

ISSN 0032 — 874X

11  
1986

ПРИРОДА



45 50/168

## Роль звука в движении рыб

**Е. В. Романенко,**  
доктор биологических наук

Институт эволюционной  
морфологии и экологии животных  
им. А. Н. Северцова АН СССР  
Москва

В процессе эволюции у низших водных позвоночных выработался способ движения за счет волнообразных колебаний тела. У большинства видов оно изгибается в горизонтальной плоскости и лишь у немногих типично донных рыб — скатов и камбал — в вертикальной. Судя по тому, что и предки этих донных рыб, и даже собственные личинки плавают как и все другие рыбы, способ плавания взрослых камбал и скатов приобретен ими вторично. Каковы могли быть причины возникновения нового способа плавания? Одно из объяснений дает акустика.

Вода, эта естественная среда обитания водных позвоночных, хорошо проводит звук, а колеблющиеся тела рыб являются источниками акустических волн низкой частоты, или инфразвука. Известно, что эффективность излучения и особенности его распространения в воде зависят от типа источника, точнее, от ориентации плоскости колебаний, а также от положения источника относительно поверхности воды и дна, т. е. границ раздела сред<sup>1</sup>.

Колеблющееся тело рыбы можно представить в виде акустического диполя (схематически его изображают в виде стрелки): вертикального для камбал и скатов и горизонтального для остальных рыб. В любом случае акустические волны распространяются в воде и, дойдя до границы раздела сред, отражаются от нее. Для рыб, плавающих в верхних слоях водной толщи, такой границей является свободная поверхность воды, а для придонных обитателей — по-

верхность дна. В первом случае волна отражается от границы, отделяющей более плотную среду (воду) от менее плотной (воздуха), а во втором — менее плотную (воду) от более плотной (дна). При расчете общей эффективности акустического излучения отраженные волны принято заменять дополнительными (воображаемыми) диполями в бесконечной водной среде. Оперировав диполями, можно увидеть, что у двух разных границ раздела сред воображаемые диполи всегда направлены в противоположные стороны, а общая эффективность акустического излучения будет складываться из полей истинного и воображаемого диполей. Так как вертикальные диполи (и истинный, и воображаемый) возле свободной поверхности воды, а горизонтальные вблизи дна направлены в одну сторону, их общее звуковое поле составит сумму полей обоих диполей. В то же время горизонтальные диполи вблизи поверхности воды и вертикальные возле дна направлены в противоположные стороны, и их общее поле будет равно разности полей диполей. Поэтому рыбы с горизонтальной плоскостью колебаний, плавающие в верхних слоях воды, излучают значительно меньше звука, чем рыбы, которые плавали бы здесь же, но за счет вертикальных колебаний.

Чтобы приблизиться к пониманию биологического значения акустических волн, идущих от рыб, следует учитывать так называемое ближнее поле излучения, которое существует на расстояниях от источника звука, много меньших длины звуковой волны (эти расстояния измеряются метрами или десятками метров). Вблизи дна камбалы и скаты почти не излучают звука в процессе движения, тогда как рыбы с горизонтальной плоскостью колебаний тела интенсивно звучат. В чем может сказываться биологическое преимущество рыб, плавающих бесшумно?

На мой взгляд, такой спо-

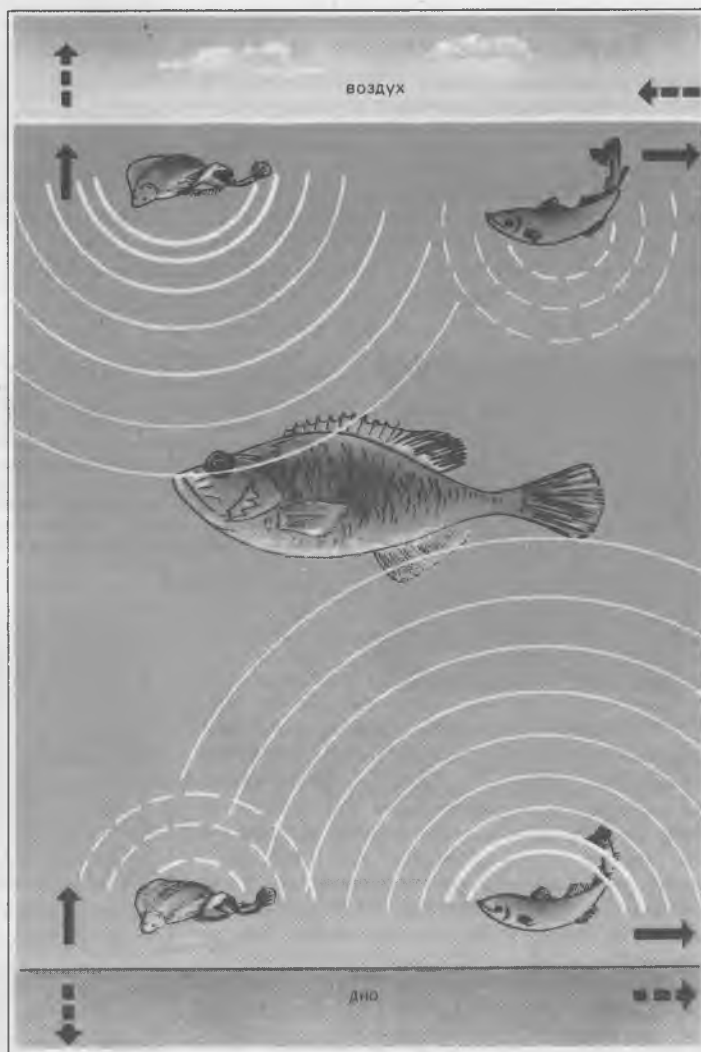
соб плавания может быть своеобразной защитой от хищников. Естественно, что хищная рыба на большем расстоянии и значительно лучше слышала бы камбалу или ската, плывы они у поверхности воды, и обычных рыб, если бы они вздумали плавать у дна. Есть и количественная оценка звукового поля: рыбка длиной 5—10 см на глубине 0,5 м излучает звуковое поле порядка  $10^{-9}$  Па при вертикальных колебаниях тела и  $10^{-10}$  Па при горизонтальных (на расстоянии 5 м). По мнению В. Р. Протасова, такие значения давления звукового поля могут восприниматься рыбами, имеющими плавательный пузырь, т. е. величины давления соответствуют слуховой чувствительности этих рыб<sup>2</sup>. Если ориентироваться даже на слуховую чувствительность хищника, равную  $10^{-10}$  Па, он должен слышать рыб с горизонтальной плоскостью колебаний, плавающих в приповерхностных слоях, на расстояниях до 5 м, а с вертикальной — до 20 м. Вблизи дна картина должна быть обратной, поскольку излучение вертикального диполя ослабляется за счет отражения звука от твердого дна, поле горизонтального диполя по той же причине усиливается.

Из приведенных рассуждений неизбежно вытекает предположение, что при наличии хищников звук — это один из факторов эволюции, роль которого на ранних ее стадиях могла оказаться решающей в выработке у низших позвоночных способа движения. Чтобы их большинство приобрело способность плавать за счет горизонтальных колебаний тела, они должны были долгое время жить в приповерхностных слоях древних водоемов. Это требование не противоречит современным представлениям об условиях зарождения и развития

<sup>1</sup> Скучик Е. Основы акустики. Т. 2. М., 1976. С. 5—45.

<sup>2</sup> Протасов В. Р. Биология акустики рыб. М., 1965. С. 86—88.

Схема распространения в воде инфразвука, исходящего от рыб, плавающих за счет вертикальных изгибов тела (слева) и горизонтальных (справа) вблизи границ раздела сред. Сплошными и пунктирными стрелками изображены истинные диполи, пунктирными — воображаемые. Видно, что сильное акустическое поле создают рыбы с вертикальной плоскостью колебаний тела (скаты), плавающие у водной поверхности, а также рыбы, движущиеся за счет горизонтальных колебаний (остальные рыбы), если плавают у дна. Чтобы не быть съеденными хищниками (здесь изображен морской окунь), рыбы должны были стать бесшумными. В ходе эволюции выжили те, которые, плавая за счет вертикальных движений, спустились на дно, а движущиеся за счет горизонтальных колебаний остались у поверхности. Так в системе «хищник — жертва» могла проявиться эволюционная роль акустики.



жизни на Земле: именно приповерхностные слои водоемов и мелководья были наиболее богаты необходимыми для жизни кислородом и теплом.

Естественно предположить, что у древнейших обитателей водоемов формы плавания не были дифференцированы, низшие позвоночные могли плавать, изгибая тело в различных плоскостях, а не только в горизонтальной, как большинство современных рыб. И лишь постепенно под действием хищников исчезли животные, движение которых сопровождалось заметным шумом, и смогли выжить самые бесшумные, движущиеся за счет горизонтально направленных колебаний тела.

К сожалению, никаких палеонтологических свидетельств о живых существах, способных совершать волнообразные колебания в разных плоскостях, не сохранилось. Не дает подтверждения существования в прошлом различных форм движения у низших позвоночных и сравнительно-морфологический метод исследования. Исключение составляет лишь ланцетник, личинка которого во многом напоминает камбалообразных по форме и способу движения.

В правомочности существования предлагаемой гипотезы могут возникнуть сомнения и

по другой причине. Среди скатов есть виды (манты, например), обитающие не вблизи дна, а в приповерхностных слоях океана; немало и типично донных рыб (бычки, пинагоры, скорпены и др.), которые движутся за счет колебаний тела в горизонтальной плоскости, а не в вертикальной. Но эти примеры только на первый взгляд противоречат гипотезе о роли звука как фактора эволюции. В самом деле, во-первых, пелагических рыб с горизонтальным направлением волнообразных движений тела большинство, а подавляющее число видов рыб с вертикальным направлением колебаний — донные. Во-вторых, все

рыбы, способ движения которых нельзя объяснить гипотезой, либо сами хищники (например, скорпены), либо достаточно защищенные от хищников ядовитыми шипами (снова скорпены), либо имеют защитную окраску (бычки и др.), и потому шумность плавания для них не играет решающей роли.

Здесь намеренно, для простоты изложения, не приведено математическое описание физических аспектов гипотезы, а высказана только биологическая суть. Автор этих строк будет рад обсудить на математическом языке свою гипотезу со всеми, кого она заинтересует.