

А К А Д Е М И Я Н А У К С С С Р

Научный совет по комплексной проблеме «Кибернетика»

БИОНИКА

(ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК)

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

Москва 1965

К ВОПРОСУ О ЗВУКООБРАЗОВАНИИ И НАПРАВЛЕННОСТИ ЗВУКОВ У ДЕЛЬФИНОВ

Е. В. РОМАНЕНКО, А. Г. ТОМИЛИН, Б. А. АРТЕМЕНКО

Несмотря на то, что о голосе дельфинов знали еще в древности (Аристотель, Плиний), изучение звуков китообразных началось особенно интенсивно в годы Второй Мировой войны: для борьбы с неприятельскими подводными лодками требовалось точное распознавание характера звуков, в том числе биогенных, производимых разными животными.

У ныне живущих китообразных наиболее важное значение из органов чувств имеет слуховой анализатор. Эти животные воспринимают звуковые колебания от сотни герц до 170 *кГц* и издают звуки примерно в этих же пределах (Kükenthal, 1893; Schevill, Lawrence, 1953). Было установлено, в частности, что звуки дельфинов весьма разнообразны (Томилин, 1948; Schevill, Lawrence, 1953; Lilly, Miller, 1961; Lilly, 1962), но тем не менее могут быть сведены в три группы (Lilly, Miller, 1961): свисты (единицы килогерц), высокочастотные импульсы, воспринимаемые как щелканья, с частотами заполнения до десятков килогерц (эти звуки используются дельфинами при эхолокации), и сложные звуки, слышимые как кряканье. При свистах выделяются из дыхания дельфинов струйки воздушных пузырьков, при щелканьях — пузырьки отсутствуют.

В процессе излучения звука принимают участие воздушные мешки, расположенные в мягких тканях головы дельфина над костными ноздрями. Воздушные мешки разных видов зубатых китов изучались с давних пор (Baer, 1826) и притом многими авторами (Клейненберг, Яблоков, 1958; Kükenthal, 1893; Rawitz, 1900; Raven, Gregory, 1933; Lawrence, Schevill, 1956), но нередко описывались противоречиво.

Келлог (Kellogg, 1958, 1959) наблюдал, что во время поиска и эхолокации дельфин афалина как бы нацеливается на объект головой и производит ею колебательные движения вправо — влево на угол, примерно равный 10° . Такое наблюдение было первым намеком на существование направленности звукоизлучения у дельфинов. Позднее к этой мысли пришли Эванс и Прескотт (Evans, Prescott, 1962). Они пропускали под давлением воздух через гортань и носовой канал в отрезанных головах продельфина и афалины. Полученные при этом звуки несколько напоминают звуки живых дельфинов. Измерение давления этих звуков на одинаковом расстоянии

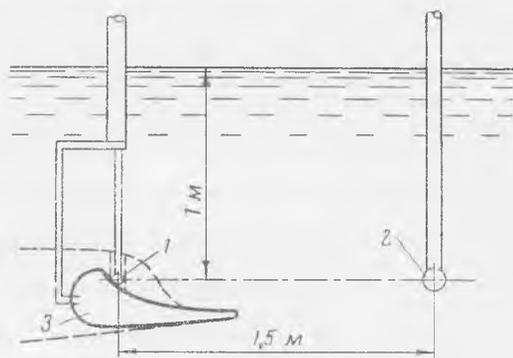


Рис. 1. Схема опыта с головой дельфина-белобочки:

1 — излучатель звука; 2 — приемник звука; 3 — голова дельфина

(38 см) от дыхала в разных секторах показало некоторую направленность излучения звука. Эванс и Прескотт предположительно объяснили существование направленности действием жировой подушки дельфинов как акустической линзы и действием черепа как фокусирующей системы.

Других данных, подтверждающих существование направленности звука, издаваемого дельфинами, в литературе нет. Мы поставили цель выяснить с помощью эксперимента роль головы дельфина-белобочки (*Delphinus delphis*) как возможного концентратора звуковых колебаний в формировании диаграммы направленности. Схема опыта изображена на рис. 1.

Излучателем звука в нашем опыте служила сфера (диаметр 1,6 см) из керамического титаната бария, которая была вмонтирована в голову мертвого дельфина в районе расположения воздушных мешков (1). Излучатель питался от звукового генератора. Приемником звука служила сфера из титаната бария диаметром 3 см, расположенная на расстоянии 1,5 м от излучателя, вмонтированная в голову (2). Голова дельфина с излучателем и приемник звука во время измерений располагались в воде на глубине 1 м. Диаграмма направленности исследовалась при вращении головы дельфина относительно вертикальной оси, проходящей через излучатель. Предварительно проверялась диаграмма направленности излучателя в плоскости, перпендикулярной оси держателя. Выяснено, что в рабочем диапазоне частот диаграмма круговая.

Процесс измерений включал в себя два этапа. На первом этапе исследовалась диаграмма направленности, формируемая целой головой дельфина (череп с мягкими тканями). В этом случае излучатель звука вводился в голову дельфина через дыхало до упора в переносицу. На втором этапе исследовалась диаграмма направленности, формируемая черепом без мягких тканей. Излучатель укреплялся в том же месте, что и в предыдущем случае. Режим работы излучателя был импульсный, с длительностью

импульсов 1 мсек. Это позволило исключить погрешности измерений за счет возможных отражений звука от поверхности воды, дна и посторонних предметов.

Результаты измерений представлены на рис. 2. Сплошными линиями нанесены диаграммы направленности, обусловленные черепом дельфина без мягких тканей. Диаграммы сняты на частотах 10, 20, 30, 40, 60, 80,

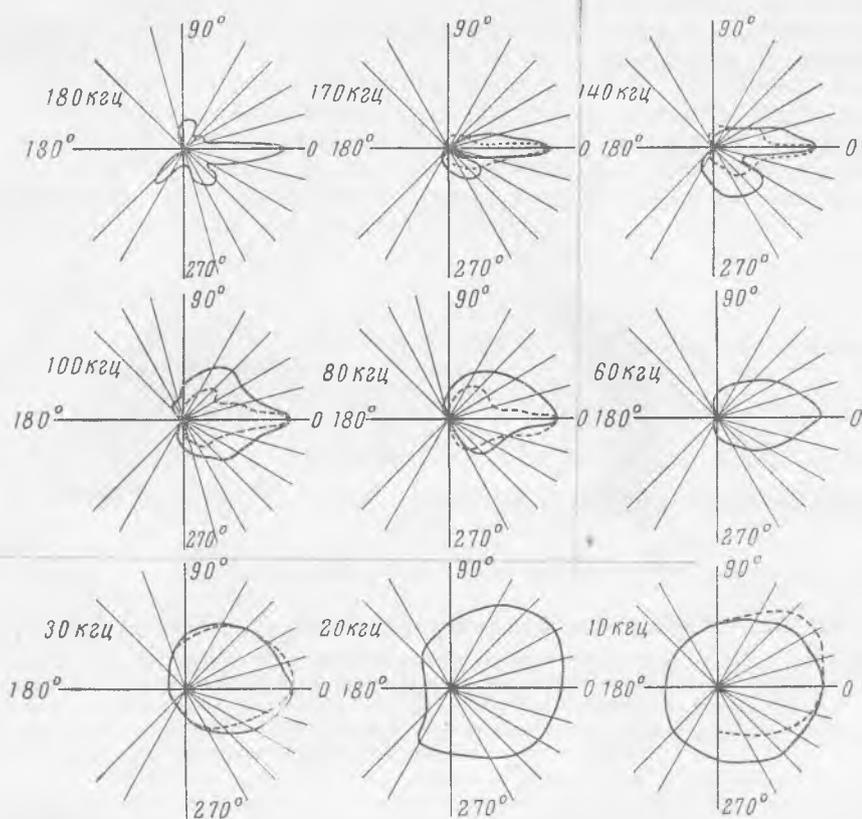


Рис. 2. Диаграммы направленности звука, формируемые головой дельфина-белобочки

100, 110, 140, 170, 180 кГц. Отчетливо видно, что диаграмма направленности заметно сужается при изменении рабочей частоты от низкой к высокой. На 30 кГц диаграмма направленности имеет ширину около 90° , на уровне 0,7 от максимальной величины сигнала. На частоте 180 кГц ширина диаграммы составляет всего около 17° .

Пунктиром обозначены диаграммы направленности, обусловленные черепом с мягкими тканями. Измерения в этом случае проведены на частотах 10, 30, 80, 100, 140, 170 кГц. Легко заметить, что диаграммы направленности, обусловленные целой головой дельфина (череп с мягкими тканями), на частотах 80 кГц и выше примерно в два раза уже диаграмм направленности, обусловленных лишь одним черепом. Можно сделать вывод, что мягкие ткани головы дельфина (жировая подушка и пр.) играют некоторую положительную роль в сужении диаграмм направленности на высоких частотах, хотя основную роль в формировании направленности играет череп.

Следует отметить, что представленные на рис. 2 диаграммы направленности не следует отождествлять с диаграммами направленности звуков

живого дельфина, так как излучатель звука, использовавшийся в эксперименте, существенно отличается от естественных излучателей звука дельфинов (воздушных мешков). Представленные результаты позволяют лишь качественно оценить способность дельфина к направленному излучению звуков.

Чтобы было ясно, насколько излучатель звука в описанном эксперименте отличается от естественных излучателей звука дельфина, в настоящей работе приводятся также результаты исследования серии препаратов головы дельфина-белобочки.

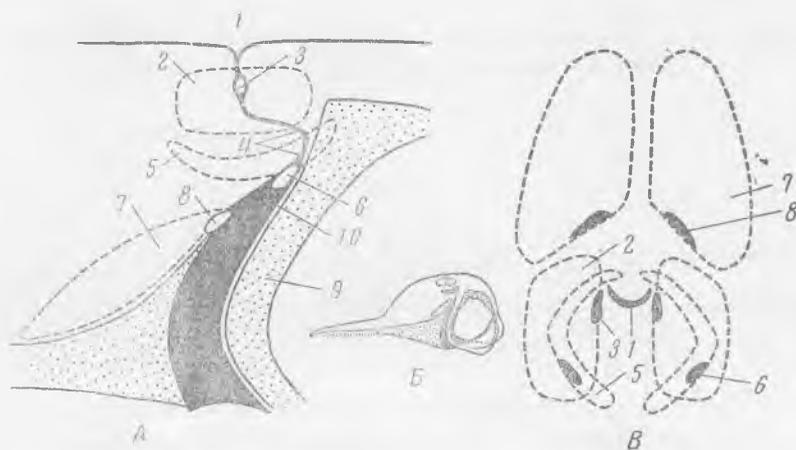


Рис. 3. Схема расположения воздушных мешков дельфина-белобочки

(А, Б — сагиттальный разрез, В — проекция сверху):

1 — щель; 2 — вестибулярный мешок; 3 — его отверстие в носовой канал; 4 — мускульная пробка, запирающая носовой канал; 5 — тубулярный мешок; 6 — его отверстие в носовой канал; 7 — премаксиллярный мешок; 8 — его отверстие в носовой канал; 9 — кости черепа; 10 — носовой канал

В результате препарирования было обнаружено (ранее это было показано Лоуренс и Шевиллом, 1956) на афалине *Tursiops truncatus* три пары мешков (рис. 3):

1. Вестибулярные (самые верхние) — очень емкие и широкие — имеют выход сбоку в носовой канал на 1 см ниже наружной щели дыхала. К ним прикрепляются несколько слоев радиально расположенных мышц, способных при сокращении выдавливать воздух из этих резервуаров.

2. Тубулярные — имеют форму изогнутых трубок (правой и левой) вокруг ноздри и залегают ниже вестибулярных. Эти мешки соединены с носовым каналом с задне-боковой стороны ниже основной мускульной пробки. По-видимому, воздух в них, перекрытый пробкой, может циркулировать без выхода наружу.

3. Премаксиллярные — очень крупные, залегают на межчелюстных костях в их проксимальной части. Открываются впереди костных ноздрей у самого основания мягкой части носового канала.

Выяснение роли каждого мешка в механизме звукообразования — сложная задача, которая потребует специальных экспериментов с особой методикой. Можно думать, что функции мешков в звукообразовании дифференцированы, так как один и тот же дельфин способен издавать одновременно три типа звуков (Lilly, Miller, 1961; Lilly, 1962).

Вестибулярные мешки при издавании свиста могут играть роль резервуаров, из которых воздух под давлением соответствующих мышц вырывается через узкую щель закрытого дыхала. В воде в такой момент видно, как из дыхала выделяется струйка воздушных пузырьков и края сомкнутой щели слабо шевелятся (Томилин, 1948). Это отчетливо заметно и при свисте животных вне воды. Во время лова, когда стягивают аломан с дельфинами, тысячи таких пузырьков поднимаются на поверхность. Бывали случаи обмета аломаном лишь нескольких дельфинов; по движению этих одиночек и по пузырькам можно было заключить, что свистят животные, находясь даже у дна кошеля, т. е. на глубине 30—40 м, следовательно, мешки преодолевают давление в 3—4 атм. Щелканья не сопровождаются выделением пузырьков, как это установлено в океанариумах, и обрываются, вероятно, при участии нижних мешков, выход из которых прекращается основной мускулистой пробкой.

ЛИТЕРАТУРА

- Клейненберг С. Е., Яблоков А. В. 1958. О морфологии верхних дыхательных путей китообразных. — Зоол. ж., т. 37, вып. 7.
- Лилли Дж. 1965. Человек и дельфин. М., Мир.
- Томилин А. Г. 1948. К биологии и физиологии черноморских дельфинов. — Зоол. журн., т. 27, вып. 1.
- Вагнер К. Е. 1826. Die Nase der Cetaceen erläutert durch Untersuchung der Nase des Brautfisches. — Isis.
- Evans W. E., Prescott J. H. 1962. Observations on the sound production capabilities of the bottlenose porpoise: a study of whistles and clicks. — Zool. (USA), 47, N 3.
- Kellogg W. N. 1958. Echo ranging in the porpoise. — Science, 128, N 3330.
- Kellogg W. N. 1959. Auditory perception of submerged objects by porpoises. — J. of the Acoustical Society of America, 31, N 1.
- Kellogg W. N., Kohler R., Morris H. N. 1953. Porpoises sound and sonar signals. — Science, 117, N 3036.
- Kükenthal W. 1893. Vergleichend — anatomische und entwicklungsgeschichtliche Untersuchungen an Walthieren. Denkschriften der Medicinisch-naturwiss. Gesellschaft., Jena, 3.
- Lawrence B., Schevill W. E. 1956. The functional anatomy of the Delphinid nose. — Bull. Museum Comparative Zool., 114, N 4.
- Lilly J. C., Miller A. M. 1961. Sound emitted by the Bottlenose dolphin the audible emission underwater or in the air of captive dolphins are remarkable complex and varied. — Science, 133, N 3465. — Vocal exchanges between dolphins. — Science, 134, N 3493.
- Lilly J. C. 1962. Vocal of the bottlenose dolphin. — Proc. Amer. Philos. Soc., 106, N 6.
- Schevill W. E., Lawrence B. 1953. High frequency auditory response of a bottlenosed porpoise. — J. Acoust. Soc. Americ., 25, N 5.
- Raven H. C., Gregory W. K. 1933. The spermaceti organ and nasal passages of the sperm whale (*Physeter catodon*) and other Odontoceti. — Amer. Museum Novitates New York, N 677.
- Rawitz B. 1900. Die Anatomie des Kehlkopfes und der Nase von *Phocaena communis*. — Inter. Monatsschr. Anat. Phys., 17, H. 6—8.