

УДК 591.185:599, 537

О механизме излучения и формирования эхолокационных сигналов афалиной

Романенко Е.В.

В общем комплексе биоакустических проблем вопрос о механизме излучения и формирования дельфинами звуковых сигналов является наименее изученным. К настоящему времени накоплен значительный материал сведений по морфологии предположительно излучающих структур и характеристикам звуковых сигналов в дальнем поле излучения. Однако морфологический анализ дает лишь косвенные сведения по интересующему вопросу. Анализ характеристик звуковых сигналов может дать более надежное представление о механизме излучения, но лишь в том случае, если звуковые сигналы не очень заметно искажены в процессе распространения. Наименее искаженные сигналы при наличии отражающих объектов могут быть зарегистрированы только вблизи источника.

Попытки регистрации звуков дельфина в непосредственной близости от источника излучения /на голове дельфина/ неоднократно предпринимались зарубежными исследователями. Однако методический уровень этих работ был невысок. В частности передача информации с дельфина на берег к регистрирующей аппаратуре осуществлялась по проводам, что значительно усложняло эксперимент и сковывало движения животного.

В наших исследованиях также была применена методика изучения звуковых сигналов дельфина в непосредственной близости от источника /на голове/. В качестве звукоприемников применяли миниатюрные цилиндрические /диаметр 2 мм, высота 3 мм/ и плоские /диаметр 3 мм/ пьезоэлектрические гидрофоны, закрепляемые на голове дельфина с помощью присосок. Регистрацию звука осуществляли с помощью трехканального магнитофона, закрепляемого непосредственно на дельфине /на спинном плавнике/. Передача информации с гидрофонов к магнитофону осуществлялась по экранированным проводам с внешним диаметром 1,2 мм. Магнитофон был специально сконструирован для регистрации звуков под водой в широкой полосе частот /500 гц - 100 кгц/. Управление работой магнитофона /включение и выключение в нужные моменты времени/ осуществляли по подвод-

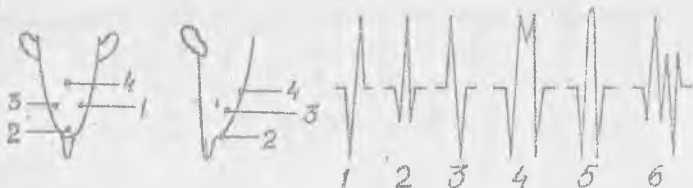


Рис. 1.

Схема размещения гидрофонов на голове дельфина. 1-гидрофон А1, 2-гидрофон А2, 3-гидрофон А3, 4-дыхало.

норму радиоканалу.

Рис. 2.

Схематическое представление наиболее типичных эхолокационных импульсов афалины.

На рис 1 показана схема расположения гидрофонов на голове афалины. В процессе эксперимента дельфину предлагалась рыба /атлантическая ставрида размером около 20 см/, которую он локализовал. Излучаемые при этом эхолокационные сигналы регистрировались описанным выше методом.

Анализ большого числа эхолокационных импульсов показал, что форма импульсов в самом начале и конце эхолокационной серии нестабильна, в то время как в середине серии на большой протяженности можно наблюдать импульсы вполне определенной формы.

Наиболее типичные импульсы, регистрируемые боковыми гидрофонами, схематически показаны на рис 2 /1, 2 и 3/, а передним гидрофоном - на рис 2 /4, 5 и 6/. Не следует понимать так, что импульсы 4, 5 и 6 однозначно соответствуют импульсам 1, 2 и 3. Здесь представлены 6 различных импульсов.

Совершенно уверенно можно отметить следующие особенности:

1. Форма импульсов не остается неизменной в течение одной серии /на рис 2 все импульсы взяты из одной серии/.

2. Импульсы, зарегистрированные боковыми гидрофонами, как правило, короче импульсов, зарегистрированных передним гидрофоном /примерно в 1,5 - 2 раза/.

3. Импульсы, излучаемые вперед, имеют обычно более сложную форму чем импульсы, излучаемые в боковых направлениях.

Анализ формы импульсов позволяет сделать следующие выводы:

1. Излучение имеет нерезонансный характер.

2. Импульсы, распространяющиеся в боковых направлениях, можно, по видимому, рассматривать как элементарные /непосредственно излучаемые/. Импульсы, распространяющиеся вперед, по видимому являются

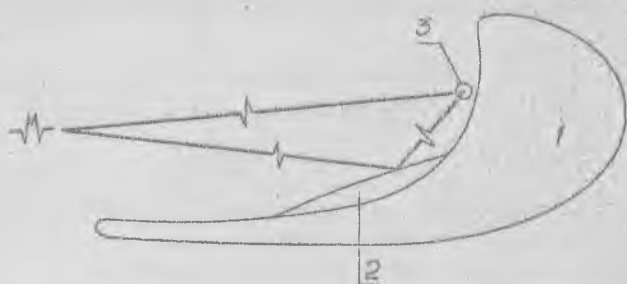


Рис. 3.

Схема формирования эхолокационного сигнала дельфином  
1-череп, 2-премаксиллярный мешок, 3-излучатель.

составными из элементарных /по крайней мере из двух элементарных/. Возможная схема формирования распространяющихся вперед импульсов показана на рис. 3. Отражение импульсов от премаксиллярных мешков, заполненных воздухом, приводит к изменению фазы импульса на обратную. Увеличение пути распространения при этом дает задержку во времени. Суперпозиция импульса, излученного вперед, и импульса, отраженного от премаксиллярных мешков, дает эхолокационный импульс более сложной формы.

Источником излучения вполне могут быть трубчатые мешки /это предположение не ново и неоднократно высказывалось многими исследователями/. Форма их такова, что они едва ли могут быть резонансными.

Нетрудно оценить расход воздуха, необходимого для излучения локационной серии, состоящей, например, из 100 импульсов по 50 мксек каждый. Предположим, что излучение каждого импульса осуществляется кратковременным вдуванием порции воздуха в мешок через сфинктер по следующему закону

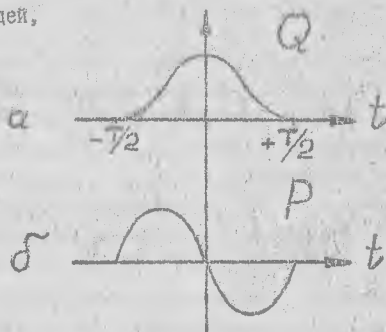


Рис. 4.

Закон изменения  $Q$  и  $P$

О механизме излучения и формирования сигналов

$$\left. \begin{array}{l} Q=0 \\ Q=Q_0(1+\cos\omega t) \\ Q=0 \end{array} \right\} \begin{array}{l} t < -\frac{T}{2} \\ -\frac{T}{2} < t < \frac{T}{2} \\ t > \frac{T}{2} \end{array} \quad /1/$$

Здесь  $Q$  — объемная скорость стенок мешка,  $T$  — длительность импульса,  $t$  — время.

На рис 4а показан закон изменения объемной скорости.

Для простоты расчета примем, что излучателем является сфера с радиусом  $a = 1$  см /но не обладает резонансными свойствами/. Тогда давление на поверхности сферы будет иметь вид [1]:

$$P = -\frac{\rho}{4\pi} \cdot \frac{dQ}{dt}, \quad /2/$$

$$\frac{dQ}{dt} = -\omega Q_0 \sin\omega t$$

Здесь  $\rho$  — плотность среды, окружающей сферу;  $t$  — время,  $\omega = 2\pi/T$ .

Форма волны давления показана на рис 4б.

Будем считать, что на сфере  $P_0 = 10^4$  бар.

Объем воздуха, вдуваемый в излучающую полость за время одного импульса, равен

$$V_{\text{имп}} = \int_{-T/2}^{T/2} Q(t) dt = Q_0 T \quad /3/$$

Значение  $Q_0$  можно вычислить из соотношений /2/, тогда

$$V_{\text{имп}} \approx 5 \cdot 10^{-5} \text{ см}^3$$

При ста импульсах в серии  $100 V_{\text{имп}} \approx 5 \cdot 10^{-3} \text{ см}^3$ .

Полученный результат показывает, что при излучении дельфином эхолокационных серий расход воздуха оказывается незначительным. Становится понятным, как дельфины могут излучать очень длинные серии и даже несколько серий подряд без заметного изменения режима излучения.

Приведенные результаты предварительны. Для полного решения вопроса необходимы дальнейшие систематические исследования как в экспериментальной, так и в теоретическом плане.

#### Литература

1. Морз Ф. Колебания и звук. 1945, ГИИТТ, М.-Л.

T-06287 от 31/V-73 г. Уч.-изд. л. 0,2. Цена 2 коп. Заказ

Акустический институт