

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

ЗООЛОГИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Том XII

(Отдельный оттиск)

№ 10

МОСКВА · 1962

**ЗВУКИ, ИЗДАВАЕМЫЕ НЕКОТОРЫМИ РЫБАМИ,
И ИХ СИГНАЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ***В. Р. ПРОТАСОВ и Е. В. РОМАНЕНКО**Институт морфологии животных Академии наук СССР (Москва)
и Акустический институт Академии наук СССР (Москва)*

В основе биогидроакустики — нового биофизического направления лежит изучение звуков, издаваемых водными животными, и выяснение их сигнального значения. История биогидроакустики изложена нами ранее (Малюкина и Протасов, 1960).

Первые работы по биогидроакустике относятся ко времени второй мировой войны, когда в связи с массовым применением техники подводной шумопеленгации встал вопрос о помехах со стороны водных живых организмов. Уже тогда было обнаружено большое количество разнообразных и интенсивных подводных звуков биофизического происхождения. Иногда эти звуки совершенно заглушали шум винтов идущего судна, иногда взрывали акустические мины. Чтобы устранить «биологические» звуковые помехи, в шумопеленгационную аппаратуру стали вводить специальные фильтры. В связи с этим в Японии и США были проведены записи и акустический анализ звуков некоторых животных Тихого и Атлантического океанов. После войны акустической расшифровкой биологических подводных звуков и их районированием в морях занялись многие страны (СССР, США, Япония, Франция, Норвегия и др.). В этот же период появляются специальные исследования (Fish, 1954; Шишкова, 1958), посвященные акустическому анализу звуков, издаваемых рыбами, в связи с задачами рыбной промышленности.

Уже в этих работах отмечалось, что многие рыбы имеют свой набор звуков, по которым можно отыскивать их скопления. После работы Фиш (M. Fish, 1954) за рубежом и в СССР появились исследования Моультона (J. M. Moulton, 1956), Таволга (W. Tավոլցա, 1958), В. Р. Протасова и М. П. Аронова (1960) по выяснению сигнального значения звуков, издаваемых рыбами и другими подводными организмами: биогидроакустика стала новым направлением экологии животных и разделом физиологической акустики.

Основной задачей биогидроакустики становится изучение акустических взаимоотношений водных организмов. Передают ли водные обитатели сигналы об опасности, о нахождении пищи и т. п., как это делают, например, птицы и многие млекопитающие? Какие органы и как осуществляют эту сигнализацию?

Естественно, что для ответа на все эти вопросы единственным методом является экспериментирование. Звуки водных животных проявляются обычно при определенных поведенческих реакциях, поэтому для расшифровки их биологического значения необходимо экспериментальное создание этих реакций (питание, нападение, оборона) с одновременной регистрацией возникающих звуков. Доказательством сигнального значения того или иного звука является возможность управлять поведением организмов, вызывая звуком соответствующую реакцию.

Постановка опытов по выяснению сигнального значения звуков рыб и других водных организмов осуществима только при условии высококачественной записи и воспроизведения звуков в воду и знании деталей биологических взаимоотношений этих организмов.

Выяснение сигнального значения звуков, издаваемых водными организмами и особенно рыбами, может иметь большое практическое значение. Имитация звуков, имеющих сигнальное значение, может явиться основой для разработки акустических привлекающих и отпугивающих способов лова.

Изучение сигнального значения звуков связано с общим изучением сигнализации у водных организмов. Особый интерес в этом отношении представляет рассмотрение типов локации: световой, электрической, звуковой, инфразвуковой и ультразвуковой.

Громадное количество видов подводной фауны, обитающих в различных условиях, обусловило появление большого разнообразия в строении и работе органов излучения и приема звука у ее представителей. Многие рыбы, например, способны ориентироваться на источники очень низких звуков, обладающих большой длиной волны. Их приемники звука (боковая линия и внутреннее ухо) позволяют пространственно локализовать источники низких и средних по частоте звуков на принципе, отличном от применяемых в локационной технике. Не менее интересным является способ излучения рыбами звуков, отличающихся высокой эффективностью. Биофизическое изучение живых моделей совершенных излучателей и приемников звука может представить интерес для гидроакустической техники. Таковы вкратце задачи, стоящие перед биогидроакустикой.

Настоящее сообщение — часть наших работ по биогидроакустике, проводимых под руководством акад. Н. Н. Андреева и Б. П. Мантейфеля. В нем описываются звуки, издаваемые некоторыми рыбами, выясняется их сигнальное и биологическое значение, а также приводятся опыты по выяснению способностей рыб определять направление на источники подводных звуков.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Опыты и наблюдения проводились в 1960—1961 гг. на морских и пресноводных рыбах в Черном море, Рыбинском водохранилище, в устье Дона, в водоемах Московской обл., а также в аквариумах и бассейнах Московского зоопарка, Московского университета и лаборатории ихтиологии Института морфологии животных АН СССР. Было исследовано свыше 40 видов морских и пресноводных рыб¹. Объем и характер рассматриваемого в статье материала приведены в таблице.

Регистрация звуков проводилась в диапазоне звуковых частот от 50 до 10 000 гц при помощи специально сконструированной переносной звукозаписывающей аппаратуры, состоящей из гидрофона чувствительностью 40 мквт/бар и магнитофона «Репортер 2» с усовершенствованным усилителем.

Для выяснения общего характера звуковых сигналов последние фотографировались с помощью шлейфового осциллографа МПО-2. Фотографирование проводилось при воспроизведении магнитной записи. Приводимые ниже фотографии показывают временные и амплитудные особенности звуковых сигналов рыб. Для выяснения частотно-амплитудной характеристики записи анализировались с помощью спектр-анализатора (типа АСЧХ-1).

Для расшифровки биологического значения звуков проводились многочисленные экспериментальные наблюдения за связью определенных поведенческих реакций и сопутствующих им звуков. В некоторых опытах выяснялось сигнальное значение звуков. Для этого записанные звуки воспроизводились в воду при помощи изолированного от воды излучателя.

В качестве источников звука часто использовали самих рыб. Разделяя звучащих рыб в аквариумах и бассейнах непрозрачной звукопроводящей марлей на две части и заставляя звучать рыб в одном отсеке (при питании, испуге и т. д.), мы наблюдали за поведением рыб в другом отсеке. Контроль за звучанием рыб производился при помощи гидрофона.

¹ Полное описание звуков рыб будет дано в «Атласе звуков рыб», подготавливаемом к изданию.

№ и/п	Виды рыб	Характер опытов и наблюдений	Дата наблюдений
1	Белуга (<i>Huso huso</i> L.)	А (д, п, н, о)	1960—1961 V 1961
2	Осетр (<i>Acipenser güldenstädti</i> Br.)	А (д, п, б)	V 1961
3	Северюга (<i>Acipenser stellatus</i> Pall.)	А (д, п)	V 1961
4	Плотва (<i>Rutilus rutilus</i> L.)	А (д, п, н, б)	V 1961
5	Лещ (<i>Abramis brama</i> L.)	А (д, п, б)	V 1961 1960—1961
6	Сом (<i>Silurus glanis</i> L.)	А (д, п)	IV 1961
7	Щука (<i>Esox lucius</i> L.)	А (д, н, п)	V 1961, IV 1961
8	Речной налим (<i>Lota lota</i> L.)	А (д, н, п, о)	I 1961
9	Вьюн (<i>Misgurnus fossilis</i> L.)	А (д, п, о)	1960—1961
10	Карп (<i>Cyprinus carpio</i> L.)	А (п, д, о)	1960—1961
11	Орфа (<i>Leuciscus idus</i> var. <i>orphus</i> L.)	А (п, д)	1960—1961
12	Линь (<i>Tinca tinca</i> L.)	А (п, д)	1960
13	Карась (<i>Carassius carassius</i> L.)	А (п, д, н, б)	1960—1961
14	Верховка (<i>Leucaspis delineatus</i> Heckel]	А (п, д, б)	1960—1961
15	Касатка скрипун (<i>Liocassis herzensteini</i>)	А (п, д, у, о)	1960
16	Толстолобик (<i>Hypophthalmichthys molitrix</i> Val.)	А (п, д)	IX 1960 IV 1961
17	Угорь (<i>Anguilla anguilla</i> L.)	А (п, д, о)	1960—1961
18	Амур (<i>Stenopharyngodon idella</i> Val.)	А (п, д)	IX 1960
19	Змеёголов (<i>Ophicephalus argus</i> <i>warpachowskii</i> Berg.)	А (п, д)	XI 1960 IX 1960
20	Судак (<i>Lucioperca lucioperca</i> L.)	А, Б (п, д, о)	II—III 1961
21	Окунь (<i>Perca fluviatilis</i> L.)	А, Б, В (п, д, о)	I—IV 1961
22	Темный горбыль (<i>Corvina nigra</i> L.)	А, Б	VII—VIII 1961
23	Рулена (<i>Crenilabrus tinca</i> L.)	А, Б, В (п, д, о)	VII—VIII 1961
24	Зеленушка-оцелята (<i>Crenilabrus ocellatus</i> For.)	А, Б, В (п, д, о)	VII—VIII 1961
25	Рябчик (<i>Crenilabrus griseus</i> L.)	А, Б (п, д, о, у, н)	VII—VIII 1961
26	Морской налим (<i>Gaidropsarus mediterraneus</i> L.)	А (п, д)	VII—VIII 1961
27	Кефаль (<i>Mugil auratus</i> Risso)	А (п, д, о)	VII—VIII 1961
28	Ставрида (<i>Trachurus trachurus</i> L.)	А (п, д, о)	VII—VIII 1961
29	Зубарик (<i>Chara puntazzo</i> L.)	А (п, д, о)	VIII 1961
30	Ласкирь (<i>Sargassus annularis</i> L.)	А (п, д, о)	VIII 1961
31	Варабуля (<i>Mullus barbatus ponticus</i> E.)	А, Б (п, д)	VII—VIII 1961
32	Черноморская игла (<i>Syngnathus nigrolineatus</i> Eichw.)	А (д)	VIII 1961
33	Морской окунь (<i>Smaris smaris</i> L.)	А, Б (п, д)	VII—VIII 1961
34	Морской язык [<i>Solea lascaris</i> (Risso)]	А, Б (п, д)	VII—VIII 1961
35	Морской конек (<i>Hippocampus hippocampus microstephanus</i> Hast.)	А (п, о)	VIII 1961
36	Атерина (<i>Atherina hepsetus</i> L.)	А (п, д)	VII—VIII 1961
37	Бойцовая рыбка (<i>Bettar splendens</i> Regan)	А, Б, В (п, д, у, н) А, Б	1960—1961 IX—XII 1960
38	Скаляры (<i>Pterophyllum eimekey</i> E. Aul.)	(п, н, д, у, о) А, Б, В,	IX—XII 1960 IV—V 1961
39	Нигрофасциаты (<i>Cichlasoma nigrofasciata</i>)	(п, н, д, у, о)	IV—V 1961
40	Макроподы (<i>Macropodus opercularis</i> L.)	А (п, д)	IX 1961
41	Гурами (<i>Trichogaster trichopterus</i> Pall.)	А (п, д)	IX 1961
42	Тилапия (<i>Tilapia galilala</i> Artedi.)	А (п)	I—II 1961
43	Данио (<i>Danio rerio</i>)	А (п, д)	I—II 1961

Условные обозначения: А — запись и анализ звуков (п — питания, д — движения, н — нерестовые, у — угрозы, о — ориентировки, б — боля); Б — опыты, выявляющие сигнальное значение звуков; В — опыты, выясняющие способности рыб определять направления источников звуков.

Для выяснения воспринимаемости звуков, издаваемых рыбами, рыб дрессировали на звуки, издаваемые ими при питании. В качестве подкрепления служил корм. Аналогичная методика применялась и при выяснении способностей рыб определять направление на источники звуков. В этом случае с целью исключения возможности выработки у рыб условного рефлекса на место применялись два одинаковых излучателя.

Наблюдения за поведением рыб во время звучания проводились в море при помощи специального подводного снаряжения и в аквариумах при помощи киносъемки.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Биологические звуки в водоемах. Для ряда морей установлено, что звучание водной фауны меняется в зависимости от сезона года и времени суток (Dobrin, 1947). При этом максимумы звучания приходятся на периоды, связанные с размножением водных животных и их откормом. Наши данные подтверждают этот вывод. Черноморские рыбы (горбыли и зеленушки) начинают звучать в период размножения (май — август). Наиболее интенсивно звучат эти рыбы в сумерки и на рассвете, когда они питаются. Наиболее четко периодичность звучания водных животных проявляется в пресных водоемах (оз. Сенеж Московской обл., Рыбинское водохранилище). Зимой биологические звуки подо льдом обнаружены не были. Безмолвие прекращается в апреле-мае, появляются звуки питания рыб. В конце мая — начале июня появляются специфические звуки рыб, связанные с нерестом: писки плотвы, характерные звуки леща, стуки окуней и т. д. В этот период звуковой фон в водоеме сильно меняется в течение суток. Максимальное значение фона имеет место во время захода солнца и в течение ночи. Слышатся разнообразные гидродинамические шумы (плески охотящихся рыб), напоминающие перекличку сверчков звуки неизвестных организмов, кваканье лягушек, крики водных ночных птиц и др. Днем 80% звуков биологического происхождения пропадают. Осенью биологические звуки в водоемах затихают.

Наблюдения в природе, показывающие связь массового звучания рыб с нерестом, были подтверждены нами экспериментально на аквариумных рыбах (бойцовые рыбки, скаляры и др.). Стимулируя или тормозя нерест и вступление в преднерестовое состояние этих рыб, можно произвольно увеличивать или уменьшать их звуковую активность.

Звуки питания рыб. Следует отметить звуки, издаваемые рыбами при захвате и пережевывании пищи. Звуки питания произвольные, они сопутствуют акту питания.

По характеру питания рыб можно разделить на хищных (рыбоядных) и «мирных», питающихся иными животными и растительными организмами. Различия в способе питания проявляются и в акустических особенностях звучания рыб. Как правило, «мирные» рыбы всеядны.

Хищные рыбы и некоторые крупные «мирные»: щука, судак, крупные окуни, змееголовы, сомы, белуги, морские ерши, скаты, акулы, крупные горбыли, морские налимы и другие заглатывают рыбу обычно целиком, не пережевывая ее. Захват, как правило, сопровождается характерным звуком хлопка или удара у змееголова, вьюна, крупных окуней, морского налима, акулы-катрана; специфическими звуками «клока» (сом) и иногда специфическими резкими звуками (белуга). На рис. 1, а и б приведены фотографии звуков захвата у судака и змееголова, на рис. 1, в и г — их частотный спектр. Звуки захвата различаются у рыб разных видов.

Мирные и некоторые хищные рыбы: карп, орфа, линь, карась, верховка, плотва, горбыль, кефаль, мелкая ставрида и другие питаются различной пищей (растениями, малоподвижными донными организмами и подвижным планктоном). Следует отметить, что звуки, издаваемые ими при питании, зависят от характера пищи. При питании малоподвижными организмами (хирономус, мидии и пр.) звуки захвата у большинства рыб не слышны. Иногда лишь наиболее голодные рыбы захватывают пищу с причмокиванием и засасыванием (вьюн, лещ, и др.) и с сильно заглушенным цоканием (зеленушки). При питании же подвижными организмами (гаммарусы, насекомые и др.) они во время захвата обычно издаются звуки: цоканье (зеленушки, мелкие горбыли и др.), удары (мелкие окуни, мелкие судаки, скаляры и др.), резкое чав-

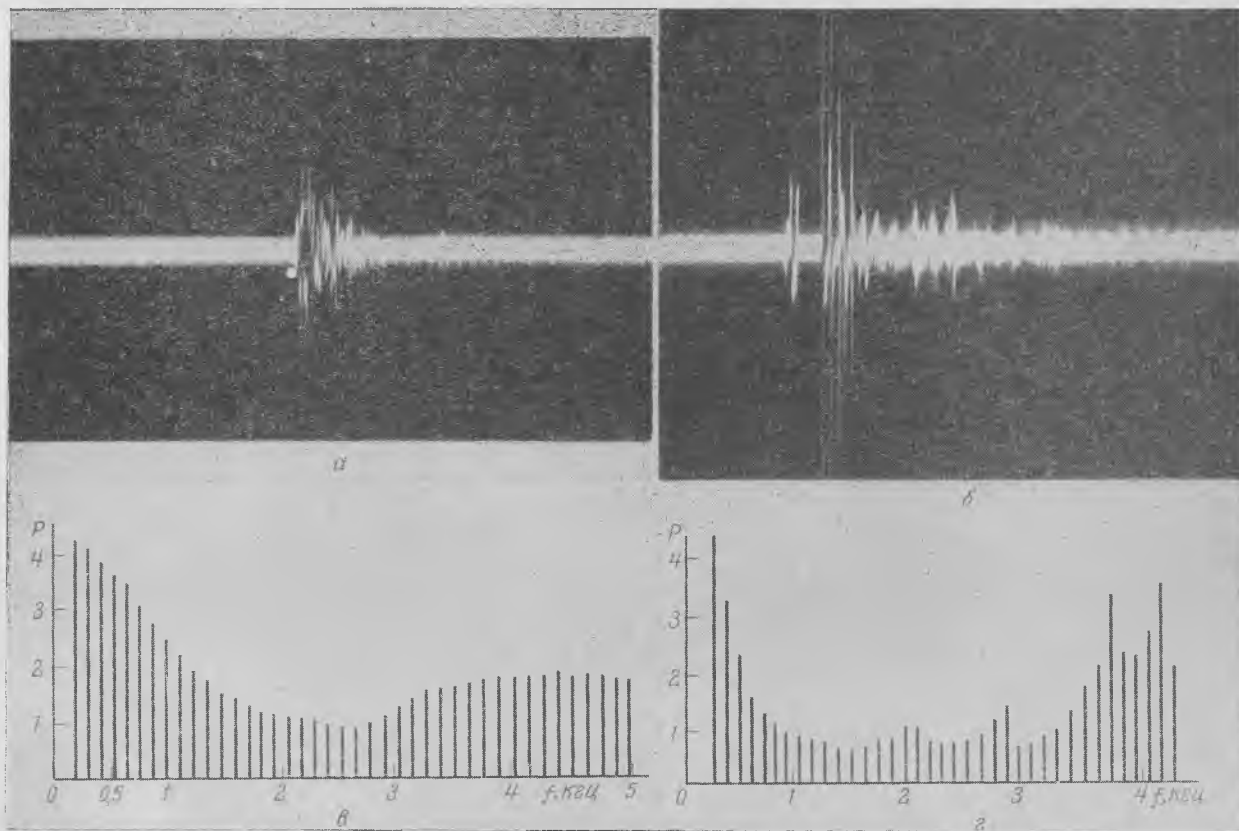


Рис. 1. Звуки, издаваемые судаком (а, в) и змеоголовом (б, г) при захватах рыбы (верховка)
 а, б — общий характер сигналов, в, г — частотно-амплитудные характеристики звуков (по оси абсцисс отложена частота в килогерцах, по оси ординат — амплитуда спектральных составляющих в относительных единицах). (Масштаб линейный)

канье (караси, карпы). Следует отметить, что многие «мирные» рыбы берут пищу без звуков.

В отличие от хищных, все «мирные» рыбы обычно перетирают захваченную пищу, издавая при этом характерные звуки, напоминающие звуки трения о терку или звук поджариваемого масла (верховка) с различными оттенками у различных рыб, частотно-амплитудные характеристики звуков перетирания и проталкивания пищи близки друг к другу и представляют собой сплошной спектр, с неравномерностью по частотному диапазону, не превышающей 5—6 дБ. На рис. 2, а и б приведены фотографии звуков проталкивания пищи у окуневых (*Cichlasoma nigrofasciata*) и перетирания глоточными зубами у карповых, на рис. 2, в и г дан частотный спектр этих звуков.

Характерные звуки издают рыбы в период пищевого возбуждения. Зубарик издает звук, напоминающий треск мотоцикла (рис. 3, а и б), белуга издает сильные хрипы.

К звукам, издаваемым рыбами при питании, относятся также гидродинамические шумы, возникающие при бросках рыб на пищу. В настоящей статье эти звуки не анализируются, так как основные их частоты ниже 50 гц.

Восприимчивость рыбами звуков питания. Частотный спектр звуков питания рыб, как правило, перекрывает диапазон от 50 до 10 тыс. гц, амплитуда давления достигает нескольких бар. Свойства же слуха рыб таковы: воспринимаемый спектр звуковых частот у большинства рыб (Малюкина и Протасов, 1960) лежит между 25 и 13 139 гц, а пороговая чувствительность составляет 0,002 бар. Сопоставление этих данных позволяет сделать вывод, что издаваемые рыбами при питании звуки могут быть восприняты особями этого же вида. С целью подтверждения этого вывода нами был поставлен опыт на речных окунях по выработке условного рефлекса на звуки захвата и перетирания пищи. Опыт проводился в бассейне размером 2×0,7×0,5 м, с 17 экз. окуней. Звуки питания воспроизводились через электродинамический излучатель. В качестве подкрепления служил корм (мотыль). На первое же воспроизведение звуков питания голодные окуни прореагировали дружной положительной реакцией: у большинства появилась поисковая пищедобывательная реакция, часть пошла к источнику. Прочный рефлекс выработался после 18 сочетаний. После этого рефлекс на звуки проявлялся даже в условиях сильных звуковых помех, и не только на сами звуки питания, но и на грубую их имитацию. Таким образом, факт восприятия рыбами звуков их питания был показан экспериментально.

Параллельно с опытами по выяснению способности рыб воспринимать звуки питания проводились опыты в аквариумах, в бассейнах и в море по выяснению способности рыб определять направление на источники подводных звуков. Материалы этих опытов подтверждают литературные данные (Малюкина и Протасов, 1960) о способности рыб определять направление на источники звука. В бассейне (19×13×2 м) барабуля и ставрида ориентировались на источник звука частотой 500 гц с расстояния 5—6 м², превышающего длину волны звука; в море зеленушка и морской язык четко реагировали с расстояния в 4 м.

О сигнальном значении звуков питания. Выяснение вопроса о сигнальном значении звуков питания рыб проводилось в ряде опытов и наблюдений.

Опыты по реакции речных окуней и зеленушек были поставлены в бассейне и в аквариумах. Воспроизведение звуков питания (звуки захвата и перетирания пищи) одомашненным голодным речным окунем, проводившееся в бассейне размером 2×0,7×0,5 м, вызывало у них по-

² Данные получены при участии С. П. Александрюк и Ю. П. Подлипалина.

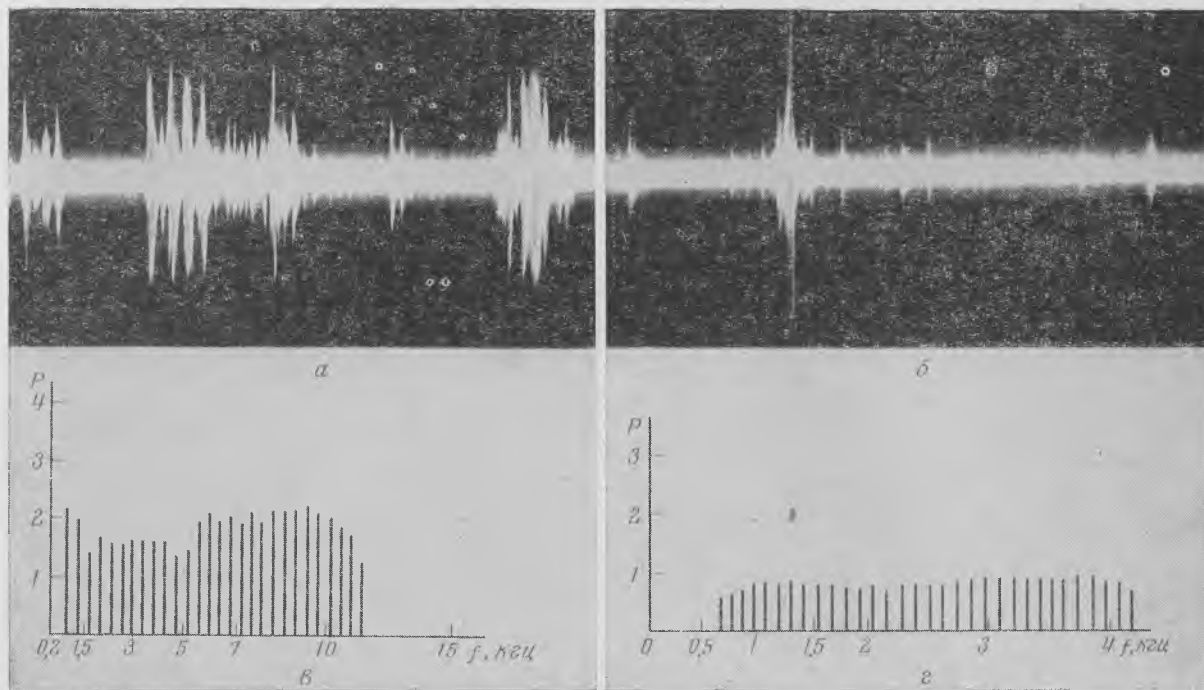


Рис. 2. Звуки, издаваемые окуневыми (нигрофасциатами) при проталкивании пищи (а, в) и карпами при перетирании глоточными зубами (б, г)
 а, б — общий характер сигналов, в, г — частотно-амплитудные характеристики звуков

ложительную реакцию: поисковые пищевые реакции и направленное движение к источнику звука. При многократных воспроизведениях звуков питания без подкрепления кормом реакция на эти звуки у окуней затухала. Это говорит о естественно выработанной условнорефлекторной природе этой реакции.

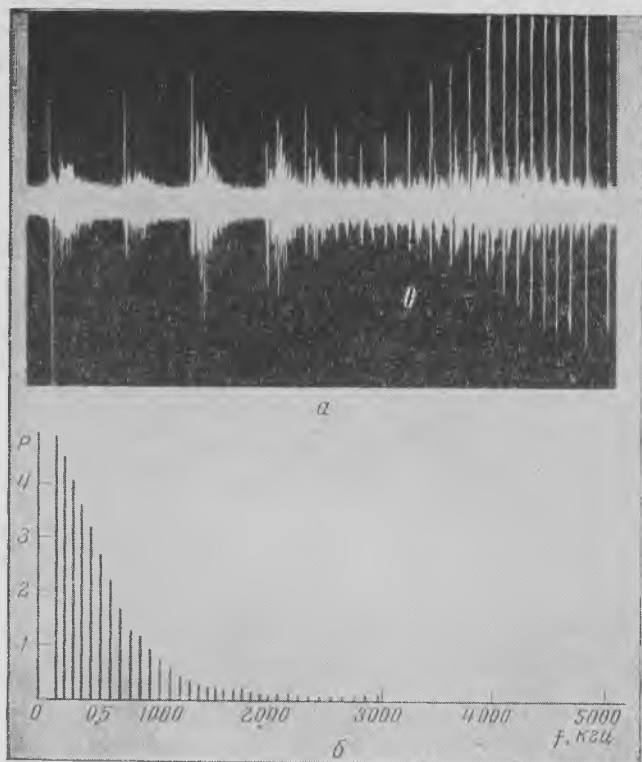


Рис. 3. Звук, издаваемый черноморским зубариком в период пищевого возбуждения
a — общий характер сигнала, *б* — частотно-амплитудная характеристика звука

Различные виды зеленушек при питании издают сильные звуки: «цоканье» и звуки перетирания пищи. Первые наблюдения (Протасов и Аронов, 1960) проводились над группой голодных глазчатых зеленушек и рулен, отгороженных непрозрачной звукопроницаемой перегородкой от нескольких питающихся рыб. Отгороженные рыбы при звуках, доносившихся из-за перегородки, возбуждались и начинали активно плавать по всему аквариуму. Однако направленных реакций в сторону источника звука выражено не было. Только в отдельных случаях, когда подопытные рыбы находились на расстоянии менее 15 см от перегородки, наблюдалось направленное движение в сторону источника звука.

В дальнейшем был проведен опыт по реакции зеленушек на воспроизводимые звуки питания. Большинство зеленушек при этом возбуждалось и плыло непосредственно к источнику. Эта реакция в аквариуме протекала наиболее бурно, если одновременно одна из зеленушек около излучателя совершала поисковые движения (зрительный сигнал).

Сигнальное значение звуков питания подтверждается также многочисленными наблюдениями за поведением голодных рыб в эксперимен-

тальных условиях. Аквариальные рыбки «нигрофасциаты» при перетирании пищи издают интенсивные звуки (рис. 2). Голодные экземпляры нигрофасциат отгораживались непрозрачной звуконепропускаемой перегородкой от питающихся экземпляров. При звуках питания у нигрофасциат за перегородкой проявилась вначале ориентировочная, а затем поисковая пищевая реакция. Более крупные особи, находившиеся от «источника» звука на расстоянии до 1 м, реагировали настойчивой двигательной реакцией на источник звука, стремясь пройти через марлю.

В наших наблюдениях неоднократно отмечалась положительная реакция одних экземпляров на звуки питания других. Находясь в мутной воде, зеленушки приплывали к другим зеленушкам, издающим звуки захвата пищи, с расстояния 10—30 см. Очень часто по звукам питания самец бойцовой рыбки отыскивает спрятавшуюся самку с расстояния 50—60 см. Звуки питания рыб имеют значение сигнала не только для особей одного вида. Очень часто они приобретают характер межвидовых сигналов.

В одном из наблюдений аквариум с несколькими видами (вьюны, касатки-скрипуны, речные и голубые окуни, барбусы и белые амуры) перегородивали не полностью на две части. Рыбы могли свободно переходить из одного отсека в другой, хотя, находясь в разных отсеках, они были лишены зрительного контакта. В моменты, когда в одном из отсеков оставались рыбы одного вида, им давали корм. В случае, если питающимися рыбами были вьюны или окуни, остальные рыбы, находившиеся от них на расстоянии 50—70 см, возбуждались и переплывали в другой отсек, как только возникали звуки питания. Следует отметить при этом, что скорость ответной реакции рыб на звуки питания практически мгновенна, в то время как скорость ответной реакции (в контрольном наблюдении) у тех же рыб на выдавленный сок наступает через несколько минут и проявляется по-иному. Этим исключается возможность предположения о химическом привлечении рыб к месту питания.

Особенно четко реагируют на звуки питания «мирных» и хищных рыб хищные рыбы. Голодные окуни при воспроизведении звуков питания скуня, касаток и вьюнов сильно возбуждаются, двигаясь прямо на излучатель с расстояний 10—80 см.

Как в опытах, так и в наблюдениях четкая направленная реакция одних рыб на звуки питания других происходит на небольших расстояниях, порядка нескольких десятков сантиметров. В большинстве же случаев звук питания является ориентирующим сигналом, который расшифровывается рыбами как «внимание»! Сочетание этого сигнала с другими: вид поискового движения рыб (зрительный сигнал) или сок, выдавленный из корма (обонятельный и вкусовой сигнал) сразу же вызывает у рыб направленную реакцию на источник звука. В литературе известны факты, также говорящие о сигнальном значении звуков питания. Бюснель (R. Busnell, 1958) и Вестенберг (J. Westenberg, 1953) описывают способы лова некоторых хищных рыб Африки и Индонезии на звуки питания некоторых мирных рыб. Давно известен также лов сома на «клок» (Сабанеев, 1911), который, по-видимому, имитирует звук, издаваемый сомом при захвате пищи.

Звуки, возникающие при питании, вызывают не только положительную реакцию. Гидродинамические звуки, создаваемые хищными рыбами при захватах, вызывают у мелких рыб оборонительную реакцию. При гидродинамических звуках бросков горбылей мелкие атерины рассыпаются из стаек, замирая у поверхности воды (опыт проводился при низких освещенностях).

Звуки агрессии и их биологическое значение. Оборона и нападение — основные элементы меж- и внутривидовых взаимоотношений рыб. Агрессивное поведение рыб проявляется часто: при

пищевых взаимоотношениях, при обороне территории, при взаимоотношении самцов в нерестовый период. Ранее уже описывались сигналы угрозы зеленушки-рябчика в виде барабанного боя (Протасов и Аронов, 1960). Звуковые сигналы угрозы во время пищевого возбуждения издают голодные речные окуни (удары), поднимая при этом спинной плавник. Наиболее интенсивные удары издают самые сильные экземпляры. Часто вслед за этими ударами начинается погоня сильного окуня за слабым, схватившим корм. Отчетливая реакция окуней (уплывание) в ответ на эти звуки проявляется на небольших расстояниях, менее 10 см. Такие же звуки (удары) издают во время пищевого возбуждения некоторые морские рыбы: зеленушки, ласкири и др. У аквариумных рыбок — скаляров, нигрофасциат, петушков, а также у морских рыб — зеленушек и ласкирей звуки угрозы часто проявляются в связи с обороной захваченной в аквариуме территории. Наиболее показательным в этом отношении является поведение нигрофасциат. В аквариуме они обычно разбиваются парами (самец и самка), захватывая определенную территорию. «Захват» территории приводит к дракам. Самцы на расстоянии 15—30 см принимают угрожающую позу и производят интенсивные звуковые удары. Мелкие экземпляры, находящиеся вблизи места драки, опускаются на дно, принимая оборонительную позу. Наблюдения показали, что эти звуки во время драк возникают не при механических ударах сталкивающихся рыб, а издаются как сигналы угрозы.

Ударные звуки угрозы издают самцы нигрофасциат, бойцовых рыбок и скаляров во время драки за самку, а также во время гона самцом самки. Опыты с разделением рыб непрозрачными звукопроводящими перегородками показали, что появление этих звуков в аквариуме возбуждает рыб. Четкая оборонительная реакция (уплывание, бегство) проявляется с расстояния в несколько сантиметров (менее 10 см) от источника звука. Оборонительная реакция у большинства рыб наиболее четко проявляется при одновременном действии звукового и «зрительного» сигналов.

Звуки угрозы проявляются у рыб не только в виде ударных импульсов. Касатки-скрипуны издают звуки угрозы, похожие на резкий скрип. Эти звуки они обычно издают вдогонку уплывающей рыбе.

На рис. 4, а и б показаны звуки угрозы скаляров и нигрофасциат. На рис. 4, в и г приведен частотный спектр этих звуков.

Звуки испуга и боли рыб. При испуге некоторые рыбы также издают звуки. Интенсивный писк издает плотва, попавшая в период размножения в невод во время его притонения. Эти звуки, очевидно, имеют оборонительное значение, по-видимому, заставляя уходить плотву, находящуюся поблизости.

Характерные гидродинамические звуки издают при испуге стайки рыб: окуней, плотвы, молоди атерин, карповых рыб, зеленушек и др.

Акустические сигналы испуга стай рыб имеют, по-видимому, определенное сигнальное значение, позволяя особям стаи производить быстрые маневры. На это указывают и некоторые литературные данные (Moulton, 1960). На рис. 5 показаны звуки испуга стаск молоди карповых рыб. Спектр этих звуков в основном содержит низкие частоты.

В литературе (Хасс, 1959) имеются высказывания о том, что раненые рыбы должны издавать крики боли. С целью выяснения этого вопроса были поставлены опыты с ранеными рыбами. Мелкие экземпляры различных видов (плотва, карась, окунь, зеленушка, лещ, морской ерш, ставрида и др.) при ранении характерных звуков не издают. Крупные рыбы (осетр, вьюн, плотва и лещ) при ранении часто издают сильные звуки: плотва и лещ — сильные пiski, а осетр и вьюн — крики. На рис. 6, а и б показаны звуки, издаваемые вьюном при ранениях. Эти звуки возникают, очевидно, при сильном сокращении плавательного

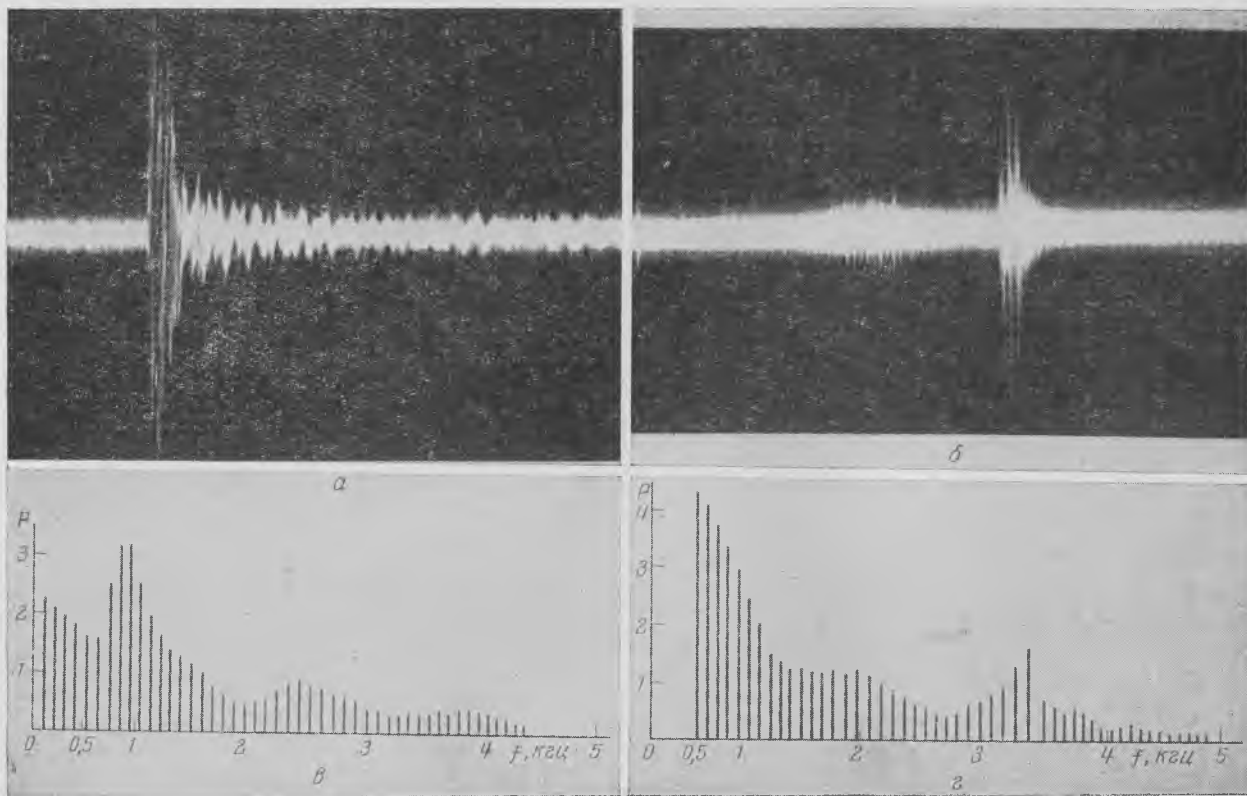


Рис. 4. Звуки угрозы, издаваемые скалярами (а, в) и нигрофасциатами (б, г)
 а, б — общий характер сигналов, в, г — частотно-амплитудные характеристики звуков

пузыря и кишечника, выдавливающих порцию воздуха. Сигнальное значение этих звуков не выяснено.

О практическом использовании звуков рыб. Ранее уже указывалось (Малюкина и Протасов, 1960; Шишкова, 1958), что звуки, издаваемые рыбами, характерны для разных видов и могут быть использованы в практике промысловой разведки для определения

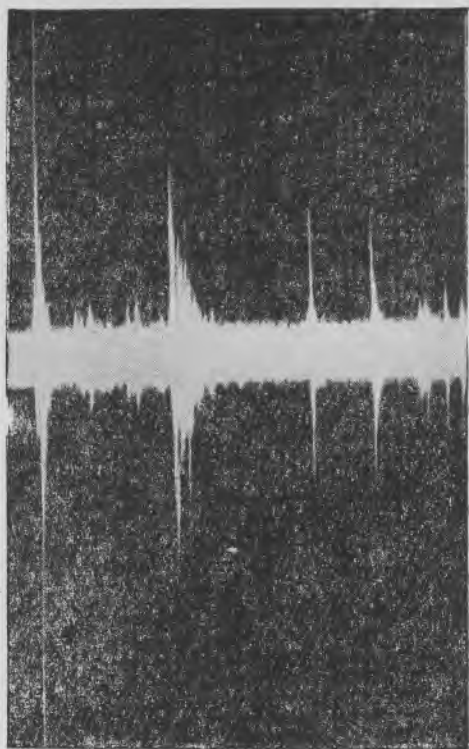


Рис. 5. Звуки испуга стаяк молоди карповых рыб

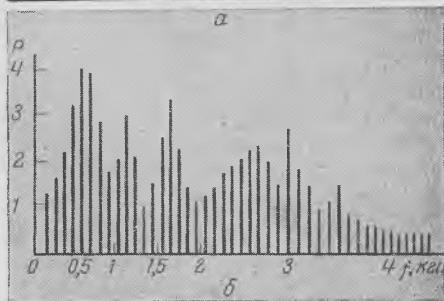
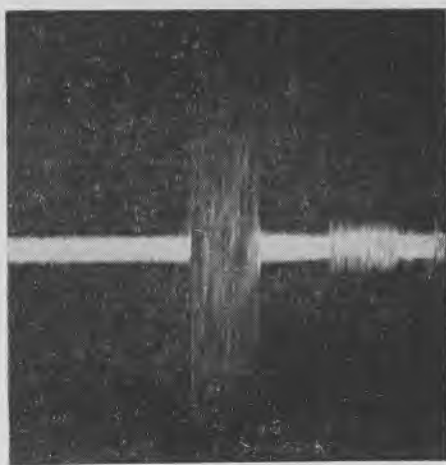


Рис. 6. Звуки, издаваемые вьюном при ранении

a — общий характер сигнала, *б* — частотно-амплитудная характеристика звука

и обнаружения скоплений рыб. В частности, мы считаем, что по звукам рыбьих стай можно проводить при помощи специального кибернетического автомата наблюдения за миграцией промысловых скоплений. Подробное описание способа будет дано позднее.

Другой стороной практического приложения звуков рыб является возможность их использования для привлечения и отпугивания рыб. В этом направлении вопрос еще окончательно не решен (не поставлены критические эксперименты в море; не исследован ультра- и инфразвуковой диапазоны большинства звуков). Полученные данные по звуковому диапазону позволяют высказать некоторые предварительные соображения. Из опытов и наблюдений по сигнальному значению питания и угрозы различных рыб следует, что двигательная реакция рыб на эти звуки проявляется на небольших дистанциях, а у некоторых рыб — только при участии других сигналов. Эта особенность стоит, по-видимому, в связи с ведущей ролью того или иного анализатора рыб в экологических взаимоотношениях. Для рыб (сомовые и некоторые другие), у которых акустическая сигнализация является основной, звуки, имеющие сигнальное значение, могут быть использованы для привлечения и отпугивания рыб в практике рыболовства. Для большинства рыб, у которых, помимо слуха, большое значение имеют зрение и обоняние,

пищевая и оборонительная реакции (сигнал, руководство и контроль) проявляются при действии суммы сигналов (звук, свет, химические вещества).

Управление поведением этих рыб может осуществляться действием комплекса сигналов, обеспечивающих проявление поисковой или оборонительной реакций.

ВЫВОДЫ

1. Звуки, издаваемые различными видами рыб, характерны, что легко может быть обнаружено на слух и при акустическом анализе. Эта особенность может быть использована практически.

2. Рыбы способны воспринимать издаваемые звуки и на небольших расстояниях (до 1 м) определять направление на их источники.

3. Звуки питания и угрозы у некоторых рыб имеют значение сигналов привлечения и отпугивания, но оказывают свое действие на небольших расстояниях. У большинства рыб управление пищевой и оборонительной реакциями может осуществляться только при комплексном действии нескольких сигналов (звук, свет и др.).

4. Звуки испуга и боли раненых рыб характерны и, вероятно, имеют сигнальное значение.

5. Есть основания считать, что большинство исследованных звуков представляют собой часть акустических сигналов, захватывающих более широкие области звукового спектра. В этом одна из возможных причин слабой выраженности реакций большинства рыб на биологические сигналы звукового диапазона.

ЛИТЕРАТУРА

- Малюкина Г. А. и Протасов В. Р., 1960. Слух, «голос» и реакции рыб на звуки, Усп. совр. биол., т. 50, 2(5).
Протасов В. Р. и Аронов М. П., 1960. О биологическом значении звуков некоторых черноморских, Биофизика, V. 6.
Сабанеев Л. М., 1911. Рыбы России, М.
Шишкова Е. В., 1958. Запись и исследование создаваемых рыбами звуков, Тр. Всес. н.-и. ин-та морск. рыбн. х-ва и океаногр., 36.
Хасс Г., 1959. Мы выходим из моря, Географиз, М.
Busnell R., 1959. Etude d'un appan acoustique pour la pêche utilise au Senegal et au Niger, Bull de I. F. A. N., XXI, Ser A, N 1.
Dobrin M. B., 1947. Measurement of Underwater Noise Produced by Marine Life, Sci., 105, 1247 (19).
Fish M., 1954. The Character and Significance of Sound Production among Fishes of the Western North Atlantic. Bull. Bingham Oceanogr. Collection, 14, Art. 3: 1—109.
Moulton I. M., 1956. Influencing the Calling of Sea Robins (*Prionotus* sp.) with Sound, Biol. Bull. 3, 3.—1960. Swimming Sounds of Fishes, Biol. Bull., 119, 2: 210—223.
Tavolga W., 1958. Courtship Sounds of *Bathygobius*, Physiol. Zool, XXXI, 4.
Westenberg J., 1953. Acoustical Aspects of Some Indonesian Fisheries, J. Conseil perman.-Internat. explorat. Mer., 18: 311—325.

SOUNDS EMITTED BY SOME FISHES, AND THEIR IMPORTANCE AS SIGNALS

V. R. PROTASOV and E. V. ROMANENKO

*Institute of Animal Morphology, and Acoustic Institute,
Academy of Sciences of the USSR (Moscow)*

Summary

The tasks of the new branch of science, biohydroacoustics, are analysed in the paper presented. On the basis of a study of the sounds emitted by more than 40 fish species it was stated that these sounds are characteristic of individual fish species. This can be revealed by ear and pon acoustic analysis. Fishes were found to percieve the sounds emitted by them at short distances, to determine the direction to the source of the sound. «The sounds of feeding» and «the sounds of threat» for several fishes play the role of signals of attraction or threatening. The problems of practical application of the sounds emitted by fishes are analysed in the paper.