

УДК 551.463.21

**Е.Н. Бакланов<sup>1</sup>, М.В. Мироненко<sup>2</sup>, П.А. Стародубцев<sup>3</sup>**<sup>1</sup>Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,  
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б<sup>2</sup>Специальное конструкторское бюро средств автоматизации морских исследований  
Дальневосточного отделения Российской академии,  
693023, г. Южно-Сахалинск, ул. Горького, 25<sup>3</sup>Военный учебно-научный центр Военно-Морского флота «Военно-морская академия  
имени адмирала флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова» (филиал, г. Владивосток),  
690006, г. Владивосток, Днепровский переулок, 6

### НЕКОТОРЫЕ АКУСТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МОРСКИХ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ

*Приводятся результаты исследования рассеивающих свойств морских организмов и результаты натурных измерений объемного рассеяния звука, произведенных в разных районах Мирового океана, влияние на него видового и количественного состава морской фауны. Дан анализ слуховых и ориентационных способностей рыб с целью обнаружения и управления поведением биологических объектов.*

**Ключевые слова:** *рассеивающие свойства, морской организм, акустический раздражитель, поведенческая реакция.*

### **E.N. Baklanov, M.V. Mironenko, P.A. Starodubtcev SOME ACOUSTIC FEATURES OF MARINE BIOLOGICAL OBJECTS AND THEIR USE FOR DETECTION**

*The results of a study of the scattering properties of marine organisms and the results of field measurements of volumetric scattering of sound made in different parts of the ocean, the impact of specific and quantitative composition of marine fauna are presented. Given the analysis of hearing and orientation abilities of fish for the purpose of detection and behavior management.*

**Key words:** *scattering properties, marine organism, acoustic stimulus, behavioral response.*

Акустико-механические свойства тела любых организмов, обитающих в водах океана, в большей или меньшей степени отличаются от соответствующих свойств морской воды [1]. Это позволяет рассматривать каждый морской организм как дискретную неоднородность для обнаружения, а их скопление – как объемную морскую неоднородность. По аналогии с искусственными объектами такой подход позволяет обнаруживать их методами активной высокочастотной и низкочастотной локации.

Количественной характеристикой рассеивающих свойств отдельного морского организма, или ЗРС, может быть его поперечное сечение рассеяния. Эта величина определяется двумя факторами:

- структурой тела и акустической контрастностью его тканей по отношению к воде;
- относительным размером рассеивателя  $l/\lambda$  (где  $l$  – его размер, а  $\lambda$  – длина акустической волны).

При морских измерениях чаще всего ограничиваются сечением рассеяния в обратном (локационном) направлении  $\sigma^I$ . Анализ результатов многочисленных лабораторных измерений и модельных расчетов величин  $\sigma^I$  [1] позволил оценить характерные области значений сечений рассеяния наиболее распространенных морских организмов (рис. 1).

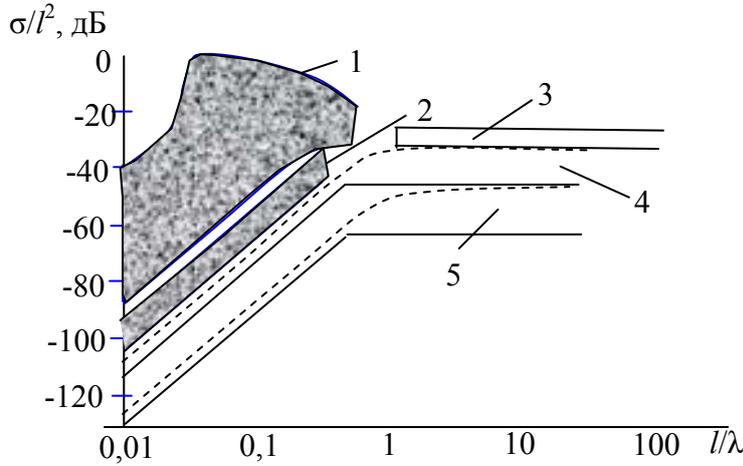


Рис. 1. Сечение обратного рассеяния мелких морских организмов: 1 – рыб с плавательным пузырем; 2 – рыб без пузыря; 3 – рыб групп 1 и 2; 4 – рачков; 5 – медузоподобных организмов  
 Fig. 1. Backscattering cross section of small marine organisms: 1 – fish with swim bladder; 2 – fish without bladder; 3 – fish groups 1 and 2; 4 – crustaceans; 5 – jellyfish

Шкалы в относительных единицах позволяют объединять характеристики организмов одного типа независимо от их размеров. Ширина каждой заштрихованной области определяется типичными вариациями величин  $\sigma^I$ , не учитываемыми принятой нормировкой. При  $l \gg \lambda$  величина  $\sigma^I$  слабо зависит от частоты, примерно пропорциональна  $l^2$  и сильно изменяется при смене ракурса облучения. При  $l / \gg 1$  зависимость от ракурса пропадает, но сечение рассеяния организмов без газовых полостей почти сразу начинает уменьшаться как  $l^6 / \lambda^4$ . Для рыб с газонаполненным плавательным пузырем частотная зависимость сечения рассеяния имеет более сложный характер. Полость пузыря является акустическим резонатором с резонансной частотой [1]:

$$f_p \cong \frac{1}{\pi a} \cdot \left( \frac{P + \mu_{CD}}{\rho} \right)^{1/2}, \tag{1}$$

где  $a$  – радиус сферы, равной по объему газовой полости пузыря, причем  $a \cong (0,04 \dots 0,06)l$ ;  $P$  – статическое давление, определяемое глубиной обитания рыбы;  $\mu_{CD}$  – модуль сдвига тканей тела;  $\rho$  – плотность воды, примерно равная плотности тканей [1].

Резонансные явления развиваются в области значений  $l / \ll 0,02 \div 0,8$ , что в ЗРС соответствует единицам кГц. Здесь величина  $\sigma^I$  достигает максимальных (резонансных) значений, а форма индикатрисы практически сферична. Эффекты резонанса приводят к сдвигу начала резкого падения величин  $\sigma^I$  в область  $l \ll \lambda$ . Практически это и определяет доминирующую роль в ЗРС рыб с пузырями при рассеянии звука на частотах в единицы кГц (размеры рыб и других обитателей ЗРС редко превышают 15 см).

И стаи рыб, и ЗРС океана удобно описывать величиной силы слоя, характеризующей рассеивающие свойства их вертикальной колонки единичного сечения [1]:

$$I_L(f_p, z_1, z_2) = \int_{z_1}^{z_2} S_c(f_p, z_1, z_2) dz, \tag{2}$$

где  $S_c$  – коэффициент объемного обратного рассеяния;  $z_1$  и  $z_2$  – глубины верхней и нижней границ неоднородности.

При низкой концентрации организмов в ЗРС можно ограничиться приближением однократного рассеяния, и тогда величине  $S_c$  соответствует отношение суммы сечений  $\sigma^I$  к рассеивающему объему. Для более плотных скоплений, например, стай рыб, это приближение может оказаться недостаточным. Критерием, определяющим необходимость учитывать эффекты многократного рассеяния, является требование, накладываемое на соотношение длины  $r$  пробега звука в пределах скопления и величины полного коэффициента объемного рассеяния  $S_0$  [1]:

$$r \leq r_{cr} = S_0^{-1}. \tag{3}$$

Условие (3) может нарушаться в промысловых скоплениях мелких рыб и рачков [1]. Из-за недостатка количественных данных о фауне ЗРС вся информация об их акустических свойствах была получена в ходе прямых натурных измерений величин коэффициента  $S_c$  и силы слоя  $I_L$  в разных районах океана [1]. Как правило, измерения охватывали глубины от 150...200 м до 1,0...1,5 км. Основная часть всех исследований была проведена в диапазоне частот от 2–3 до 20 кГц. Общее число измерений, выполненных отечественными исследователями в Мировом океане, во много раз превышает число опубликованных данных, включая зарубежные. На рис. 2 приведены частотные зависимости силы слоя ЗРС, измеренные в светлые часы суток в разных районах Мирового океана [1]. Характерной особенностью почти всех кривых является резкое возрастание силы слоя при увеличении частоты от 2–3 до 5–7 кГц и относительно слабая частотная зависимость при дальнейшем повышении частоты.

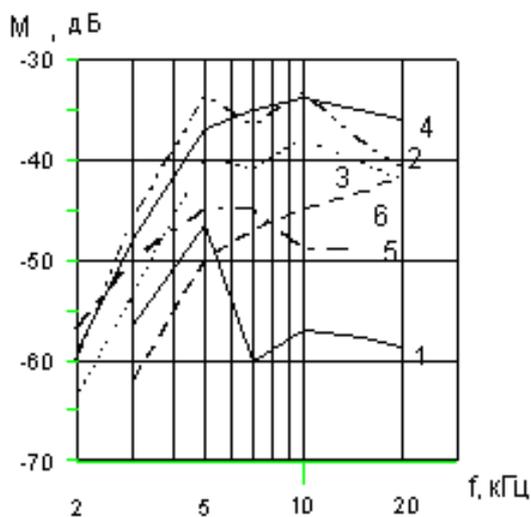


Рис. 2. Частотная зависимость силы слоя ЗРС в разных океанах. Атлантический: 1 – подходы к Гибралтару; 2 – экваториальная зона. Индийский: 3 – Аравийское море; 4 – около 3° ю.ш. 63° в.д. Тихий: 5 – Прикамчатский район; 6 – Восточная котловина

Fig. 2. Frequency dependence of scattering properties layers in different oceans. Atlantic: 1 – approaches to Gibraltar; 2 – equatorial zone. Indian: 3 – Arabian Sea; 4 – about 3° S and 63° E. Pacific: 5 – Kamchatka region; 6 – East Basin

Доказано, что участок быстрого роста величины  $I_L$  соответствует попаданию частоты зондирования в область резонансных явлений [1]. Отсутствие в ЗРС более крупных организмов определяет низкий уровень рассеяния на частотах в 2–3 кГц и ниже; для большей части методов измерений он близок к пороговому значению, около -65 дБ. Если на частотах выше резонансной области уровень рассеяния возрастает, то это свидетельство присутствия в фауне слоя большего числа относительно мелких организмов, например, рачков и рыб, размеры которых по мере повышения частоты оказываются сопоставимы с длиной волны  $\lambda$ , и их ткани постепенно начинают доминировать в процессе рассеяния звука в ЗРС. Ход кривой  $I_L$  на

этих частотах и ее средний уровень зависят от района океана, т.е. от видового и количественного состава фауны слоя; средний уровень силы слоя варьируется в широких пределах – от -35 до -60 дБ (см. рис. 2) [1].

К географическим зонам с интенсивными ЗРС относится большая часть Индийского океана; экваториальная зона Атлантики, ее восточные воды, прилегающие к африканскому континенту, и воды, лежащие на северо-востоке от о-ва Ньюфаундленд, примерно между Северным полярным и Северным субполярным фронтами; в Тихом океане это, в первую очередь, восточная часть северной тропической зоны и воды Перуанского течения.

К зонам слабых ЗРС [1] относятся воды циклонических круговоротов Атлантического и Тихого океанов, и Тихий океан, севернее, примерно,  $50^\circ$  с.ш. Помимо изменений интенсивности ЗРС глобальных масштабов, в ряде районов океана существуют резкие локальные изменения, связанные, по крайней мере, с двумя факторами – с границами водных масс и с уменьшением глубин дна вблизи островов и мелководных банок. В качестве примера приведены изменения характеристик ЗРС при пересечении фронтальной зоны в западной части Тихого океана, расположенной вдоль  $40^\circ - 45^\circ$  с.ш. К северу от нее регистрируются два слоя на глубинах 400–600 м (основные частоты рассеяния 5–7 кГц) и 1–2 км (частота около 4 кГц). К югу от фронтальной зоны нижний слой исчезает, а верхний почти не изменяется. Другой пример локальной изменчивости наблюдался в Атлантике при пересечении банки Метеор в светлое время суток.

Вдали от банки ЗРС на частоте 5 кГц регистрировались на глубинах 500–900 м при силе слоя около -60 дБ. При приближении к банке и уменьшении глубины дна нижняя граница слоев фактически отслеживала глубину места, причем коэффициент рассеяния сохранялся неизменным. Донное поднятие как бы «разрезает» слой, не меняя его структуру в пределах изменяющейся глубины дна.

Однако в верхней части слоя, остававшейся над дном банки, величина коэффициента рассеяния заметно увеличивалась, что привело и к росту силы слоя на 6–7 дБ. После прохода банки картина слоев полностью восстанавливалась. Для звукорассеивающих слоев характерны ежесуточные вертикальные миграции. В светлое время они находятся в глубинах океана, а после захода солнца поднимаются к поверхности. Амплитуда этих миграций максимальна в тропиках (многие сотни метров) и уменьшается по мере продвижения к северу или к югу. Около  $50^\circ$  как северной, так и южной широт миграции замирают и звукорассеивающие слои круглые сутки остаются на неизменных глубинах. При вертикальных миграциях изменяется и вид кривых  $I_L$ . При подъеме рыб область их резонансов сдвигается влево и, следовательно, растет уровень рассеяния на частотах ниже 5 кГц. На высоких частотах, где доминирует рассеяние на живых тканях, уровень рассеяния при миграциях практически не изменяется [1].

Вертикальная структура (внутренняя стратификация) ЗРС глубокого океана в дневные часы достаточно сложна, зависит от района, и везде, как правило, существует несколько слоев, различающихся глубинами и преимущественными частотами рассеяния на этих глубинах. Данные о внутренней стратификации ЗРС пока не систематизированы, и мы ограничимся несколькими частными примерами.

В Мировом океане широко распространены слои, резонирующие в дневные часы на частотах вблизи 5 кГц. Типичные глубины их дневного залегания на низких и средних широтах составляют около 600–800 м. На акваториях вблизи Гольфстрима такие слои неоднократно регистрировались на глубинах от 900 до 1200 м, где оказывалась сосредоточенной основная масса рассеивателей, до 80–90 %, если считать по абсолютным значениям величины  $I_L$  на частоте 5 кГц. В опытах, где по тем или иным причинам такие глубины зондирования оставались недоступными, могут получаться сильно заниженные значения силы слоя. ЗРС с основными частотами рассеяния 15–20 кГц обычно наблюдаются на меньших глубинах, до

500–700 м. Звук, рассеянный на промежуточных частотах 7–12 кГц, приходит с глубин обоих слоев, а на частотах 3 кГц и ниже – только от слоя с основной частотой 5 кГц. В интервалах между рассеивающими слоями уровень объемного рассеяния ниже пороговой чувствительности метода измерений. Несколько измерений было выполнено к западу от Португалии на глубинах 3–5 км. Объемное рассеяние звука на этих глубинах оказалось очень низким и не зависело от времени суток; коэффициент  $S_c$  на всех частотах оставался на несколько порядков меньше, чем в ЗРС. При ночном подъеме все слои приближаются к поверхности, сливаясь в слабо стратифицированную массу, где коэффициент объемного рассеяния на всех частотах постепенно уменьшается с глубиной. Отследить тенденцию всех этих изменений с помощью существующих акустических средств на больших расстояниях достаточно проблематично.

Еще одним интересным направлением обнаружения и управления поведением биологических объектов могут быть знания слуховых и ориентационных способностей рыб в естественных условиях и, следовательно, их реакция на акустические сигналы и шумы. Все это позволяет прогнозировать поведение рыб разных экологических групп в полях искусственных раздражителей, в том числе и чисто акустических.

Большой интерес представляют исследования по локализации рыбами звуковых сигналов, определению значимых для них акустических раздражителей, их частотно-временных характеристик, а также сравнительная оценка возможностей восприятия при различии морфологических особенностей строения органов слуха. Физиологическая акустика рыб, роль которой недооценивалась ранее даже в морской экологии, оказалась весьма полезной в системных исследованиях по рыболовству [1].

Механизмы формирования поведения рыб рассматриваются на фоне природных адаптаций (принципы самоорганизации, заложенные в основу организации всего живого). Только в таком аспекте технические проекты в области рыболовства могут быть наделены биофизическим содержанием и, следовательно, адекватны природным законам.

Способность рыб воспринимать звуки была экспериментально обоснована и опубликована в работах [1], в которых, применяя различные методы исследований, демонстрируется чувствительность различных видов рыб к акустическим сигналам [2].

Предложены две основные чувствительные системы как акустические рецепторы: лабиринт и боковая линия [2]. В совокупности это составляет акустико-латеральную систему, осуществляющую связь организма с внешней средой. С помощью этих органов чувств воспринимается внешнее раздражение, которое передается в центральную нервную систему. Существенную роль в восприятии акустических сигналов выполняет плавательный пузырь, представляющий собой ограниченный эластичными стенками газовый пузырь эллипсоидальной формы. Важная роль плавательного пузыря в реализации слуховой функции подтверждается тем, что рыбы, обладающие плавательным пузырем, демонстрируют более развитые слуховые возможности по сравнению с беспузырными [2].

Соединение плавательного пузыря с внутренним ухом осуществляется при помощи Веберова аппарата – четырех пар подвижно сочлененных косточек. Органы чувств системы боковой линии являются полифункциональными механорецепторами, воспринимающими потоки воды, вибрации и перепады давления. Многими авторами были получены факты [2], говорящие о способности боковой линии рыб воспринимать низкочастотные звуковые волны. Электрофизиологические исследования подтвердили возможность восприятия боковой линией смещений звукового и инфразвукового диапазонов. Из анализа материалов о морфофункциональной деятельности органов, ответственных за формирование поведения рыб, можно резюмировать эквивалентной схемой взаимодействия внешних источников акустических сигналов с внутренней системой жизнедеятельности рыб.

Среда обитания рыб характеризуется определенными физическими условиями, которые влияют на распространение акустических сигналов (собственные шумы, соленость, глубины, растворенные и взвешенные вещества, рельеф дна, расстояние от излучателя до биологического приемника, температура и т.д.), поэтому до поступления информации на слуховые рецепторы рыб от генератора сигналов их интенсивность и спектральный состав претерпевают изменения.

Источником раздражения рыб могут являться как сигналы, издаваемые биологическими объектами, судами, орудиями лова, так и средствами интенсификации лова, например, акустические сигналы от пневмоизлучателей «Дельфин», «Сардина», «Сардина-2», «Лосось», «Корюшка» и других, влияние которых на реакции рыб оценивалось количественно и в сравнительном плане [2].

Значимость воздействия акустических сигналов на рыб и слуховые способности оценивались безусловно рефлекторными реакциями по изменению электрокардиограммы и условно рефлекторными реакциями с первоначальным обучением и дальнейшим наблюдением за изменением поведенческих реакций изучаемых объектов [2, 3].

Для освоения нового в рыболовстве метода электрофизиологической оценки реакций рыб на различные стимулы и определения критериев оценки был поставлен эксперимент по выживанию объекта в экспериментальных условиях и адекватности его реакций на внешнее воздействие после адаптации к новым условиям, в том числе с денервацией органов восприятия [4].

Для освоения методики изучения реакций рыб по ЭКГ и поведению была проведена специальная работа [4–8]. При предъявлении акустического стимула для рыб (приманка, угроза) может происходить увеличение или уменьшение числа сокращений сердечной мышцы. Существенным фактором при получении информации через звуковые сигналы является латентный период, т.е. временной интервал, необходимый объекту для ответной реакции – замирания сердца. В тех случаях, когда сигнал служит как приманка (брачные игры, пищевые реакции и т.п.), т.е. действие сигнала вызывает положительную реакцию объекта и его движение в сторону источника звука, на ЭКГ замирание сердца может отсутствовать. Напротив, если аудиосигнал несет информацию об опасности или угрозу для объекта исследования (рыб), то на ЭКГ наблюдается временной интервал замирания сердечной мышцы, и чем более значима информация угрозы, тем длительность замирания больше.

Если существует возможность одновременно с ЭКГ определять и поведенческие реакции, то мы можем судить о значимости акустического сигнала по нескольким параметрам. Может изменяться скорость и направление движения объекта, количество сокращений сердечной мышцы в одну секунду, длительность и количество замираний, латентный период. Эти параметры дают возможность определять степень воздействия звуковых сигналов на животных, позволяют определить время, при котором наступает адаптация объекта к сигналам. Наличие замираний сердцебиения и латентного периода является одним из отличительных признаков, который позволяет судить о качестве аудиосигнала (является ли он приманкой или угрозой для рыб), быстроте ответной реакции, об участии структур слуха в идентификации полезного сигнала и ориентации. На рис. 3 показана электрокардиограмма скумбрии [4–8].

Реакция пелагических рыб, а именно: подвижность в бассейне без ориентации на источник, повышенная частота сокращений сердца, большая длительность замирания – появляется в ответ на предъявление звукового сигнала дельфинов от преобразователя на твердой основе [4–8]. Но еще больше реакция усиливается (бросковые движения от источника, многократные и длительные замирания сердца, укороченный латентный период, т. е. мгновенная реакция) при имитации сигнала дельфина от пневмоизлучателя.

Отключение (денервация) одного из рецепторов приводит к усилению роли другого, что подтверждает природный механизм дифференцированного переключения детекторов слуха в условиях, когда снижается разрешающая способность одного из них.

Сигналы привлекающего значения вызывают повышение скорости, поисковые движения объекта в бассейне, увеличение частоты сердцебиений и длительное возбуждение.

Полученные материалы исследований дают весьма полезные сведения о способностях рыб ориентироваться в сложных акустических полях [4–8]. Это позволяет полнее характеризовать природные адаптации объекта или промысловый процесс.

Сложный стимул поступает через лабиринт и механорецепторы боковой линии в головной мозг.

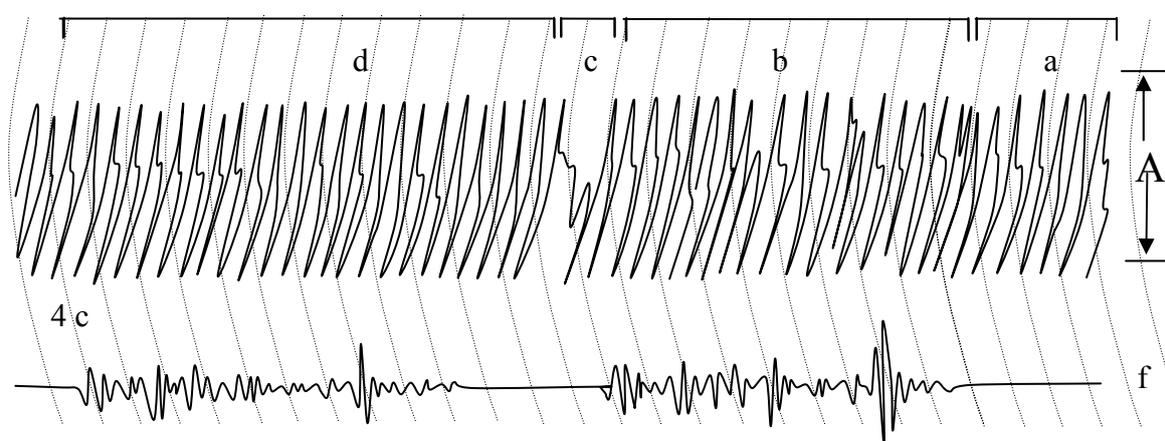


Рис. 3. ЭКГ скумбрии с хорошо выраженным замиранием сердца и латентным периодом; A – амплитуда сокращений сердечной мышцы; f – запись осциллограммы предъявляемого сигнала; a, b, c, d – сектора ЭКГ, соответствующие определенному физиологическому состоянию объекта [4–8]

Fig. 3. Electrocardiogram of mackerel with a distinct sinking heart and a latent period

A – amplitude of the contractions of the heart muscle; f – waveform record charge against signal; a, b, c, d – sectors of the electrocardiogram corresponding to a specific physiological state of the object

Органы, отвечающие за восприятие и локализацию звуковых сигналов, имеют селективный характер восприятия в определенном диапазоне частот и при достаточных их уровнях. Сигналы, несущие угрозу, как правило, отличаются значительными величинами звукового давления, сигналы привлекающего действия имеют более низкие уровни интенсивностей. Поэтому пороговая чувствительность рыб (в том числе отношение п/ш) имеет важное значение при использовании акустических средств управления поведением рыб (особенно приманок).

Определение пороговой чувствительности рыб позволяет оптимизировать диапазон рабочих частот при разработке моделей излучателей. Действительно, как показывают эксперименты, спектры биологически значимых сигналов находятся в диапазоне максимальной чувствительности рыб [4–8]. Ограниченное использование звуков в промышленном рыболовстве указывает на сложность этой проблемы и необходимость тщательного изучения всех особенностей слуха и отношения различных рыб к звуку.

Исследованы слуховые способности семи видов дальневосточных промысловых рыб в диапазоне частот от 20 до 5200 Гц [4–8]. На основании полученных данных построены аудиограммы, т.е. графики зависимости слуховых порогов от частоты (рис. 4). Все уровни звукового давления рассматриваются относительно  $2 \cdot 10^{-5}$  Па.

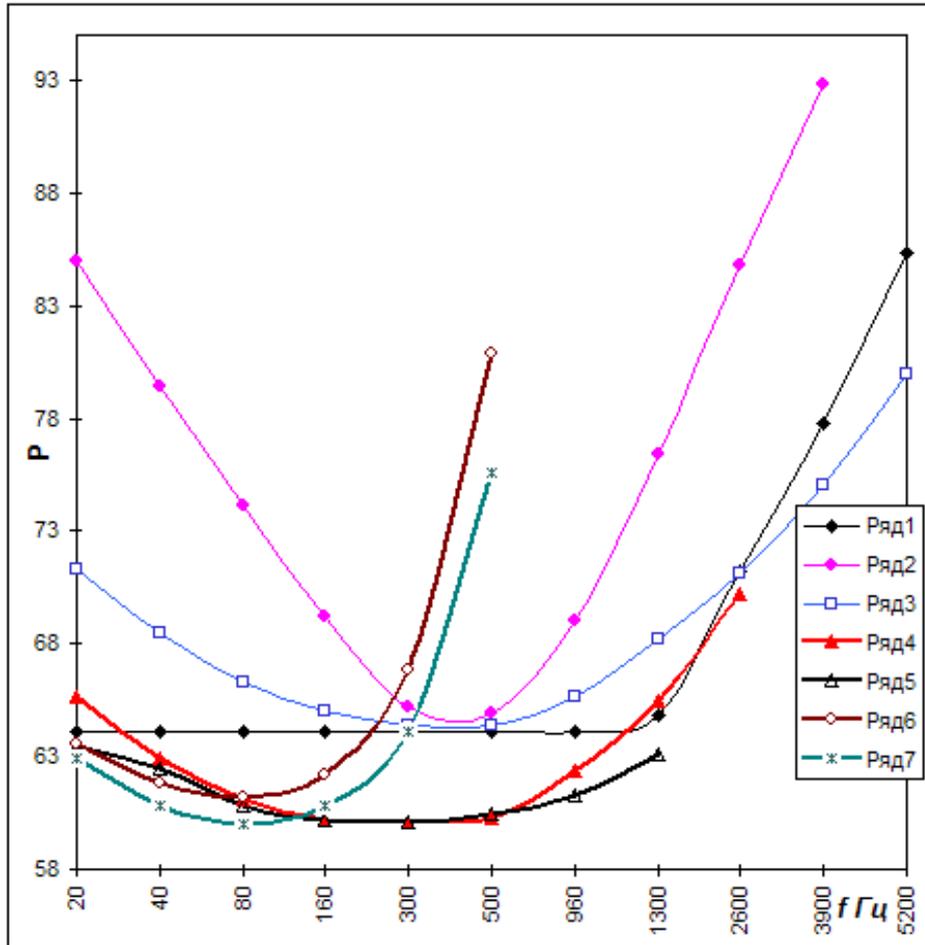


Рис. 4. Аудиограммы семи видов дальневосточных промысловых рыб:  
 ряд 1 – аудиограмма восточного морского ерша (*Sebastes taczanowskii steind*);  
 ряд 2 – аудиограмма японской скумбрии (*Scomber japonicus*);  
 ряд 3 – аудиограмма тихоокеанской сельди (*Clupea harengus pallasi (Val.)*);  
 ряд 4 – аудиограмма тихоокеанской сардины (*Sardinops sagax melanosticta*);  
 ряд 5 – аудиограмма дальневосточной красноперки (*Leuciscus brandti (dybouski)*);  
 ряд 6 – аудиограмма звездчатой камбалы (*Pleuroneetes stellatus*);  
 ряд 7 – аудиограмма южного одноперого терпуга (*Pleurogrammus azonus*) [4–8]

Fig. 4. Audiogram of seven species of Far Eastern food fish:  
 row 1 – audiogram of eastern sea perch ерша (*Sebastes taczanowskii steind*);  
 row 2 – audiogram of chub mackerel (*Scomber japonicus*);  
 row 3 – audiogram of pacific herring (*Clupea harengus pallasi (Val.)*);  
 row 4 – audiogram of the Pacific sardine (*Sardinops sagax melanosticta*);  
 row 5 – audiogram of Far East rudd (*Leuciscus brandti (dybouski)*);  
 row 6 – audiogram of captive star flounder (*Pleuroneetes stellatus*);  
 row 7 – audiogram southern mackerel терпуга (*Pleurogrammus azonus*) [4-8]

Из аудиограмм видно, что на частотах 160–960 Гц наблюдается максимальная чувствительность у таких видов рыб, как тихоокеанская сельдь (*Clupea harengus pallasi (Val)*), тихоокеанская сардина (*Sardinops sagax melanosticta*). Для японской скумбрии (*Scomber japonicus*) максимальная чувствительность находится в диапазоне частот 300–500 Гц. Знание аудиограмм, полученных при известных уровнях окружающего шума, и зависимостей между ве-

личиной порога и уровнем окружающего спектрального или полосового шума очень важно при анализе поведения в различных акустических полях, в частности, при оценке влияния на поведение промысловых рыб различных высокочастотных и низкочастотных просветных сигналов.

Приведенные эксперименты показали, что тихоокеанская сардина в ответ на сигнал частотой 800 Гц во всех случаях его предъявления приближалась к источнику [4–8]. Скорости ее перемещения по бассейну резко возрастали. Аналогичная закономерность поведения и распределения по бассейну была отмечена у сельди [4–8], когда предъявлялся сигнал, адекватный по спектрально-временным характеристикам сигналам сельди. Нужно заметить, что эти сигналы имеют наиболее плотное спектральное заполнение на частотах вблизи 800 Гц, что представляет некоторую аналогию биологическим сигналам сельди [4]. Таким образом, проведенные эксперименты показывают, что получая информацию (в данном случае изменяющийся звуковой сигнал в диапазоне частот 700–850 Гц) и определяя рецепторами его интенсивность, рыбы могут ориентироваться на источник и проявлять направленную двигательную активность [4–8]. Акустический излучатель «Корюшка» [4–8] позволяет управлять поведением молоди различных видов рыб, а также вести промышленный промысел [4–8].

Движение рыб в воде сопровождается гидродинамическими колебаниями сложной формы. Основным движителем у рыб является хвостовой плавник. В результате движения рыб колеблющийся хвостовой плавник создает завихрения определенной частоты следования [4–8]. В экспериментах [4–8] скорость движущихся рыб варьировала в пределах 0,15–0,20 м/с, а средняя частота колебаний, создаваемых рыбами при движении, составляет  $f_{cp} = 1,8$  Гц, тогда длина волны этого колебания равна  $l_{cp} = 800$  м. Огибающая модуляционного сигнала от излучателя «Корюшка» представляет сложное колебание изменяющейся интенсивности, его полный цикл по времени составляет 1,5 с и, соответственно,  $f_{сигн.} = 0,7$  Гц, а  $l = 2060$  м. Из полученного расчета можно предположить, что объект ориентируется на дистанции до 330 м от источника звука, так как это расстояние находится в ближнем поле, где сигналы могут восприниматься рецепторами боковой линии, а объект определять направление на источник сигнала [4–8]. Необходимо отметить, что расчеты показывают сходство сигналов по частоте, создаваемых рыбами при движении, с колебаниями, изменяющимися по интенсивности, представляющими собой огибающую модуляционного сигнала, издаваемого излучающим устройством «Корюшка».

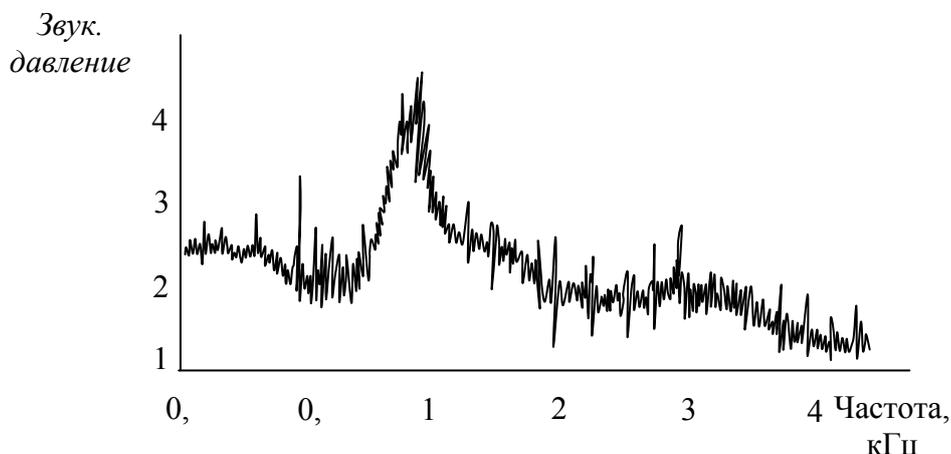


Рис. 5. Спектрограмма звуков особей сельди [4]  
 Fig. 5. Spectrogram sounds of herring individuals [4]

При создании акустических устройств для управления ловом рыб частотно-временной интервал действующих имитаторов звуков рыб выбирался таким образом, чтобы изменяющаяся интенсивность этого сигнала находилась в диапазоне, близком к собственным колебаниям, генерируемым объектом при движении. Это способствует более действенной взаимосвязи биологического объекта с акустическим полем в результате получаемой информации рецепторами боковой линии, возбуждает объект и, в конечном итоге, выражается направленной двигательной реакцией рыб на акустический сигнал. Таким образом, знание морфофизиологических особенностей органов звуковосприятия и органов звукообразования рыб, определение биологически значимых акустических стимулов (параметров), влияющих на поведение рыб, позволяют моделировать акустические излучатели, имитирующие адекватные сигналы, и обрабатывать системы управления поведением рыб на промысле.

### Список литературы

1. Андреева И.Б. и др. Акустические свойства плотных скоплений пелагических животных в океане // Акустический журн. – 1994. – Т. 40, № 1. – С. 9-16.
2. ВМС США разрешили губить морских млекопитающих // Русская Америка (по материалам журнала). – 2002. *Jul* 19.
3. Анисимова И.М., Лавровский В.В. Ихтиология. – М.: Высш. шк., 1983.
4. Кузнецов Ю.А. Системный принцип постановки биотехнических задач. Оптимизация техники и тактики промысла / Ю.А. Кузнецов // Исслед. по оптимизации рыболовства и совершенств. орудий лова. – М.: ВНИРО, 1985. – С. 8-21.
5. Бахарев С.А. Способ повышения эффективности промысла морских биологических объектов / С.А. Бахарев, В.В. Поленюк, М.Л. Пуленец // Науч. тр. Дальрыбвтуза. – Владивосток, 2000. – Вып. 13. – С. 21-25.
6. Протасов В.Р. Биоакустика рыб. – М.: Наука, 1965. – 207 с.
7. Бахарев С.А. О возможности поиска скоплений беспозвоночных по их шумовым полям / С.А. Бахарев, Ю.А. Кузнецов, В.В. Поленюк // Науч. тр. Дальрыбвтуза. – Владивосток, 2000. – Вып. 13. – С. 16-21.
8. Генератор гидроакустических сигналов «Дельфин: а.с. № 654920 СССР » / Ю.А. Кузнецов, А.И. Гореликов (СССР).

#### **Сведения об авторах:**

Бакланов Евгений Николаевич, доцент, e-mail: baklanoven@mail.ru;

Мироненко Михаил Владимирович, ведущий сотрудник, доктор технических наук, профессор, e-mail: professor@mail.primorye.ru;

Стародубцев Павел Анатольевич, доктор технических наук, профессор, e-mail: spa1958@mail.ru.