюлени съедают или повреждают непосредственно в орудиях лова. Рост «нахлебничества» морских млекопитающих наблюдается также на ярусном и сетном видах промысла. При этом, нередко тюлени погибают сами, запутавшись или задохнувшись в орудиях лова.

Для решения этой задачи разработан макет устройства, которое обеспечивает одновременно акустическое и визуальное (зрительное) воздействие на ластоногих (рис. 5). Устройство можно установить стационарно или придать ему подвижность, например, буксировать вдоль крыла невода с помощью плавсредства (рис. 6). Другой вариант – периодические перемещения имитатора тела косатки с излучателем вдоль крыла невода с помощью троса, протянутого через канифас-блок, и управляемого с берега. Возвратно-поступательные движения устройства и запуск ПИ можно обеспечить в автоматическом режиме.

Морские испытания комплекса ПИ для дистанционного воздействия на поведение тюленей ларга проводились в Татарском проливе на неводном промысле горбуши (РПУ №8, г. Советская Гавань). Почти каждый РПУ (рыбопромысловый участок), при ставном неводном лове



Рисунок 5. Внешний вид имитатора звуков косатки

Figure 5. Appearance of the killer whale sound simulator

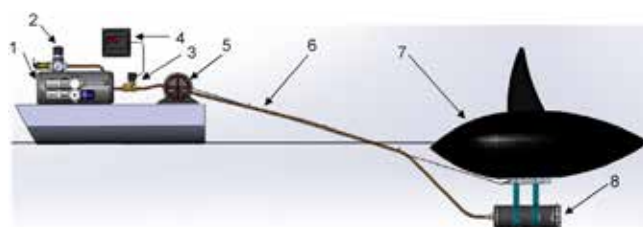


Рисунок 6. Схема буксируемого устройства

имитатора звуков косатки: 1 – воздушный компрессор с ресивером; 2 – редуктор воздуха; 3 – электромагнитный клапан; 4 – программируемое реле; 5 – лебедка; 6 – трос со шлангом; 7 – буксируемое тело; 8 – ПИ

Figure 6. Scheme of the towed device of the killer whale sounds imitator: 1 – air compressor with a receiver; 2 – air reducer; 3 – electromagnetic valve; 4 – programmable relay; 5 – winch; 6 – cable with hose; 7 – towed body; 8 – pneumoacoustic emitter (PI)

лососей, является проблемным. Прибрежные течения, низкая штормоустойчивость, обход рыбой зоны облова, «нахлебничество» ластоногих и другие факторы оказывают негативное влияние на эффективность работы РПУ. Типичными для экспериментального РПУ стереотипами поведения пятнистых тюленей ларга является удержание косяков горбуши в середине крыла невода и его использование в качестве физи-



Рисунок 7. Фрагмент распределения горбуши (*Oncorhynchus gorbuscha*) и ларги (*Phoca largha*) у крыла невода

Figure 7. A fragment of the distribution of pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) and larga seals (*Phoca argha*) near the wing of the seine

ческого препятствия для поимки рыб (рис. 7). Тюлени (1-3 особи) сопровождают подходящие вдоль берега косяки лососей, позиционируясь с мористой и береговой стороны на дистанции 15-20 м (рис. 8А). При подходе горбуши к крылу невода, ларги окружают скопление и, удерживая рыб в плотном кольце, успешно ими питаются (рис. 8В).

При попытке движения косяков горбуши вдоль крыла в сторону ловушки, тюлени в 30-50 м от входа останавливают и заворачивают их головную часть. В большинстве случаев косяки рыб, сделав циркуляцию, возвращаются обратно к крылу невода (рис. 8В). В отсутствие рыбаков, ларга «пирует» в ловушке и в садках-накопителях на легко доступной для поимки рыбе, поедая и травмируя ту часть лососей, которая все же зашла в невод.

Были применены в различных сочетаниях ПИ «Дельфин», ПИ «Косатка», ПИ «Пневмопушка» и ПИ «Лосось» (рис. 9). ПИ «Дельфин» и ПИ «Косатка» имитируют характерные ча-

стотно-модулированные свисты, визги и крики дельфинов и косаток с различными несущими частотами. ПИ «Пневмопушка» – источник широкополосных импульсных сигналов высокой интенсивности, имитирующих удары тела и хвоста дельфинов. ПИ «Лосось» предназначен для имитации биологических сигналов открытопузырных рыб, в частности, – лососей. Сигналы ПИ стимулируют усиление двигательной активности рыб и их направленное перемещение (реакцию привлечения) к источнику звука [4].

В результате испытаний установлено следующее. Поведение ларги характеризуется выраженной оборонительной реакцией на сигналы ПИ «Пневмопушка», ПИ «Косатка» и ПИ «Дельфин» – сопровождающейся уходом животных от источника звука. На работающий ПИ «Пневмопушка» тюлени реагировали уходом на расстояние 80-100 м (максимальное расстояние энергетического воздействия). Более результативным является комплексное воздействие ПИ «Дельфин-Пневмопушка» (уход ларги на расстояние до 250 м). Наиболее эффективным дистанционным манипулятором оказался комплекс ПИ «Косатка-Пневмопушка», работа которого вызывала немедленный уход тюленей ларга. Сразу после запуска комплекса ПИ «Косатка-Пневмопушка» все ларги прекращали охоту и удалялись сначала на расстояние более 500 м от крыла, а затем, после работы комплекса в течение 2-3 мин, за пределы видимости.

Таким образом, излучение сигналов косатки – естественного врага тюленей в природе, может стать экологически безопасным способом отгона ластоногих от орудий лова. Однако здесь нужно учитывать, что сигналы косатки воздействуют и на слуховые рецепторы рыб, также являющихся объектом их охоты. Поэтому в комплексе со средствами отпугивания ларг, должны использоваться излучатели, оказывающие привлекающее действие на рыб. Например, ПИ «Лосось», имитирующие собственные преднерестовые сигналы лососей.

Две группы ПИ «Лосось», расположенные на крыле невода, и одна – за ловушкой (рис.



Рисунок 8. Поведение горбуши и ларги в районе ставного невода

Figure 8. Behavior of pink salmon and larga seals in the area of the fixed seine

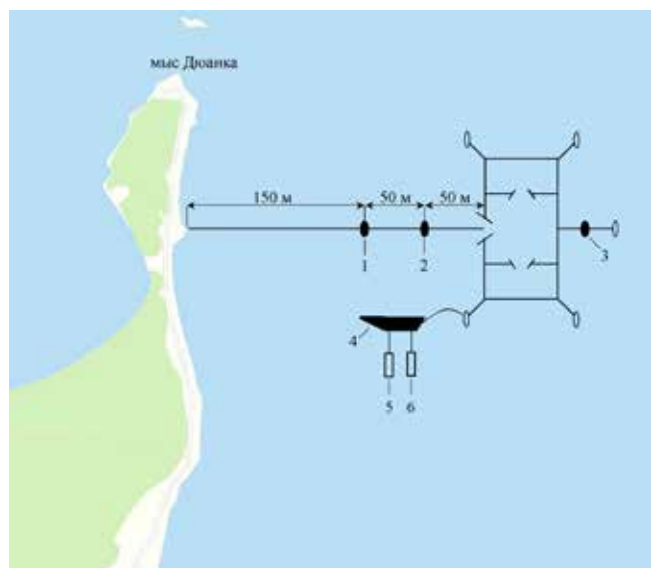


Рисунок 9. Схема размещения излучателей на неводе: 1-3 – ПИ «Лосось»; 4 – плавсредство (лодка); 5-6 – ПИ «Дельфин», «Косатка» и «Пневмопушка» в различных сочетаниях

Figure 9. Scheme of placement of emitters on the seine: 1-3 – PI "Salmon"; 4 – boat; 5-6 – PI "Dolphin", "Killer Whale" and "Airgun" in various combinations

8), запускались последовательно по команде оператора с берега. Включение ПИ «Лосось» на крыле невода вызывает привлечение и концентрацию рыб у крыла невода, а их последовательное переключение – создание «бегущего» акустического поля движущихся косяков горбуши и их направленное перемещение вдоль крыла невода в ловушку. При включении последовательно второй и третьей группы, ПИ горбуша на высокой скорости (0,5-0,8 м/с) перемещалась вдоль крыла и попадала во двор и в ловушку невода.

Испытания показали, что наиболее эффективна последовательность работы комплекса ПИ «Косатка-Дельфин», а затем, после отвода ларг от невода, ПИ «Лосось», в режиме перемещающегося биошумового поля. Такой режим работы позволил обловить (направить в ловушку невода) не менее 75%, подходящих к крылу невода, косяков горбуши. Включение и отключение комплекса ПИ выполняется по команде оператора-наблюдателя, находящегося на берегу или плавсредстве и контролирующего обстановку у крыла невода. Контроль взаимного положения и распределения рыб и ларги можно осуществлять дистанционно, например, с помощью беспилотного летательного аппарата (БПЛА).

Тактику и технологию (последовательность) включения излучателей для отвода тюленей и последующего концентрирования рыб, в каждом случае, необходимо подбирать индивидуально, в соответствии с динамикой распределения рыб и ластоногих в районе работы неводной установки и на подходах лососей к неводу. Здесь таится основной источник опасности, которую несут охотники быстрой коммерци-

ализации такого рода устройств. В результате воздействия на ларгу сигналами косатки (возможно и успешного), можно получить невысокий и даже обратный конечный эффект от их применения, отпугнув рыб от невода и, тем самым, отвернув потенциальных потребителей этих разработок. Чтобы обмануть ларгу присутствием хищника и не потерять улов, требуется тонкая настройка механизма взаимодействия разнонаправленных стимулов, формирующих поведение гидробионтов в районе невода. Каждый рыболовный участок должен быть осмотрен и обследован специалистами, а алгоритмы функционирования систем привлекающего и отпугивающего действия – тщательно подобраны и паспортизированы.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад в работу авторов: **М.Ю. Кузнецов** – формулирование идеи статьи и направленности работы, разработка гидроакустических устройств, планирование экспериментальных исследований, подготовка статьи, введение, заключение; **В.И. Полянничко** – организация и участие в экспериментальных работах, анализ данных, подготовка статьи; **В.И. Шевцов** – участие в экспериментальных работах, анализ данных.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Contribution to the work of the authors: **M.Y. Kuznetsov** – formulation of the idea of the article and the direction of the work, development of hydroacoustic devices, planning of experimental research, preparation of the article, introduction, conclusion; **V.I. Polyanchiko** – organization and participation in experimental work, data analysis, preparation of the article; **V.I. Shevtsov** – participation in experimental work, data analysis.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

1. Popper A.N., Fay R.R., Platt C., Sand O. (2003). Sound detection mechanisms and capabilities of teleost fishes // *Sensory Processing in Aquatic Environments*. New York: Springer-Verlag, Pp. 3-38. Doi: 10.1007/978-0-387-22628-6_1.
2. Кузнецов Ю.А., Кузнецов М.Ю. Обоснование и разработка методов и средств промысловой биоакустики. Моногр. Владивосток: Дальрыбвтуз. 2007. 339 с.
3. Протасов В.Р. Поведение рыб. М.: Пищевая промышленность. 1978. 295 с.
4. Иванов М.П. Эхолокационные сигналы дельфина при решении задач в сложных акустических условиях // *Акустический журнал*. 2004. Т. 50. № 4. С. 550-561.
5. Бионика. Биологические аспекты // Под редакцией Л.В. Решодько. Киев: Вища школа. 1978. 304 с.
6. Кузнецов М.Ю., Кузнецов Ю.А. Гидроакустические методы и средства оценки запасов рыб и их промысла. Часть 2. Методы и средства промысловой биоакустики // *Известия ТИНРО*. 2016. Т.184. С. 264-294. Doi: 10.26428/1606-9919-2016-184-264-294.
7. Ford J.K.B. (1989). Acoustic behavior of resident killer whales (*Orcinus orca*) off Vancouver Island, British Columbia // *Can. J. Zool.* Vol. 67. Pp. 727-745. Doi: 10.1139/z89-105
8. Филатова О.А., Шулежко Т.С. Акустическая коммуникация зубатых китов // *Успехи современной биологии*. 2006. Т. 126. № 3. С. 297-304.
9. Simon M., Ugarte F., Wahlberg M., Miller L.A. (2006). Icelandic killer whales *Orcinus orca* use a pulsed call suitable for manipulating the schooling behaviour of herring *Clupea harengus* // *J. Bioacoustics*. Vol. 16. Pp. 57-74.



10. Simon M., Wahlberg M., Ugarte F., Miller L.A. (2005). Acoustic characteristics of underwater tail slaps used by Norwegian and Icelandic killer whales (*Orcinus orca*) to debilitate herring (*Clupea harengus*) // J. Exper. Biol. Vol. 208. Pp. 2459-2466.

11. Nøttestad L., Fernö A., Axelsen B.E. (2002). Digging in the deep: killer whales' advanced hunting tactic // J. Polar Biol. Vol. 25. Pp. 939-941.

12. Szymanski M.D., Bain D.E., Pennington S., Wong S., Henry K.R. (1999). Killer whale (*Orcinus orca*) hearing: Auditory brainstem response and behavioral audiograms // J. Acoust. Soc. Am. Vol. 106. Pp. 1134-1141.

13. Кузнецов М.Ю., Кузнецов Ю.А. Способ управления поведением рыб // Патент РФ №2352111. Заявлено 10.09.2007. Опубл. 20.04.2009. Бюл. № 11.

14. Байталою А.А., Адрианов А.В., Акулин В.Н., Дюйзен И.В., Кузнецов М.Ю., Кузнецов Ю.А. Межотраслевой научный полигон морских биотехнологий как средство эффективного решения актуальных рыбопромышленных проблем // Труды ВНИРО. 2020. Т. 181. С. 16-32. Doi: 10.36038/2307-3497-2020-181-16-32.

15. Fish J.F., Vania J.S. (1971). Killer whale, *Orcinus orca*, sounds repel white whales, *Delphinapterus leucas* // Fishery Bulletin. Vol. 69(3). Pp. 531-535.

16. Deecke V.B. (2006). Studying marine mammal cognition in the wild: a review of four decades of playback experiments // Aquatic Mammals. Vol. 32(4). Pp. 461-482. Doi: 10.1578/AM.32.4.2006.461.

REFERENCES AND SOURCES

1. Popper A.N., Fay R.R., Platt C., Sand O. (2003). Sound detection mechanisms and capabilities of teleost fishes // Sensory Processing in Aquatic Environments. New York: Springer-Verlag. Pp. 3-38. Doi: 10.1007/978-0-387-22628-6_1.

2. Kuznetsov Yu.A., Kuznetsov M.Yu. Substantiation and development of methods and means of commercial bioacoustics. Monograph. Vladivostok: Dalrybvtuz, 2007. – 339 p.

3. Protasov V.R. Fish behavior. M.: Food industry. 1978. 295 p. (In Russ.)

4. Ivanov M.P. Echolocation signals of a dolphin when solving problems in difficult acoustic conditions // Acoustic journal. 2004. Vol. 50. No. 4. Pp. 550-561. (In Russ.).

5. Bionics. Biological aspects // Edited by L.V. Reshodko. Kyiv: Higher School. 1978. 304 p. (In Russ.).

6. Kuznetsov M.Yu., Kuznetsov Yu.A. Hydroacoustic methods and tools for fish stock assessment and fishery maintenance Part 2. Methods and tools of fishery biohydroacoustics // Izvestiya TINRO. 2016. Vol. 184. Pp. 264-294. Doi: 10.26428/1606-9919-2016-184-264-294. (In Russ.).

8. Filatova O.A., Shulezhko T.S. Acoustic communication of toothed whales // Advances in modern biology. 2006. Vol. 126. No. 3. Pp. 297-304. (In Russ.).

9. Simon M., Ugarte F., Wahlberg M., Miller L.A. (2006). Icelandic killer whales *Orcinus orca* use a pulsed call suitable for manipulating the schooling behaviour of herring *Clupea harengus* // J. Bioacoustics. Vol. 16. Pp. 57-74.

10. Simon M., Wahlberg M., Ugarte F., Miller L.A. (2005). Acoustic characteristics of underwater tail slaps used by Norwegian and Icelandic killer whales (*Orcinus orca*) to debilitate herring (*Clupea harengus*) // J. Exper. Biol. Vol. 208. Pp. 2459-2466.

11. Nøttestad L., Fernö A., Axelsen B.E. (2002). Digging in the deep: killer whales' advanced hunting tactic // J. Polar Biol. Vol. 25. Pp. 939-941.

12. Szymanski M.D., Bain D.E., Pennington S., Wong S., Henry K.R. (1999). Killer whale (*Orcinus orca*) hearing: Auditory brainstem response and behavioral audiograms // J. Acoust. Soc. Am. Vol. 106. Pp. 1134-1141.

13. Kuznetsov M.Yu., Kuznetsov Yu.A. Method for controlling the behavior of fish // RF Patent No. 2352111. Claimed 10.09.2007. Published 20.04.2009. Bull. No. 11. (In Russ.).

14. Baytalyuk A.A., Adrianov A.V., Akulin V.N., Duizen I.V., Kuznetsov M.Yu., Kuznetsov Yu.A. Experimental ground for interdisciplinary marine biotechnology science as an effective solution tool for existing problems in fishing industry // Trudy VNIRO. 2020. Vol. 181. Pp. 16-32. Doi: 10.36038/2307-3497-2020-181-16-32. (In Russ.).

15. Fish J.F., Vania J.S. (1971). Killer whale, *Orcinus orca*, sounds repel white whales, *Delphinapterus leucas* // Fishery Bulletin. Vol. 69(3). Pp. 531-535.

16. Deecke V.B. (2006). Studying marine mammal cognition in the wild: a review of four decades of playback experiments // Aquatic Mammals. Vol. 32(4). Pp. 461-482. Doi: 10.1578/AM.32.4.2006.461.

Материал поступил в редакцию / Received 31.05.2023
Принят к публикации / Accepted 17.07.2023