РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

СЕНСОРНЫЕ СИСТЕМЫ

(ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК)

МОСКВА

СЕНСОРНЫЕ СИСТЕМЫ, 1999, том 13, № 4, с. 333-340

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК 599.537:534.88:534.751.77

ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЕ МИШЕНЕЙ В УСЛОВИЯХ МЕШАЮЩИХ ОТРАЖЕНИЙ И МОНАУРАЛЬНЫЙ СЛУХ АФАЛИНЫ

© 1999 г. В. А. Рябов, Г. Л. Заславский

Карадагский природный заповедник НАН Украины,
334876 Крым, Феодосия, п/о Курортное, ул. Науки, 24

Поступила в редакцию 20.01.99 г.

Рассмотрены особенности эхолокационного различения мишеней афалиной в условиях мешающих отражений от стальных цилиндров, при угловых расстояниях между ними меньших ширины характеристики направленности излучения.

При выполнении эхолокационной задачи дельфин находит оптимальное положение головы (излучателя и приемника), обеспечивающее ему наилучшие условия взаимного ослабления мешающих эхосигналов за счет их интерференции. При моделировании интерференции энергия двух мешающих эхосигналов уменьшается в 8 раз, полностью компенсируются составляющие спектра помех в области максимума энергии зондирующих импульсов и соответственно максимума чувствительности слуха дельфина.

Для увеличения разницы в интенсивностях эхосигналов от полезных и мешающих мишеней дельфин использует склоны характеристики направленности как излучения, так и приема. При эхолокационном распознавании мишеней пространственный слух афалины осуществляется с помощью монаурального приема, обеспечивая эхолокатору лучшую (практически идеальную) помехозащищенность от реверберационных помех по сравнению с возможностями бинаурального приема.

Ключевые слова: дельфин, эхолокация, слух, реверберация, монауральный, помеха, интерференция.

ВВЕДЕНИЕ

Ранее было показано, что дельфины вида афалина способны различать мишени, которые разнесены на угол, меньший ширины характеристики направленности излучения их эхолокационной системы [2]. При ширине диаграммы излучения 6°-10° (по уровню -3 дБ) пороги по углу составили от 0.4° до 1.5°. Данные, полученные в работе, свидетельствуют о том, что максимум излучения животного при этом ориентирован несколько в сторону от мишеней.

Исследование способностей дельфина к эхолокационному дифференцированию мишеней, разнесенных на угол, меньший ширины его диаграммы излучения, в условиях мешающих отражений может способствовать решению задачи защиты от реверберационных помех.

Цель данной работы - исследование особенностей эхолокационного дифференцирования мишеней дельфином в условиях реверберационных помех, создаваемых стальными цилиндрами в области его диаграммы излучения, а также изучение возможных механизмов защиты эхолокатора дельфина от этих помех.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Эксперименты проводились на взрослом черноморском дельфине афалина *(Tursiops truncatus),* в закрытом бассейне размерами 20 х 13 х 3 м. Дельфин был обучен по стартовому сигналу (тон 8 кГц) выходить к началу разделительной сети (место старта рис. 1) и с помощью эхолокации в условиях мешающих отражений от стальных цилиндров определять, с какой стороны разделительной сети находится положительная мишень и подплывать к ней.

В качестве мишеней применялись латунные шары диаметром 50 и 30 мм, которые в каждом испытании предъявлялись одновременно с разных сторон разделительной сети в случайном порядке. Подкрепление животного рыбой проводилось в случае правильного определения им положительной мишени - шара диаметром 50 мм.

Реверберационные помехи создавались стальными цилиндрами диаметром от 1.5 до 60 мм. Высота цилиндров диаметром 60 мм составляла 130 мм, остальных - 60 мм. Дельфин выполнял эхолокационное дифференцирование мишеней в присутствии одного, двух (рис. 1, 2, *б),* трех или четырех мешающих цилиндров, которые со стар-

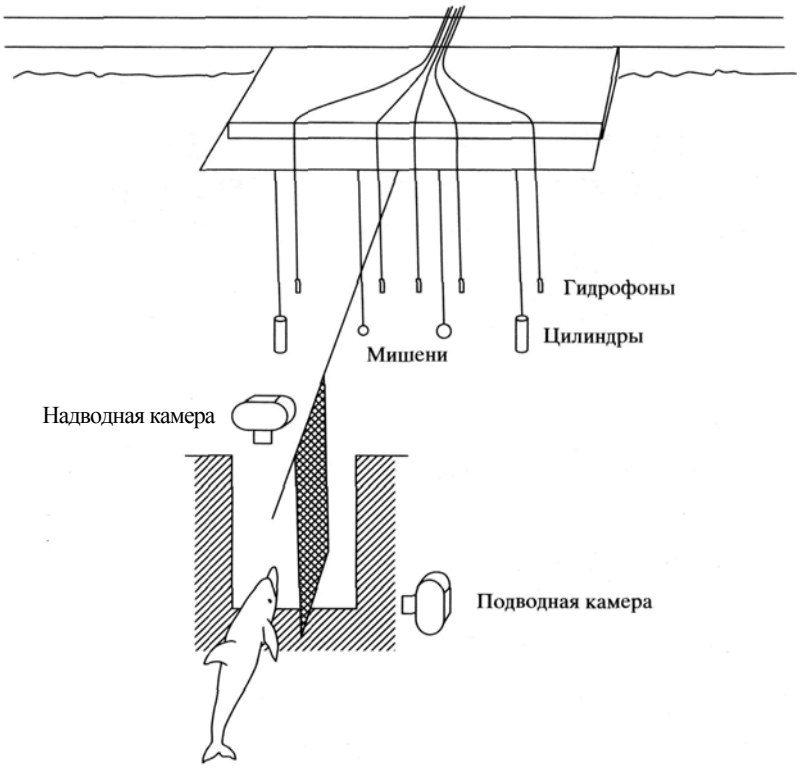

Рис. 1. Схема эксперимента. Дельфин на стартовой позиции.

товой позиции дельфина наблюдались под разными углами относительно мишеней (рис. 2).

В районе старта, во время эхолокации, тремя синхронно работающими кинокамерами (РФК-5М) регистрировалось положение головы дельфина в вертикальной и горизонтальной плоскостях и его зондирующие импульсы. Распределение акустического поля зондирующих импульсов при решении дельфином эхолокационных задач регистрировалось с помощью пяти гидрофонов, расположенных на глубине 1 м в одной плоскости позади мишеней. Неравномерность частотной характеристики в полосе частот до 170 кГц не превышала 3 дБ. Каждый гидрофон был подключен к пяти-

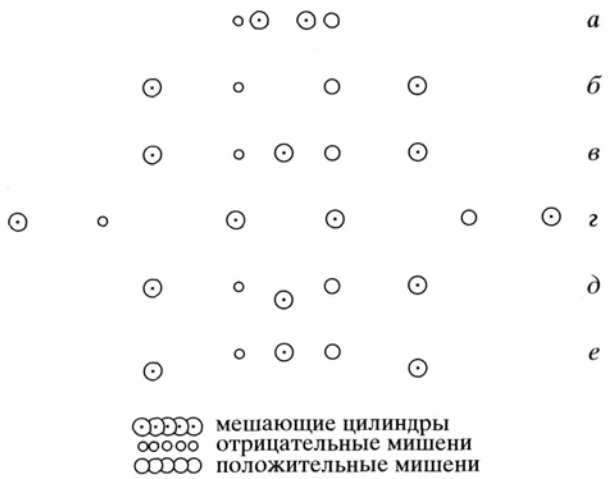

Рис. 2. Схемы расположения мешающих цилиндров относительно дифференцируемых дельфином мишеней (в горизонтальной плоскости).

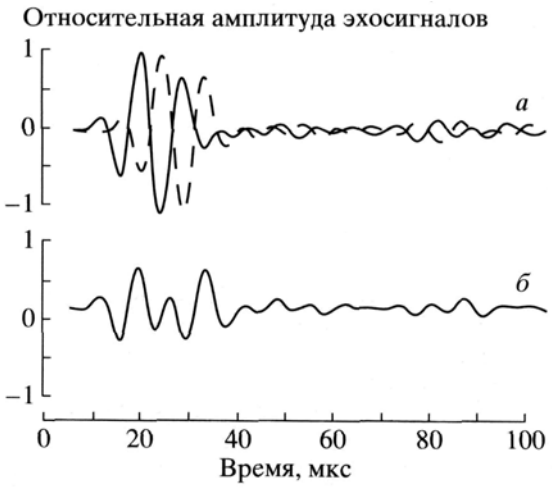

Рис. 3. *а* - эхосигналы от двух стальных цилиндров диаметром 60 мм, при задержке одного из них (штриховая линия) на полпериода (~5 мкс). *б* - сумма этих же эхосигналов, рассчитанная на ЭВМ.

канальному осциллографу, с экрана которого сигналы регистрировались кинокамерой. Синхронный запуск всех трех кинокамер осуществлялся зондирующими импульсами животного с помощью дополнительного гидрофона, располагавшегося приблизительно на 5 см ближе к животному, чем гидрофоны, регистрирующие сигналы. Смещая в некоторых пределах положение гидрофона, можно точно выбрать задержку сигналов относительно начала развертки осциллографа.

Акустическая аттестация мешающих цилиндров проводилась по методике, описанной в работе [4], при облучении их акустическими импульсами, подобными зондирующим импульсам дельфина. Период заполнения эхосигналов практически совпадает с периодом облучающих импульсов и составляет ~10 мкс (рис. 3). Изменяя диаметр цилиндров, можно было варьировать энергию мешающего отражения. Мишени и мешающие цилиндры в процессе экспериментов располагались на одинаковых расстояниях от стартовой позиции дельфина - 7.5 м. Глубина погружения мишеней и мешающих цилиндров 1 м.

Углы между мишенями или мешающими цилиндрами, под которыми они видны со старта дельфина, измеренные относительно разделительной сети, обозначены знаком ±. При разнесении мишеней на угол ±1.4° (слева и справа сети) угол между мишенями составляет 2.8°. Пороговые значения измеряемых параметров определялись по уровню 75% правильных реакций животного.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Полученные в экспериментах пороговые угловые расстояния между мишенями и мешающими объектами не являются основным фактором, влияющим на различение. Цилиндры даже самого большого диаметра (60 мм), расположенные между мишенями (рис. 2, *а*), практически не оказывают мешающего воздействия на различение, пока угловое расстояние между цилиндрами и мишенями больше 0.5° (рис. 4, д). В то же время цилиндры, расположенные снаружи от мишеней и разнесенные на угол, больший угла между мишенями (рис. 2, *б*), могут полностью их замаскировать. Для всех мешающих цилиндров наблюдаются определенные области углов относительно осевой линии (линии разделительной сети), в пределах которых цилиндры оказывают наибольшее мешающее воздействие. В связи с симметрией расположения мишеней и мешающих цилиндров, такие области также расположены симметрично с обеих сторон сети. Поэтому для удобства будем рассматривать одну полуплоскость (правая на рис. 4). В зависимости от диаметра цилиндров ширина области изменяется; для больших она становится шире. При разнесении мишеней на

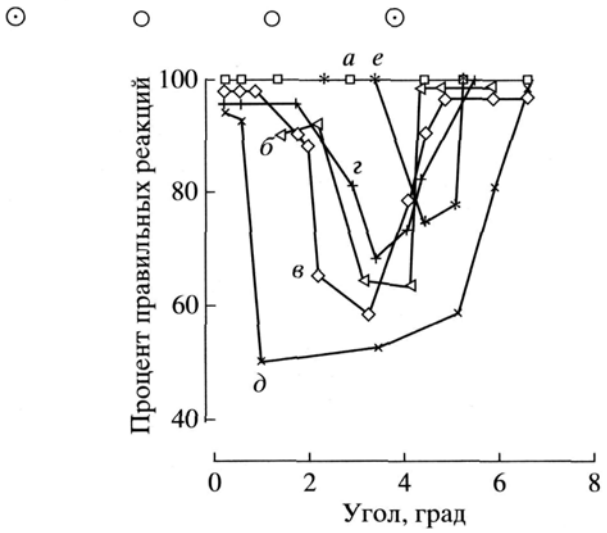

Рис. 4. Различение мишеней дельфином в зависимости от угла разнесения двух мешающих цилиндров относительно разделительной сети (правая полуплоскость).

Диаметры цилиндров: а, е- 1.5; б-2.5; в-6; г-10; *д*-60 мм. Угол разнесения мишеней: *а-д* - ±1.4°; *е* - ±0.35°. Над графиком схема расположения мишеней и цилиндров.

угол +1.4° центр области расположен под углом от ±3° до ±4°.

Стальные стержни диаметром 1.5 мм не мешают различению мишеней, разнесенных на ±1.4° (рис. 4, *а*). Однако эти же стержни могут существенно повлиять на различение при меньшем угловом расстоянии между мишенями, например, для угла ±0.35° (рис. 4, *е*). Характерно, что в последнем случае область сильной маскировки смещается в сторону больших углов, по сравнению с областью маскировки при разнесении мишеней на ±1.4°.

Введение наряду с двумя боковыми третьего цилиндра между мишенями (рис. 2, *в*) не только не затрудняет дельфину различение мишеней, но более того, заметно облегчает решение этой задачи. Так, если дельфин не в состоянии различать мишени на фоне двух цилиндров диаметрами 60 мм и высотой 130 мм, разнесенных на угол меньший ±6° (рис. 4, *д*, 5), то при внесении третьего цилиндра такого же размера задача уверенно решается при угловом расстоянии между крайними цилиндрами, равном ±4° (рис. 5). Внесение центрального цилиндра эквивалентно уменьшению диаметров боковых цилиндров от 60 до 6 мм.

Такая же закономерность наблюдается и в том случае, если мишени разнесены на угол ±5.5° и маскируются четырьмя цилиндрами, два из которых расположены между мишенями на угловом расстоянии ±1.5°, а два других - на ±8° друг от друга (рис. 2, *г*). Наличие четырех цилиндров

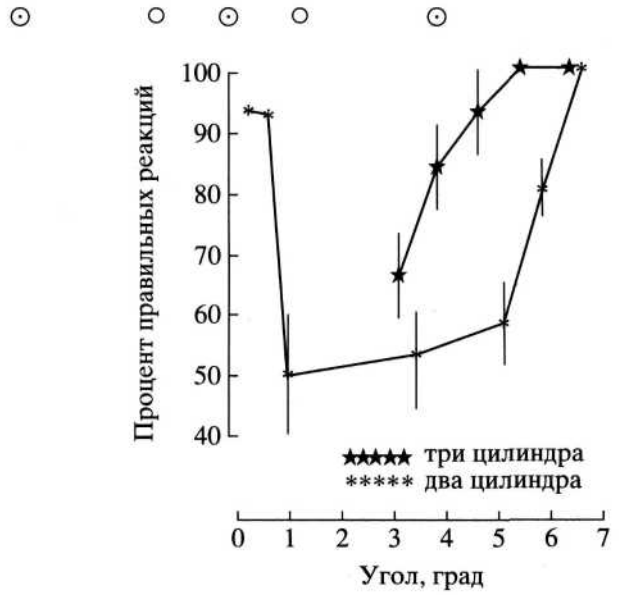

Рис. 5. Влияние центрального цилиндра на эхолокационное различение мишеней дельфином при разных углах разнесения боковых цилиндров относительно разделительной сети (правая полуплоскость). Диаметр цилиндров 60 мм. Мишени разнесены на угол +1.4°. Над графиком схема расположения мишеней и цилиндров.

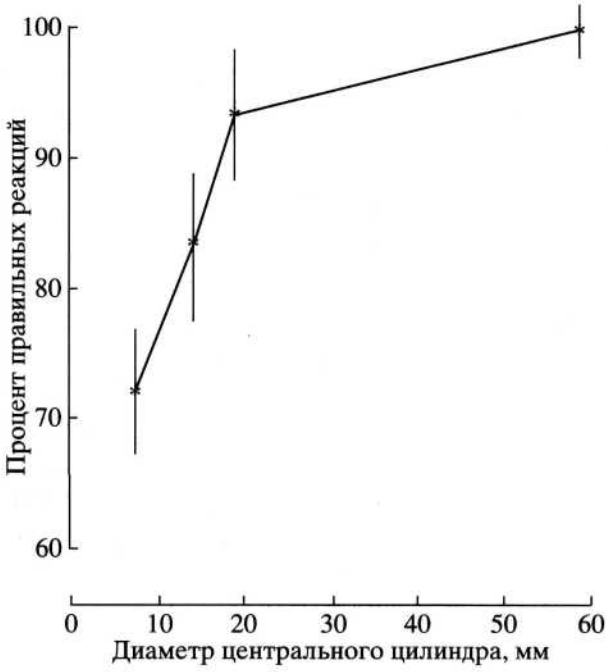

Рис. 6. Различение мишеней дельфином в зависимости от диаметра центрального цилиндра. Боковые цилиндры диаметром 60 мм разнесены на угол ±6°, мишени разнесены на угол +1.4°.

практически не мешает дельфину распознавать мишени, но стоит убрать три из четырех цилиндров, оставив один из крайних, как происходит срыв дифференцировки (таблица).

Наряду с этим при уменьшении диаметра центрального цилиндра с 60 до 10 мм процент правильного дифференцирования мишеней падает до уровня случайного (рис. 6, 2, *е)*.

При смещении центрального цилиндра по направлению к дельфину или от него (рис. 2, *д),* процент правильного различения мишеней также падает до случайного уровня (таблица).

Влияние расположения мешающих цилиндров на выполнение дифференцировочных задач

Процент правильных реакций	Число проходов	Примечания
90 ± 6.8	85	Задача рис. 2, *г*
58 ± 10.2	51	То же, оставлен один из боковых цилиндров
55 ± 11.1	49	Задача рис. 2, д, центральный цилиндр выдвинут к дельфину на 90 мм
51 ±12.1	52	То же, центральный цилиндр смещен от дельфина на 90 мм

Анализ кинограмм положения головы животного и осциллограмм его зондирующих импульсов показал, что дельфин совершает сканирующие движения головой на угол, в 2-7 раз больший угла между мишенями. При этом максимум его излучения с наибольшей вероятностью ориентирован на 3°-5° в сторону от мишеней, и характеристики импульсов, облучающих мишени, определяются склонами диаграммы направленности излучения. По нашим измерениям, максимальная крутизна характеристики направленности излучения может достигать 3 дБ/град.

ОБСУЖДЕНИЕ

Наиболее интересно из полученных результатов, по нашему мнению, то, что три цилиндра мешают эхолокационному различению мишеней меньше, чем два или даже один. В связи с тем, что эхосигналы, приходящие к дельфину, взаимно когерентны, наличие третьего цилиндра между мишенями, по-видимому, дает дельфину возможность использовать интерференцию мешающих эхосигналов от центрального и одного из боковых цилиндров, в результате которой влияние помех уменьшается. Он легко находит область акустического поля, где происходит такая интерференция, назовем ее для удобства изложения - деструктивной, в отличие от интерференции, усиливающей эхосигналы помех.

Очевидно, что наилучшими условиями для этого являются равенство амплитуд эхосигналов от центрального и бокового цилиндров и опережение во времени одного эхосигнала относительно другого на полпериода (~5 мкс). В этом случае мешающие эхосигналы оказываются в противофазе и наиболее эффективно ослабляют друг друга (рис. 3).

Другими словами, из двух мешающих импульсов в результате интерференции получается один, с энергией и амплитудой меньшей каждого исходного. Рассчитанная на ЭВМ энергия двух этих мешающих эхосигналов в результате деструктивной интерференции уменьшается почти в 8 раз. Еще более эффективная картина подавления мешающих эхосигналов наблюдается в спектральной области (рис. 7). На частотах максимума их энергетических спектров и соответственно в области максимальной чуствительности слуха дельфина происходит практически полная компенсация составляющих. При этом более высокочастотные составляющие спектра - помехи оказываются на границе слухового восприятия животного, где, как известно, пороги быстро возрастают. Таким образом, наиболее эффективное мешающее воздействие на эхолокационную систему дельфина, по-видимому, будут оказывать только составляющие спектра помех ниже частоты их полной компенсации.

Отметим, что для эхосигналов, имеющих большую длительность, чем на рис. 3, энергия проинтерферировавших эхосигналов уменьшается практически линейно с увеличением их длительности, но при этом в спектральной области компенсируются частоты в менее широкой полосе.

Дельфин успешно различает мишени пока угол между боковым и центральным цилиндром остается больше ±4°. При этом условии дельфин, находясь на расстоянии 7.5 м от цилиндров, имеет возможность найти такую стартовую позицию, где мешающие эхосигналы эффективно ослабляют друг друга.

Удивительно, что дельфин способен не только находить нужное направление максимума излучения, но и выбирать оптимальное положение головы (излучателя и приемника), обеспечивающее ему наилучшие условия взаимного ослабления эхосигналов от центрального и боковых цилиндров (рис. 8). Так, если цилиндры расположены на одной прямой (рис. 2, в), то дельфин, как правило, выходит на старт приблизительно между боковым и средним цилиндром, т.е. в районе, где можно получить задержку между эхосигналами, соответствующую максимуму их подавления. Если же боковые цилиндры выдвинуты на 40 мм ближе к дельфину (рис. 2, *е*), то он занимает стартовую позицию напротив центрального цилиндра, что также обеспечивает необходимую задержку.

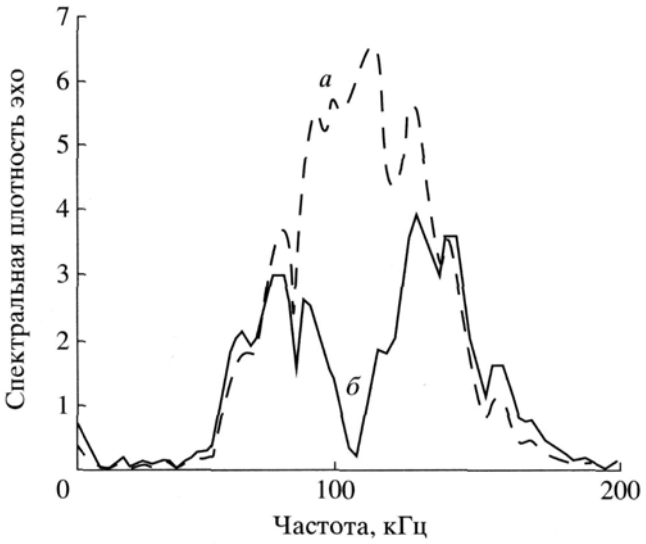

Рис. 7. *а* - спектр эхо стального цилиндра диаметром 60 мм; *б* - спектр суммы эхосигналов, показанных на рис. 3, *б*.

Картина в точности повторяется, если оставить один из крайних и один центральный цилиндры. Интересно, что дельфин запоминает, с какой стороны подвешен боковой цилиндр и соответственно выбирает нужную стартовую позицию. Если перевесить боковой цилиндр на противоположную сторону, то немедленно происходит срыв дифференцировки и дельфину необходимо некоторое время (несколько испытаний), чтобы вновь найти нужную позицию для успешного решения задачи.

Один (боковой) цилиндр, маскирующий любую из мишеней (положительную или отрицательную), в такой же степени влияет на различение, как и два (боковых) цилиндра. Это объясняется тем, что дельфин при решении задачи обязательно сравнивает мишени между собой в каждом испытании, и достаточно замаскировать одну мишень, чтобы он не смог провести сравнение.

В любом случае, выйдя на стартовую позицию к началу разделительной сети, дельфин, эхолоцируя, медленно смещается слева направо или наоборот, выбирая точку, в которой эхосигналы от двух цилиндров максимально ослабляют друг друга.

Анализ распределения интенсивности излучения эхолокационных сигналов в горизонтальной плоскости показывает, что для различения мишеней дельфин использует склоны характеристики направленности излучения. Афалина имеет относительно широкую характеристику направленности излучения, по крайней мере на много больше использованного в опыте углового расстояния между мишенями. Дельфин таким образом ориентирует направленность излучения зондирующих импульсов, чтобы мишени облучались раз-

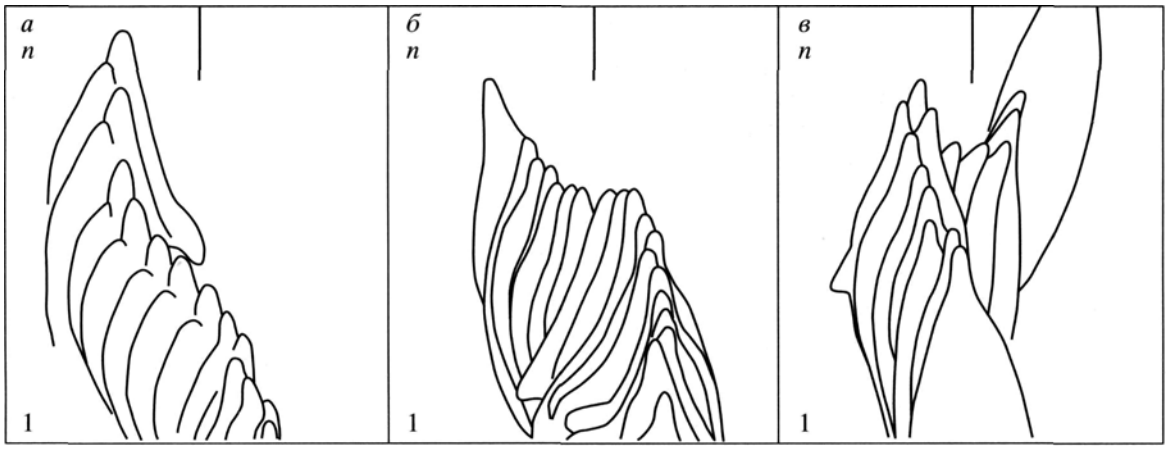

Рис. 8. *а, б* и *в* - примеры миграции дельфина на старте у разделительной сети (кинограммы надводной камеры) при различении мишеней в условиях мешающих отражений от цилиндров по схеме рис. 2, *е*.
Показана последовательность положений головы дельфина (от 1 до *n*) в момент излучения зондирующего импульса. *а* - пример эхолокации "на боку".

ными уровнями склонов диаграммы (рис. 9), за счет чего он и добивается наибольшей разницы в интенсивностях эхосигналов от мишеней, по-видимому, достаточной для выделения полезного эхосигнала. Вследствие такой ориентации направленности, максимум излучения оказывается расположенным под углом от ±3° до ±5° к оси сети (рис. 4) (соответствующие центры областей маскировок). Естественно, что эхосигнал от цилиндра, расположенного в направлении максимума излучения, достигает максимальной амплитуды и в наибольшей степени затрудняет распознавание мишеней.

Нельзя сказать определенно об ориентации характеристики направленности приема животного в этом опыте, но естественно предположить,

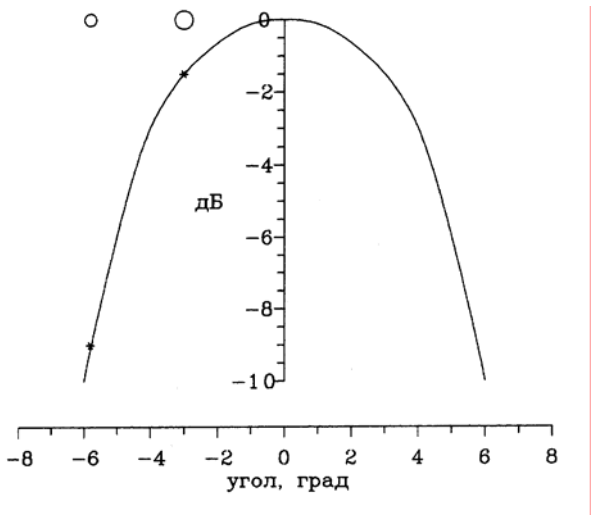

Рис. 9. Пример ориентации диаграммы направленности излучения дельфина в горизонтальной плоскости относительно мишеней (показаны над кривой).

что направление максимума чувствительности слуха совпадает с направлением максимума излучения. В этом случае еще больше возрастает крутизна краев сквозной характеристики направленности, достигая, вероятно, 5 дБ/град, благодаря чему афалина уверенно различает мишени, разнесенные на угол, во много раз меньший ее диаграммы излучения.

Дельфин, отстраиваясь от мешающих отражений крайних цилиндров, может в некоторых пределах, определяемых в первую очередь необходимостью различать мишени, изменять ориентацию максимума излучения. Эту же возможность дельфин, вероятно, использует для выравнивания эхосигналов от бокового и среднего цилиндров в случае, когда они имеют разные диаметры.

Этим же можно объяснить и факт смещения максимума излучения и соответственно области наиболее сильной маскировки до ±5° (рис. 4, *е*) для различения мишеней при угловом расстоянии между ними ±0.35°. В этом случае дельфин, по-видимому, использует участок характеристики направленности излучения наиболее удаленный от максимума и более крутой.

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что способность дельфина к высокому угловому разрешению мишеней и цилиндров при их различении можно объяснить, используя направленность его эхолокационных сигналов и слуха без привлечения способности к бинауральному восприятию.

Другие результаты работы также выходят за рамки известных моделей бинаурального слуха. Это срыв дифференцировки мишеней при смещении вперед или назад центрального цилиндра на расстояние, при котором задержка становится больше длительности зондирующего импульса и мешающие эхосигналы не интерферируют меж-

ду собой. Уменьшение центрального цилиндра по отношению к боковому также вызывает падение процента правильного различения мишеней, что связано с ухудшением условий для взаимного подавления мешающих эхосигналов. Следует отметить, что при решении особенно сложных эхолокационных задач дельфин часто разворачивался вдоль своей продольной оси на угол до 90°, лоцируя "на боку" (рис. 8, *а*). В этом случае слуховые проходы афалины располагаются в вертикальной плоскости, что сводит на нет возможность применения бинаурального слуха для разрешения мишеней в горизонтальной плоскости.

По данным наших измерений, а также по данным работ [5, 6], в вертикальной плоскости диаграммы направленности как излучения, так и слуха афалины асимметричны, и один из склонов имеет большую крутизну, чем в горизонтальной плоскости. Лоцируя "на боку", афалина, по-видимому, использует именно эту особенность для большего ослабления мешающего эхосигнала.

На вопрос о том, как дельфин может выделить полезный эхосигнал на фоне реверберационных помех, в какой-то мере отвечают эксперименты с человеком.

Три громкоговорителя, расположенные по дуге окружности радиусом 1 м на расстоянии 0.25 м друг от друга, одновременно излучали взаимно когерентные импульсы, полученные путем воздействия на громкоговорители коротких видеоимпульсов. Испытуемый, находящийся в центре окружности, должен был обнаружить импульсы, приходящие со среднего громкоговорителя. Импульсы полезного сигнала были более высокочастотными (максимум энергии на 3 кГц), чем мешающие импульсы (максимум энергии на 1 кГц). При отношении полезный сигнал/помеха, равном -12 дБ, испытуемый, слушая обоими ушами, не мог решить задачу. Если же прием осуществлялся через микрофон и передавался испытуемому посредством головных телефонов, то, перемещая микрофон, можно было легко найти точку, в которой вследствие деструктивной интерференции мешающих сигналов отношение сигнал/помеха было достаточным для выделения полезного сигнала. Практически также хорошо обнаруживался полезный сигнал при прослушивании одним ухом.

Известно, что из-за стереофонического эффекта при бинауральном приеме сигналы не только не подавляются взаимно, но наоборот, усиливают друг друга и воспринимаются как один сигнал, приходящий с направления, определяемого соотношением их амплитуд или временной задержкой одного из них [7]. Для задержек меньших 600 мкс направление определяется первичным сигналом. Это явление называется законом "первой волны", и в соответствии с ним, эхосигналы от мешающих цилиндров должны ощущаться дельфином как одна помеха, совпадающая по направлению с эхосигналом от полезной мишени. В этом случае мешающее воздействие этой помехи должно бы быть больше, чем от одного цилиндра. В то же время использование деструктивной интерференции эхосигналов от мешающих цилиндров исключает возможность использования дельфином бинаурального слуха, для которого характерен стереофонический эффект.

В настоящее время в литературе обсуждаются два возможных пути проведения звука к внутреннему уху у дельфинов. Один из этих путей предполагает либо непосредственное прохождение звука к внутреннему уху через структуры головы, имеющие плотность, близкую к плотности воды, либо через закрытые слуховые проходы и среднее ухо [13-16]. Логическим продолжением исследований в этом направлении стало изучение бинаурального восприятия звука дельфинами [17, 21]. Вполне естественно, что эти работы проводились не в эхолокационных экспериментах, а при решении животными обычных слуховых задач, и не в дальнем акустическом поле, а с использованием контактных излучателей [21], либо в ближнем поле на расстояниях до 1 м от излучателя [17, 18]. Эти методики, вероятно, подходят для исследования "пассивного" [1] слуха, но они, по-видимому, могут исключать другие возможные пути проведения звуковых сигналов к внутреннему уху и лишают афалину возможности использовать монауральный прием.

Другой путь предполагает прохождение звука через "звуковое окно" нижней челюсти дельфина, прежде чем он достигнет внутреннего уха [8-12, 19, 20-23] или передачу его с переднего направления непосредственно по мягким тканям нижней челюсти к промаксилярным участкам наружных слуховых проходов [3]. По нашему мнению, наиболее вероятный механизм монауурального восприятия у дельфина может обеспечиваться благодаря именно этому пути звукопроведения, через нижнюю челюсть. База приема в этих случаях не превышает ширину нижней челюсти и почти на порядок меньше расстояния между наружными слуховыми проходами животного, что может обеспечивать необходимые предпосылки для монауурального восприятия. Итак, проходя по этому пути, звук, по-видимому, достигает левого и правого внутреннего уха синфазно, т.е. без интерауральных различий в интенсивностях и фазах.

Факты, полученные в данной работе, свидетельствуют о том, что пространственный слух афалины, при решении эхолокационных задач, осуществляется с помощью монауурального приема, обеспечивая эхолокатору лучшую (практически идеальную) защищенность от реверберационных помех по сравнению с возможностями бинаурального приема. Они расширяют наше представление о функциональных возможностях пространственного слуха эхолоцирующих живот-

ных и дают еще одно из свидетельств специфичности эхолокационного "активного" [1] слуха.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Дубровский НА.* Эхолокационный анализатор черноморской афалины // Черноморская афалина. М.: Изд-во Наука, 1997. С. 544-574.
2. *Заславский ГЛ.* Различение афалиной мишеней, расставленных на небольшой угол // Матер. X Всесоюзн. акустич. конф. М., 1983. С. 46-49.
3. *Липатов Н.В., Солнцева Г.Н.* Морфофункциональные особенности наружного слухового прохода белобочки и афалины // Бионика. 1974. Вып. 8. С. 113-117.
4. *Рябов В.А.* Спектрально-временной анализ акустических импульсных сигналов дельфином афалиной. Дис. ... канд. биол. наук. СПб., 1991. 159 с.
5. *Au W.W.L.* Echolocation signals of the atlantic bottlenose dolphin *(Tursiops truncatus)* in open water // Animal Sonar Systems. New York: Plenum Press, 1980. P. 251-282.
6. *Au W.W.L., Moore P.W.B.* Dolphin beam patterns // J. Acoust. Soc. Am. 1984. V. 75. P. 257-261.
7. *Blauert J.* Sound localization in the median plane // Acustica. 1969/1970. V. 22. P. 200-213.
8. *Brill R.L.* The jaw-hearing dolphin: preliminary behavioral and acoustics evidence // Animal Sonar. Processes and performance / Eds P.E. Nachtigal, P.W.B. Moore New York: Plenum Press, 1988. P. 281-287.
9. *Brill R.L.* Behavioral and acoustic evidence for the reception of echolocation signals at the lower jaw of dolphin *(Tursiops truncatus)* // International symposium Sensory systems and behavior of aquatic mammals. M., 1991. P. 24-25.
10. *Brill R.L.* The effect of attenuating returning echolocation signals at the lower jaw of a dolphin *(Tursiops truncatus)* //J. Acoust. Soc. Amer. 1991. V. 89. P. 2851-2857.
11. *Brill R.L., Sevenich M.L., Sullivan T.J., Sustman J.D., Witt R.E.* Behavioral evidence for hearing through the lower jaw by an echolocating dolphin *(Tursiops truncatus)* //Marine Mammals Science. 1988. V. 4. P. 223-230.
12. *Bullock T.H., GrinellA.D., Ikezono E., Kameda K., Katsuki J., Nomota M., Sato O., Suga N., Yanagisawa K.* Electrophysiological studies of central auditory mechanisms in cetaceans // Z. Vergl. Phisiol. 1968. B. 59. S. 117-156.
13. *Dudok van Heel.* Sound and Cetacea // Neth. J. Sea Res. 1962. № 1. P. 407-507.
14. *Fraser F.C., Purves P.E.* Hearing in the cetaceans // Bull. Brit. Museum Nat. History, Zool. 1954. V. 7. № *2.* P. 103-116.
15. *Fraser F.C., Purves P.E.* Hearing in the cetaceans: Evolution of the accessory air sacs and the structure and function of the outer and middle ear in recent cetaceans// Bull. Brit. Museum Nat. History, Zool. 1960. V. 7. № 1.P. 1-140.
16. *Fleischer G.* Evolutionary principles of the mammalian middle ear //Advances in anatomy embryology and cell biology. Berlin: Springer, 1978. V. 55. P. 98-108.
17. *Popov V.V., SupinA.Ya.* Electrophysiological study of the interaural intensity difference and interaural time-delay in dolphins // Marine Mammal Sensory Systems / Eds J. Thomas et al. New York: Plenum, 1992. P. 225-268.
18. *Popov V.V., SupinA.Ya., Klishin V.O.* Electrophysiological study of sound conduction in dolphin // Marine Mammal Sensory Systems / Eds J. Thomas et al. New York: Plenum, 1992. P. 269-276.
19. *McCormick J.G., Wever E.G., Palin J., Ridgway S.H.* Sound conduction in the dolphin ear // J. Acoust. Soc. Amer. 1970. V. 48. P. 1418-1428.
20. *McCormick J.G., Wever E.G., Redgway S.H., Palin J.* Sound reception in the dolphin ear as it relates to echolocation // Animal Sonar Systems. New York: Plenum, 1980. P. 449-467.
21. *Moore P.W.B., Pavlosky D.A.* Binaural hearing in the bottlenose dolphin *(Tursiops truncatus)* // Intern. Sympos. Sensory systems and behavior of aquatic mammals. M., 1991. P. 68-70.
22. *Norris K.S.* Some problems of echolocation in cetaceans// Marine bio-acoustics. New York: Pergamon, 1964. P. 316-336.
23. *Norris K.S.* The evolution of acoustic mechanisms in odontocete cetaceans // Evolution and Environment. New Haven-Lond: Jail Univ. Press, 1968. P. 297-324.

Discrimination of Targets at Interfering Reflections and Monaural Hearing of the Bottlenose Dolphin

V. A. Ryabov, G. L. Zaslavsky

Karadag Natural Reserve the National Academy of Sciences of Ukraine, 334876 Ukraine, Crimea, Feodosiya, Kurortnoe, ul. Nauki, 24

Echolocation recognition of the targets by a dolphin in conditions of interfering reflections from steel cylinders, at angles between them less of the radiation beam width, was studied. Performing echolocation tasks, the dolphin found an optimal position of the head (emitter and receiver) which provided the best conditions for mutually suppression interfering echoes, as a result of their interference. The energy of two interfering reflections was decrease about 8-fold, and there was complete compensation of spectrum components interfering within the range of the hearing sensitivity maximum. The dolphin used both emission and perception beam slopes to increase the signal to interfering echo difference. When performing echolocation tasks, the dolphin uses monaural hearing which provides the best immunity from reverberations.

Key words: dolphin, echolocation, hearing, reverberation, monaural, interference.