

УДК 599.537:534.75:57.024

© М. П. Иванов^{1*}, А. А. Родионов^{2,3}, Л. Е. Леонова¹, Т. В. Гришина¹, Л. К. Римская-Корсакова⁴, 2023

¹Санкт-Петербургский государственный университет, 199034, Россия, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9.

²Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 117997, Россия, Москва, Нахимовский проспект, 36.

³Санкт-Петербургский научный центр Российской академии наук, 199034, Россия, Санкт-Петербург, Университетская наб., 5.

⁴АО Акустический институт им Н.Н. Андреева, 117449, Россия, Москва, ул. Шверника, 4.

*20mivanov@mail.ru

ПРОВОКАЦИЯ ВЕРБАЛЬНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДЕЛЬФИНОВ ПО ГИДРОАКУСТИЧЕСКОМУ КАНАЛУ НА ОСНОВЕ КОГНИТИВНОЙ ЭМПАТИИ

Статья поступила в редакцию 28.02.2023, после доработки 09.04.2023, принята в печать 17.05.2023

Аннотация

Провокация гидроакустического коммуникационного взаимодействия дельфинов *Tursiops truncatus* на основе когнитивной эмпатии показала, что они в процессе «диалога» используют пакеты ультракоротких импульсов. Длительность пакетов варьирует от 40 до 3000 мс с модуляцией интервала между ультракороткими импульсами от ~1 до ~120 мс и паузами между пакетами. Рисунок модуляции интервалов структурирован с использованием различных законов модуляции. Сигналы коммуникации получены в эксперименте при участии трех животных, знающих основную задачу — последовательное акустическое дифференцирование двух предметных стимулов. Стимулом гидроакустического взаимодействия служит разрешение неопределенности при обучении респондента обратной задаче дифференцирования. Это порождает у наблюдателей эмоциональную эмпатию и провоцирует вокализацию между особями. Проведен подробный анализ двигательных поведенческих и акустических актов. Рассмотрены достоинства и недостатки представленной методики запуска процесса когнитивной эмпатии, которая и приводит к провокации гидроакустического взаимодействия между особями. В рассматриваемой методике эхолокационные и коммуникационные сигналы разнесены во времени и пространстве, что позволяет их однозначно идентифицировать.

Ключевые слова: вербальная коммуникация дельфинов, пакеты импульсов, модуляция интервала в пакетах коммуникационных сигналов

© М. П. Иванов^{1*}, А. А. Родионов^{2,3}, Л. Е. Леонова¹, Т. В. Гришина¹, Л. К. Римская-Корсакова⁴, 2023

¹St. Petersburg State University, 7–9 Universitetskaya Emb., St. Petersburg, 199034, Russia

²Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, 36 Nakhimovsky Prosp., Moscow, 117997, Russia

³St. Petersburg Research Center of the Russian Academy of Sciences, 5 Universitetskaya Nab., St. Petersburg, 199034, Russia

⁴JSC Acoustic Institute named after N.N. Andreev, 4 Shvernika Str., Moscow, 117449, Russia

*20mivanov@mail.ru

PROVOCATION OF VERBAL INTERACTION OF DOLPHINS VIA A HYDRO-ACOUSTIC CHANNEL ON THE BASIS OF COGNITIVE EMPATHY

Received 28.02.2023, Revised 09.04.2023, Accepted 17.05.2023

Abstract

The provocation of the hydroacoustic communication interaction of *Tursiops truncatus* dolphins based on cognitive empathy showed that they use packets of ultrashort pulses (USPs) in the process of “dialogue”. The duration of bursts varies from 40 ms to 3000 ms with modulation of the interval between USPs from ~1 to ~120 ms and pauses between bursts. The interval modulation pattern is structured using various modulation laws. The communication signals were obtained in an experiment with the

Ссылка для цитирования: Иванов М.П., Родионов А.А., Леонова Л.Е., Гришина Т.В., Римская-Корсакова Л.К. Провокация вербального взаимодействия дельфинов по гидроакустическому каналу на основе когнитивной эмпатии // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2023. Т. 16, № 2. С. 89–110. doi:10.59887/2073-6673.2023.16(2)-7

For citation: Ivanov M.P., Rodionov A.A., Leonova L.E., Grishina T.V., Rimskaia-Korsakova L.K. Provocation of Verbal Interaction of Dolphins via a Hydro-Acoustic Channel on the Basis of Cognitive Empathy. *Fundamental and Applied Hydrophysics*. 2023, 16, 2, 89–110. doi:10.59887/2073-6673.2023.16(2)-7

participation of three animals, who knew the main task of sequential acoustic differentiation of two objective stimuli. The impetus for hydroacoustic interaction is the resolution of uncertainty when teaching the respondent the inverse differentiation problem. This generates emotional empathy in observers and provokes vocalization between individuals. The advantages and disadvantages of methodological methods of provoking hydroacoustic interaction are considered in detail, starting the process of cognitive empathy. In the method under consideration, echolocation and communication signals are spaced apart in time and space, which allows them to be uniquely identified.

Keywords: dolphin verbal communication, bursts of impulses, interval modulation in packets of communication signals

1. Введение

Начало исследований акустики дельфинов было положено в 1961 году [1], однако вплоть до настоящего времени основные вопросы по коммуникационному взаимодействию так и остались нерешенными. Несмотря на очевидную вокализацию животных, которые используют гидроакустический канал как основной канал для получения информации о среде обитания, для поиска пищи, ориентации и связи между особями [2], до сих пор нет однозначной интерпретации коммуникационных сигналов и соответствующих им собственных поведенческих актов или реакций партнеров. Наиболее парадоксальным является факт отсутствия универсальных сигналов опасности или тревоги. Данным классом сигналов пользуются практически все млекопитающие, но он не обнаружен у дельфинов.

Изучение сигналов эхолокации позволило однозначно выделить класс сигналов, связанных с поиском подводных объектов на различных дистанциях [3, 4]. Прямые эксперименты по исследованию эхолокации показали, что дельфины меняют последовательность импульсов в зависимости от акустических условий среды [5]. Акустическая последовательность импульсов, как правило, состоит из одиночных импульсов, интервал между которыми связан с дальностью до объекта поиска, или кодированной временной последовательности в пакетах ультракоротких импульсов (УКИ), период следования которых также связан с дальностью до объекта поиска [6, 7]. Длительность пакетов и количество импульсов в пакетах зависит от акустических условий среды [8]: чем дальше цель или сложнее помеховая обстановка, тем длиннее пакеты импульсов. В этих экспериментах показана возможность дельфинов обнаруживать объекты на расстояниях до 650 м.

В экспериментальной работе [9] достоверно показана возможность животного обнаруживать объекты на расстоянии до 850 м. В данных опытах расстояние между животным и фантомным эхо минимально, что позволяет считать, что среда изотропная, а полученные результаты свидетельствуют о потенциальных возможностях эхолокационной системы дельфина при решении задачи обнаружения, т. е. экспериментально получена характеристика энергетической дальности сонара дельфина *Tursiops truncatus*.

Таким образом, зарегистрирован и исследован класс сигналов, однозначно связанных с процессом поиска и распознавания подводных объектов в различных акустических условиях лабораторного эксперимента. Импульсы, излучаемые дельфинами, сосредоточены во времени длительностью 10–20 мкс. Они знакопеременные, биполярные и сверхширокополосные с неопределенным спектральным максимумом, т. е. ультракороткие импульсы или пакеты УКИ с время-импульсной модуляцией (ВИМ). Интервал между УКИ меняется в некоторых пакетах в пределах от 1 до 5 мс, а в других — от 10 до 120 мс. Амплитуда акустического давления УКИ достигала 220 дБ относительно 1 мкПа/м [3, 4]. Понятно, что сужение частотной характеристики тракта регистрации приводит к искажению импульсов эхолокации и коммуникации, но временная структура между импульсами сохраняется. Большой разброс уровня акустического давления также приводит к неизбежным искажениям УКИ, но временная картина пауз вполне сохранна.

По результатам длительных этолого-акустических наблюдений к классу социальных сигналов относятся пакеты УКИ и частотно-модулированные (ЧМ) длинные импульсы (свисты) [10]. Предполагается, что некоторые дельфины (семейства *Phocoenidae*, *Physeteridae*, *Cephalorhynchinae*) не используют ЧМ сигналы, а сигналы коммуникации формируются с помощью пакетов УКИ [11–13]. Интервал между импульсами в длинных пакетах импульсов меняется от 0,5 до 10 мс [14]. Они хорошо регистрируются во время высокой социальной активности при расстояниях между особями 2 м ÷ 14 м [14]. Длинные пакеты импульсов ~100 ÷ 1300 мс интерпретируются как эмоциональные сигналы [15]. Следующий класс сигналов — это смешанные сигналы, которые состоят из пакетов импульсов с одновременным излучением ЧМ сигналов [16]. Длительность пакетов и длительность ЧМ сигналов синхронизированы с началом и окончанием излучения смешанного сигнала [17].

Класс частотно-модулированных и частотно-манипулированных (ЧМн) сигналов рассматривается в очень многих работах [18–20] и данный класс сигналов активно используется для создания словаря акустических команд, которые животные способны повторять [21]. Повторение животными сигналов с более

сложной структурой, например человеческой речи [22], внушает оптимизм для построения языка посредника и не только на уровне команд, но и на уровне построения глаголов и смысловых предложений [23, 24]. Предполагается, что класс ЧМ сигналов животные используют как обозначение «имени». Доказательства данного факта в виде прямого лабораторного эксперимента не существует, но использование индивидуальных ЧМ сигналов как «имя собственное» широко обсуждается в научной литературе [25].

Альтернативная гипотеза применения класса ЧМ сигналов предполагает использование их для ближней ориентации. При этом наличие индивидуальных ЧМ сигналов позволяет успешно отстраиваться от ЧМ сигналов других особей [26]. Данная гипотеза также не имеет прямого экспериментального подтверждения.

Вопрос о создании прямого эксперимента, в котором однозначно можно исследовать класс сигналов в процессе акустического коммуникационного взаимодействия до сих пор остается открытым. Многим исследователям удавалось наблюдать спонтанное акустическое взаимодействие между животными, когда пара животных, находившихся по разные стороны сети, вдруг начинали яростно «облаивать» друг друга. Это можно интерпретировать как форму выражения конфликта с двигательным актом нападения и защиты. Если убрать преграду, открыть калитку, то борьба за мнимую территорию прекратится [27]. Но сигналы «диалога» в данном случае вряд ли удастся обнаружить, т. к. неожиданно подкрепленный сигнал будет единственным воспроизводимым сигналом из всех возможных вариантов акустического репертуара.

История развития эксперимента по коммуникационному взаимодействию дельфинов в лабораторных условиях содержания животных не так богата [28, 29].

В эксперименте по изучению гипотетического «языка» дельфинов (Дж. Бастиан [30] и В. Маркова [31]) поведенческая реакция животных оценивалась с помощью математической статистики, которая однозначно показала зависимость поведения двух животных от условного раздражителя и программы опыта. Однако авторы не смогли обнаружить корреляции между акустическим поведением и двигательным актом животного в задаче коммуникационного взаимодействия. В результате Дж. Бастиана отказался трактовать данный эксперимент как опыт с передачей информации между дельфинами с помощью акустических сигналов. В. Марков решил, что все сигналы, которые зарегистрированы в эксперименте, являются сигналами коммуникации и стал строить возможный словарь акустических взаимодействий [31].

Дж. Бастиан и В. Марков в своих работах не дают методических решений по обучению животных акустическому взаимодействию. Авторы предположили, что дельфины обладают ярко выраженным альтруистическим поведением, что и должно привести к положительному решению задачи акустического взаимодействия.

Действительно, некоторые поведенческие акты диких дельфинов показывают взаимодействие между животными при совместном добывании пищи. Подобное взаимодействие передается из поколения в поколение. Опыт показывает, что после нескольких месяцев пленения животные привыкают к мертвой рыбе, которую дает им человек, и к лечению от неизбежных заболеваний, что приносит явное облегчение животным. В результате происходит последовательный процесс одомашнивания молодых и взрослых дельфинов. Дельфины не стремятся покинуть вольер, даже если калитка оставлена открытой на долгое время [32].

Чаще всего обучение с пищевым подкреплением формирует информационный канал между человеком и животным, основанный на условно-рефлекторных реакциях: стимул (предмет, акустический сигнал и т. д.) — ответная двигательная реакция — пищевое подкрепление. Такой канал позволяет выработать любые элементарные действия, которые основаны на провокации двигательного действия на некоторый стимул или просто провокации некоторого действия, которое включено в цепочку последовательных двигательных действий. Если провокация действия (стимул) вызывает необходимую двигательную реакцию, то ее можно соответствующим образом подкрепить, т. е. сообщить адресату, что именно это действие и нужно.

В нашем разбираемом случае (по работам В. Маркова и Дж. Бастиана) коммуниканты должны передавать друг другу информацию о двигательных реакциях, которые они выполняют. Контроль подобной реакции реализуется с помощью повторения действий одного животного вторым животным. Действие первого животного, которое выполнило поставленную перед ним задачу нажимать на педаль при появлении стимула можно и не подкреплять. Двигательная цепочка действий второго животного, если она совпадает с двигательными реакциями первого животного, подкрепляется пищей. Пищу выдают и первому животному, если второе выполнило задачу верно. Но вознаграждение отставлено во времени, и за что получает пищу первое животное — остается загадкой. Информационный канал «стимул — реакция — подкрепление» имеет жесткий временной интервал, который ограничен по времени. Нарушение временного интервала при подкреплении приводит к стрессу или сильному затягиванию процесса обучения. Конечно, авторы учли возможные проблемы с отставленным подкреплением.

Авторы использовали проникновение гидроакустических сигналов из вольтера в вольтер как решающий фактор передачи информации между животными, однако приближение к педали ответной реакции является и демаскирующим фактором. Поэтому предполагается, что сигналы приближения к педали ответной реакции хорошо локализируются вторым животным. То есть, никто не отрицает самообучения животных по неучтенным признакам.

Дразнящее многообразие акустических [33] возможностей обеспечивается красочной палитрой излучаемых сигналов в диапазоне от десятков герц до двух сотен килогерц, а возможно и гораздо шире. Гидроакустическая коммуникация при отсутствии других информационных каналов должна иметь необходимую помехоустойчивость, которая и достигается многообразием форм излучаемых сигналов [34]. Сигналы с модуляцией по амплитуде, частоте и времени достигают таких разнообразных форм, что не поверить в акустическую коммуникацию практически невозможно, т. к. для некоторых видов китообразных в полярную ночь гидроакустический канал становится единственным каналом связи не только между удаленными особями, но и связи на близком расстоянии. В данной статье будем исходить из того, что коммуникация является специализированным частным случаем более общего понятия социального взаимодействия [34].

Цель данной работы — провести подробный анализ двигательного и гидроакустического поведения во время провокации вербального взаимодействия в условиях лабораторного эксперимента [35]. В данном эксперименте провоцируется когнитивная эмпатия, основанная на интеллектуальных процессах, которая позволяет не только сочувствовать, но и понимать другого. Вопрос, к какому типу эмпатии принадлежит мозг дельфина в данном опыте, предстоит еще выяснить. В рассматриваемом эксперименте сигналы эхолокации легко идентифицируются, как и сигналы вербального взаимодействия, что необходимо для понимания временной структуры выделенных сигналов коммуникации и обнаружения временной модуляции в них.

2. Методика

В описываемом эксперименте однозначно идентифицируется двигательное и акустическое поведение, которые связаны с задачей эхолокации и передачей информации. Двигательная реакция взаимодействия, по которой ориентируется исследователь, — это поворот туловища или головы друг к другу (двигательное поведение аналогичное демонстрации агрессии) и одновременное акустическое взаимодействие [35].

Априори подразумевается, что коммуникационное взаимодействие дельфинов предполагает оправданное (инкриминированное) ожидание прежде всего потому, что гидроакустический дистантный канал передачи информации является единственным, позволяющим животным решать общую акустическую задачу в условиях глубины и нехватки света в ночное время суток, и особенно в арктических условиях.

Процесс коммуникации по Л. Тондлу [36] предполагает наличие каналов передачи информации, наделенной конкретным значением, и сопоставимость интересов особей-коммуникантов. Учитывая, что прямой эксперимент по изучению акустической коммуникации не разработан, остановимся, прежде всего, на критериях подбора испытуемых. Это должны быть животные:

- 1) лабораторные (контроль гидроакустических и двигательных актов животных во время лабораторных испытаний);
- 2) одного стада, т. к. необходимо знать «язык» друг друга (уровень коммуникативной компетенции);
- 3) молодые с ярко выраженным исследовательским поведением (угасающим с возрастом);
- 4) примерно одного возраста (снижение индивидуальных доминантных предпочтений);
- 5) знающие задачи друг друга (набор выполняемых команд сопоставим с каждым из индивидуумов, участвующих в эксперименте).

Эксперимент спланирован так, чтобы:

- 1) между опытами животные содержались совместно в отдельном отсеке (формирование и поддержание стада);
- 2) пищевая доминанта во время эксперимента была максимально снижена (формирование благоприятного социального взаимодействия);
- 3) кормление животных проводилось только в экспериментальном отсеке (снижение конкуренции за пищу и повышение мотивации для участия в опытах);
- 4) очередность перехода в экспериментальный отсек животные выбирали самостоятельно в соответствии с иерархическим статусом внутри стада (контроль состояния иерархического поведения в стаде);
- 5) общая задача (компетентность), предмет информации или провоцирующий фактор коммуникационного взаимодействия ставились для всех животных.

Эксперимент был поставлен в бухте Казачьей в 2007 г. и проводился в свайно-сетевом вольере размером 25×10 м и глубиной 4 м (рис. 1). Вольер разделен сетью с ячейкой 5×5 см на три отсека, а т.к. эксперимент проводился осенью, то сети оставались чистыми от нароста. Первый отсек — общий (16×10 м), предназначен для совместного содержания животных между опытами. Второй отсек — экспериментальный (5×10 м). Третий отсек — технический (4×10 м), предназначен для передержки одного животного между опытами. В опыте принимали участие три половозрелых особи: две самки и один самец. Все дельфины предварительно были обучены проходить через калитки, установленные между отсеками. Сигналом перехода в другой отсек служит открытие экспериментатором калитки и двигательная команда рукой, указывающая куда необходимо перейти (рис. 1).

Для поддержания благоприятного социального взаимодействия между особями все животные между опытами содержались в первом отсеке, в котором моделировалась естественная обстановка стада. В эксперименте участвовали лабораторные животные, которые никогда не были задействованы в цирковых выступлениях. Ориентировочный возраст 10–12 лет, причем животные отловлены из одного стада. Кормление животных проводилось отдельно и только во втором отсеке во время обучения. Порядок очередности работы с животным в экспериментальном отсеке определялся животными в соответствии с установленным самими животными иерархическим статусом. В соответствии с иерархией начинали опыт самки, и заканчивал опыт самец. Очередность между самками, как правило, соблюдалась без выраженного соперничества.

Цепь двигательных поведенческих реакций в серии из трех опытов была построена следующим образом. Обучение и эксперимент по дифференцированию предметных стимулов проводится со всеми животными в экспериментальном отсеке. Животные по очереди переходят в экспериментальный отсек, выполняют необходимое число испытаний и переходят в другие отсеки, освобождая место для проведения испытаний другим животным. Первый в экспериментальный отсек по сигналу экспериментатора заходит доминирующая самка. После нее — вторая самка, а первая переходит в третий отсек. В завершающем опыте вторая самка и самец меняются местами самостоятельно без сигнала экспериментатора.

Все дельфины были обучены дифференцировать по гидроакустическому каналу два предметных стимула разных по размеру, материалу и форме — латунная сфера диаметром 5 см, дюралюминиевый цилиндр диаметром 5 см и высотой 7 см. Стимулы предъявлялись последовательно и равновероятно.

Двигательная реакция животного начиналась с подхода к манипулятору старта «S» (рис. 1). В качестве манипулятора старта «S» использовался излучатель. По акустическому сигналу дельфин занимает стартовую позицию «S». Манипулятор ответной реакции «М» служил для обозначения реакции дельфина на положительный стимул с пищевым подкреплением. Двигательная реакция на отрицательный стимул — оставаться на месте (S) с контрольным временем 5–15 с без пищевого подкрепления. Опыты проводились на всех животных 2 раза в день по ~20 испытаний с каждым животным. Положительный/отрицательные стимулы предъявлялись равновероятно. Манипуляторы «S», «М» и место предъявления стимула «С» расположены на одной линии. Расстояние между «S» и «М» составляло 3 м, расстоянием между «S» и место экспозиции стимула «С» составляло 5 м.

Для регистрации акустической активности использовали гидрофон, он же являлся и манипулятором ответной реакции «М». Сигналы регистрировались с помощью магнитофона «Тембр-2М», предусилителя

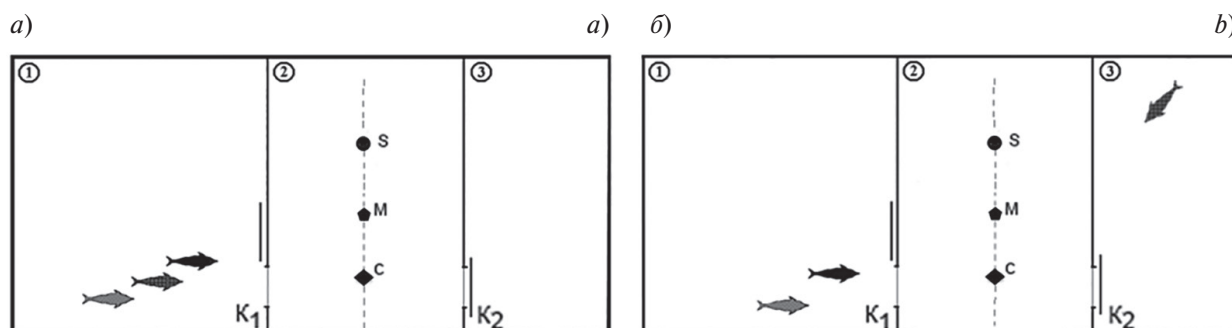


Рис. 1. Вольер разделен на три отсека: 1 — общий, 2 — экспериментальный, 3 — технический; K_1 , K_2 — калитки; S — место старта; M — манипулятор ответной реакции; C — места предъявления стимула; а, б — иерархическое поведение экспериментальных животных при переходе из отсека в отсек

Fig. 1. The aviary is divided into three compartments: 1 — general, 2 — experimental, 3 — technical; K_1 , K_2 — gates; S, start site, M, response manipulator, C, stimulus presentation sites; а, б — hierarchical behavior of experimental animals when moving from compartment to compartment

и гидрофона в полосе частот до 20 кГц. При такой ограниченной частотной полосе приемного тракта частотная характеристика импульсов дельфина разрушалась, но временные параметры между импульсами и пакетами импульсов сохранялись неизменными. Для акустического контроля среды использовались колонки магнитофона.

Цепочка условно-рефлекторных (УР) двигательных реакций на положительный стимул состоит из: акустического сигнала «Старт» — дельфин занимает стартовую позицию «S», ориентируясь в сектор экспозиции стимула «C»; при экспозиции положительного стимула дельфин плывет к манипулятору «M» и касается его, после чего следует акустическое подкрепление и пищевое вознаграждение. На отрицательный стимул цепь УР состоит из последовательности действий: акустический сигнал — дельфин занимает стартовую позицию «S»; экспозиция отрицательного стимула «C» (3–6 с) — дельфин остается на старте в течение всего времени экспозиции стимула и после него.

Процедура эксперимента состоит из двух частей. В первой части: все животные обучаются реакции дифференцирования и последовательно выполняют одну задачу, в которой положительный стимул — сфера⁺, а отрицательный стимул — цилиндр⁻. При выполнении задачи дифференцирования одним животным (респондент) две другие особи выполняют задачу внимательных и добровольных наблюдателей. Пищевое вознаграждение получает только респондент. Предполагалось, что все животные в процессе обучения и контроля выполняют последовательно роль наблюдателя и респондента.

Во второй части эксперимента, когда все животные знают все необходимые действия во время дифференцирования стимулов при выполнении задачи респондентом, а также выполнение задачи внимательным наблюдателем, проводится процедура переучивания задачи дифференцирования на обратную, в которой положительным стимулом служит цилиндр⁺, а отрицательным стимулом — сфера⁻. Во время переучивания респондент неизбежно совершает ряд ошибочных действий, обучаясь новому решению задачи. В данном случае предполагается, что процесс накопления ошибок респондента является провоцирующим фактором изменения эмоционального фона в поведении наблюдателей. Развитие эмоциональных переживаний наблюдателей провоцирует акустическое коммуникационное взаимодействие.

3. Результаты

Первое, что привлекает внимание исследователя, — это иерархическое поведение животных в первом (общем) отсеке, которое подтверждает сформированность стадного поведения. Во время содержания в общем отсеке акустическое поведение сопровождалось всеми известными сигналами (рис. 2) — эхолокацион-

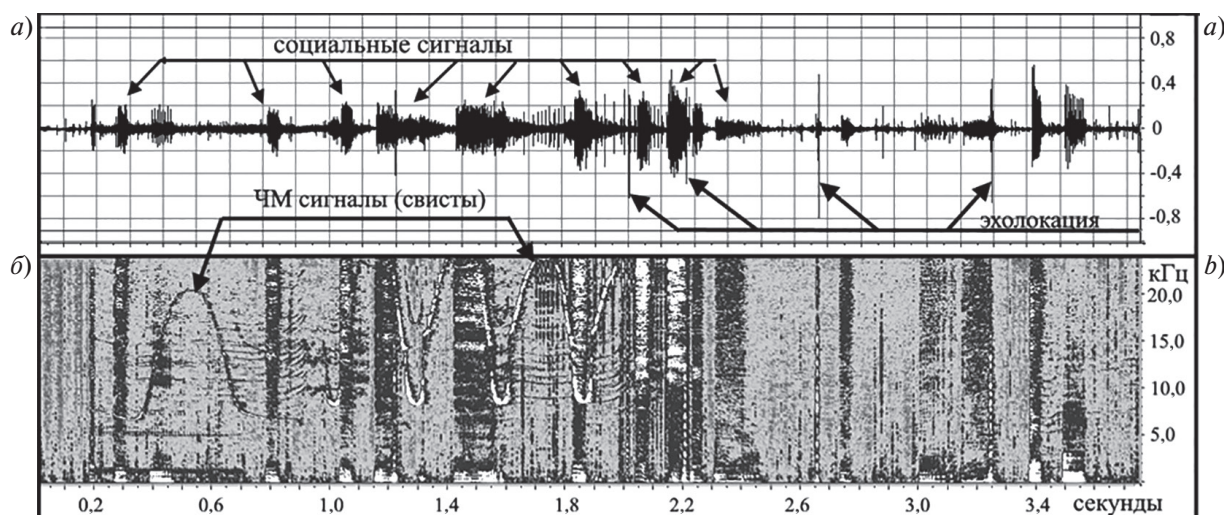


Рис. 2. Фрагмент акустического поведения животных в общем отсеке: *a* — осциллограмма акустического поведения дельфинов при взаимодействии в стаде; *b* — сонограмма выделенного фрагмента в полосе частот до 20 кГц (частота квантования 48 кГц)

Fig. 2. Oscillogram of the acoustic behavior of animals in the common compartment: *a* — a fragment of the acoustic behavior of dolphins during interaction in the herd; *b* — sonogram of the selected fragment in the frequency band up to 20 kHz (quantization frequency 48 kHz); 1 — social signals; 2 — frequency-modulated signals; 3 — echolocation signals

ными импульсами, свистовыми сигналами (ЧМ импульсы), социальными сигналами, которые при аудио прослушивании воспринимаются как «кряки», «визги», сигналами эхолокации, а также смешанными сигналами, сопровождающими игровое поведение.

Цепь двигательных поведенческих реакций в серии из трех опытов выглядела следующим образом. Открывается калитка между первым и вторым отсеками (рис. 1, а), дельфины выстраиваются в очередь перед калиткой в ожидании сигнала от экспериментатора. По сигналу экспериментатора (взмах рукой в сторону второго отсека) первой в экспериментальный отсек заходит доминирующая (предположительно) самка. Калитка закрывается и после проведения опыта с доминирующей самкой открывается калитка между вторым (экспериментальным) и третьим (техническим) отсеками. Доминирующая самка переходит в третий отсек и после закрытия калитки она остается там до окончания опыта с самцом.

На следующем этапе открывали калитку между первым и вторым отсеками, дельфины снова выстраивались в очередь, и по сигналу экспериментатора во второй отсек проходила вторая самка (рис. 1, б). По завершению второго опыта калитку между первым и вторым отсеком открывали, самка с самцом самостоятельно (без дополнительного сигнала от экспериментатора) менялись местами.

Цепь актов иерархического поведения в экспериментах повторялась однозначно от опыта к опыту, что свидетельствует о благоприятной социальной атмосфере в стаде. По существу, иерархическое поведение является своеобразным тестом социального взаимодействия членов стада. Предполагается, что у данной группы животных формируется одинаковая «языковая компетенция» (термин школы Хомского [37]) с известным всем особям набором задач по обнаружению и распознаванию предметных и акустических стимулов.

Если обучение прошло успешно, то, как правило, респондент полностью сконцентрирован на решении задачи последовательного дифференцирования предметных стимулов с помощью сонара с вероятностью равной единице и способен выполнять эту работу бесконечно. При прослушивании вольера отчетливо слышны эхолокационные сигналы респондента, и только иногда и очень тихо прослушиваются аналогичные сигналы от наблюдателей. Внимание наблюдателей полностью сконцентрировано на работе испытуемого, что подтверждается их поведением. Животные стоят близко к разделяющей их сетке с ориентацией головы в направлении испытуемого или стимула (рис. 3, а).

Представленные на рис. 4—8 результаты временного и спектрального анализа сигналов коммуникации показывают качественную картину вариации различных модуляций высокочастотных импульсных последовательностей, что демонстрирует процесс передачи информации с помощью время-импульсной модуляции и время импульсной модуляции последовательности пакетов. Все сигналы хорошо идентифицируются во времени и пространстве. Длительность пакетов меняется от 25 до 2000 мс. Интервал пауз между пакетами меняется от 90 до 2200 мс.

Для выполнения второй части эксперимента в качестве будущего респондента был выбран самец как наиболее старательный испытуемый, который завершал серию из двух и начинал третий опыт, когда все животные к этому моменту были сыты. В первых же испытаниях самца стали переучивать на обратную задачу дифференцирования, что естественно привело к серии из 10 подряд ошибочных решений. В данном случае, по мере накопления ошибок, реакция наблюдателей была ярко выражена в быстрых движениях головы

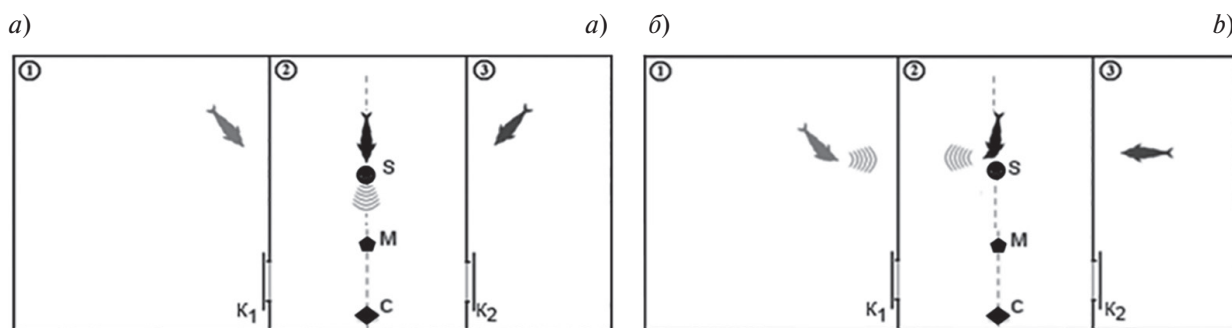


Рис. 3. Двигательное поведение дельфинов во время опыта по дифференцированию стимула: а — поведение наблюдателей во время выполнения задачи дифференцирования предметных стимулов респондентом; б — двигательное и акустическое поведение наблюдателей и респондента во время «диалога» — поворот головы друг к другу

Fig. 3. Motor behavior of dolphins during the experiment on stimulus differentiation: а — the behavior of observers during the task of differentiating object stimuli by the respondent; б — motor and acoustic behavior of the observers and the respondent during the “dialogue” — turning the head to each other

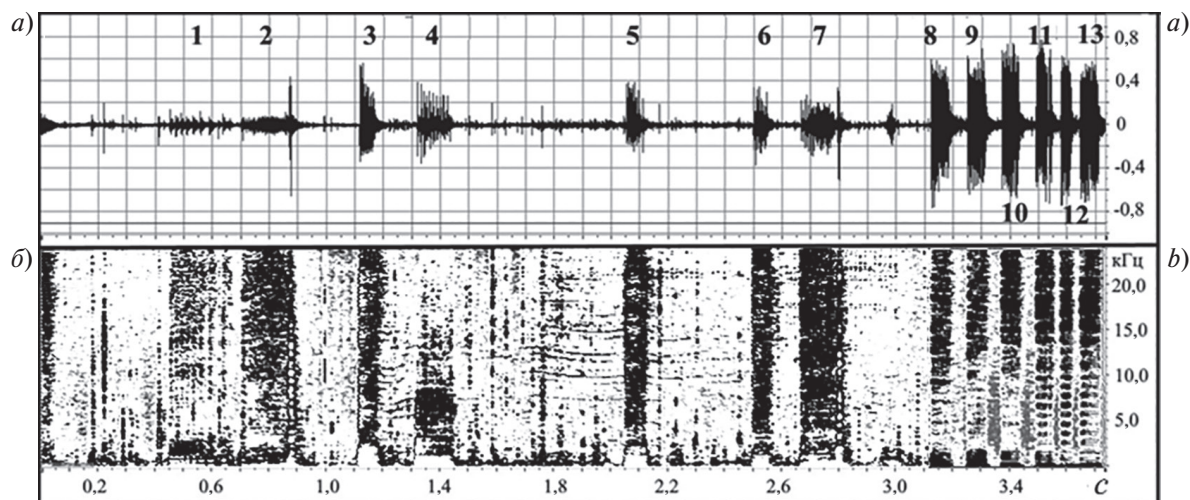


Рис. 4. Фрагмент вербального акустического поведения: *a* — осциллограмма акустического поведения с помощью пакетов УКИ № 1...7 акустические пакеты с большими паузами между пакетами и пакеты № 8...13, различной длительности с интервалами между УКИ от 2 мс до 6 мс и короткими паузами между пакетами; *b* — сонограмма выделенного фрагмента в диапазоне частот до 20 кГц

Fig. 4. Oscillogram of verbal acoustic behavior: *a* — a fragment of acoustic behavior using UWB packets No. 1...7 acoustic packets with long pauses between packets and a fragment of a series of packets and packets No. 8...11, of various durations with intervals between UWB from 2 ms to 6 ms and short pauses between bursts; *b* — sonogram of the selected fragment in the frequency range up to 20 kHz

в направлении от стимула к самцу и обратно, покачивании туловища влево/вправо, а во время прослушивания бассейна была выраженная эхолокация в сторону стимула и повизгивание. Следующая ошибка респондента при продолжении испытаний привела к бурной акустической реакции наблюдателей и ответной реакции респондента с ярко выраженной двигательной реакцией всех участников опыта с визуальным и акустическим контактом. На рис. 3 представлена двигательная реакция дельфинов в момент визуального и акустического коммуникационных взаимодействий. Самец подходил сначала к правому и потом к левому наблюдателю и в этот момент между респондентом и наблюдателями происходил бурный акустический «диалог» (рис. 3, б). Последующие ошибки респондента также приводили к акустическому «диалогу» с выраженной двигательной реакцией поворота головы друг к другу (рис. 3, б). В данном опыте «консультация во время диалога» не привела к изменению поведения респондента при выполнении задачи дифференцирования.

При эхолокации на предметные стимулы все импульсы направлены в сектор обзора экспозиции стимула (рис. 3, а), а временные параметры интервала между импульсами эхолокации однозначно связаны с дальностью до цели. Серии пакетов, связанные с коммуникационным взаимодействием по пространству наблюдения с геометрическим и акустическим максимумом в сторону коммуниканта, нацелены на визуальный контакт с максимальным уровнем акустического давления УКИ. Именно поэтому дополнительной статистической обработки характеристик двигательного поведения на предметные стимулы и акустического взаимодействия между животными не требуется. Все двигательные реакции связаны с экспериментальным процессом и идентифицируются с акустическим сопровождением.

При провокации и приглашении к «диалогу», а также в самом «диалоге» однозначно выделяются пакеты импульсов. Серии пакетов импульсов характеризуются длительностью пакета, длительностью минимального и максимального интервалов между импульсами в пакете, количеством импульсов. По ним строится кривая ВИМ, вычисляется коэффициент разнообразия пакетов импульсов по их длительности: $K_{\text{разн.}} = (t_{\text{max}} - t_{\text{min}}) / (t_{\text{max}} + t_{\text{min}})$. Чем ближе коэффициент разнообразия к 1, тем сильнее выражено разнообразие. С помощью вычисления коэффициента разнообразия пакеты разделяются на две группы — пакеты 1 рода, у которых $K_{\text{разн.}} < 0,5$, и пакеты 2 рода, у которых $K_{\text{разн.}} > 0,5$. Обрабатываемый фрагмент фильтруется от реверберационного фона (дельфины во время «диалога» находились близко у поверхности воды) и сигналов эхолокации (эхолокационные сигналы рядом находящихся животных). Учитывая малую частоту квантования сигналов (48 кГц), проводить оценку спектральных характеристик сигналов на высоких частотах не имеет смысла. Однако некоторые параметры оценить вполне возможно: длительность пакета, интервал между импульсами в пакете, длительность пауз между пакетами, закон изменения ВИМ в пакетах, количество импульсов в пакетах.

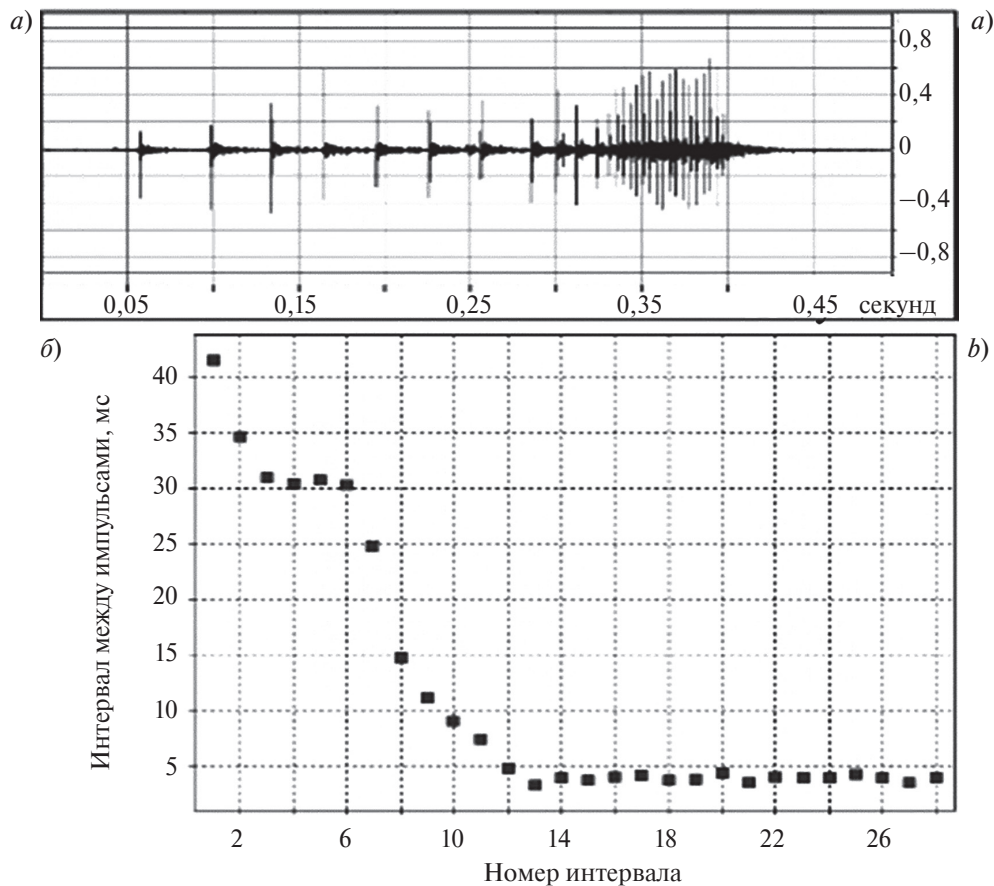


Рис. 5. Пакет импульсов во время вербального взаимодействия длительностью 350 мс: *a* — осциллограмма пакета; *b* — график зависимости изменения интервала между импульсами от номера интервала по порядку (минимальная величина составляет ($t_{\min} = 3,5$ мс, максимальная $t_{\max} = 41$ мс, $K_{\text{разн}} = 0,84$))

Fig. 5. Oscillogram of a burst of impulses during a verbal interaction; packet duration 350 ms: *a* — temporary display of the package; *b* — graph of the dependence of the change in the interval between pulses on the number of the interval in order (the minimum value is $t_{\min} = 3.5$ ms, the maximum $t_{\max} = 41$ ms, $K_{\text{variety}} = 0.84$)

На рис. 5 представлена осциллограмма коммуникационного сигнала с временными параметрами $t_{\min} = 3,5$ мс и $t_{\max} = 41$ мс, $K_{\text{разн}} = 0,84$. При этом максимальный интервал между импульсами начинается между первым и вторым импульсами в пакете и далее длительность паузы меняется от максимума к минимуму (с 1-го по 14-й импульсы).

Длительность пакета (рис. 6) составляет ~ 973 мс с модуляцией интервала УКИ от $t_{\min} = 3,9$ мс до $t_{\max} = 124$ мс, а коэффициент разнообразия $K_{\text{разн}} = 0,94$. Этот пакет можно разделить на три фрагмента. Первый фрагмент от 1-го до 13-го импульса — интервал между УКИ меняется от 30 до 124 мс. От 14-го до 20-го импульса интервал меняется от 2 до 13,5 мс (коэффициент разнообразия $K_{\text{разн}} = 0,74$). От 21-го до 38-го импульса интервал меняется от 3 до 4 мс (коэффициент разнообразия $K_{\text{разн}} = 0,14$).

Паузы между 1-м и 14-м импульсами на рис. 5 и 6 разнонаправлены. На рис. 5 от максимума к минимуму, в то время как на рис. 6 от минимальной величины до максимальной и далее присоединяется пакет с минимальным $K_{\text{разн}} = 0,14$.

Длительность серии из 4-х пакетов — 1,2 с (рис. 7). Длительность пакета составляет № 1—234 мс, с переменным интервалом между УКИ $\sim 2,5$ —22 мс; пакета № 2—75 мс, с переменным интервалом между УКИ — $\sim 1,6$ —2,5 мс; длительность пакета № 3—72 мс, с переменным интервалом между УКИ от $\sim 1,8$ до 3,2 мс; длительность пакета № 4—120 мс, с переменным интервалом между УКИ от 3 до 4 мс. Длительность пауз между пакетами: № 1—2 составляет ~ 320 мс; № 2—3 составляет ~ 245 мс; № 3—4 составляет ~ 130 мс.

Приведенный фрагмент записи на рис. 8 воспринимается на слух со всеми искажениями и фильтрацией весьма интригующе, напоминая некоторые несформировавшиеся человеческие речевые структуры.

Анализ фонограмм показал, что коммуникационные сигналы состоят из последовательности длинных пакетов импульсов с изменяемой длительностью от 25 до 1000 мс и более. Пакеты импульсов состоят

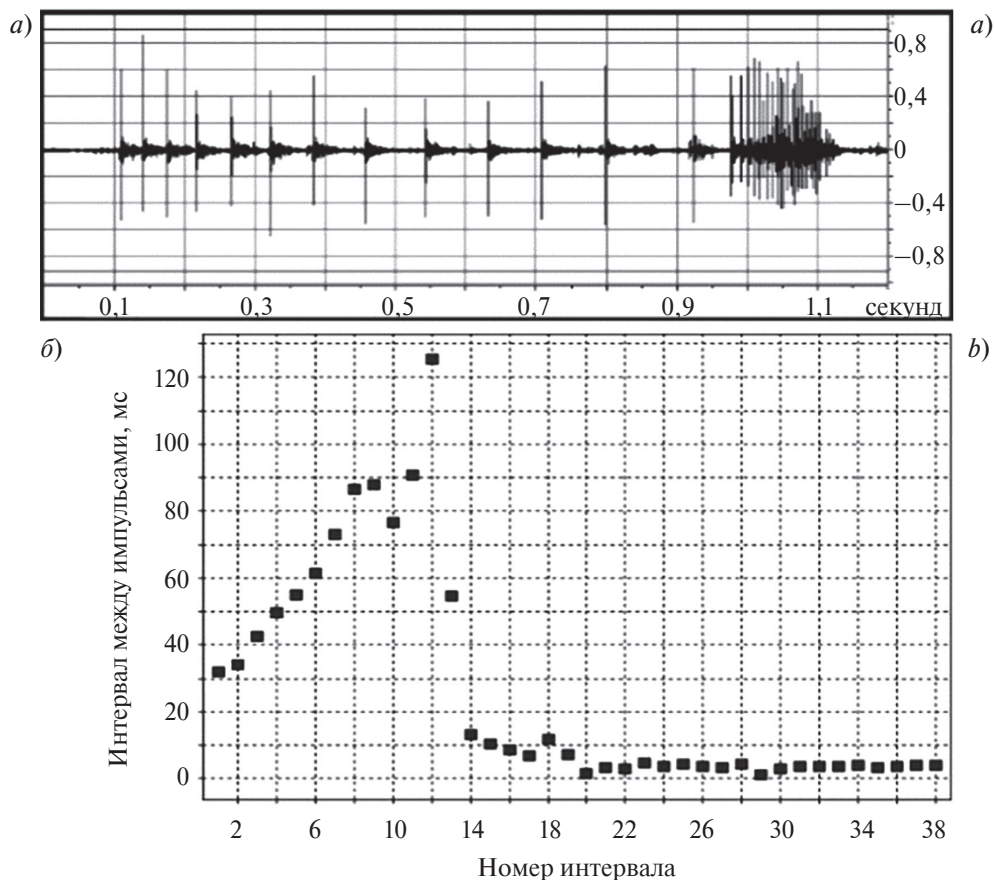


Рис. 6. Пакет УКИ во время вербального взаимодействия; *a* — осциллограмма пакета импульсов длительностью ~973 мс; *b* — график изменения интервала между УКИ от номера интервала по порядку ($t_{\min}=3,9$ мс до $t_{\max}=124$ мс, $K_{\text{разн.}}=0,94$)

Fig. 6. Oscillogram of the UWB package during verbal interaction; *a* — temporal display of a burst of impulses, the duration of a fragment is 1s; *b* — graph of the change in the interval between UWB from the number of the interval in order

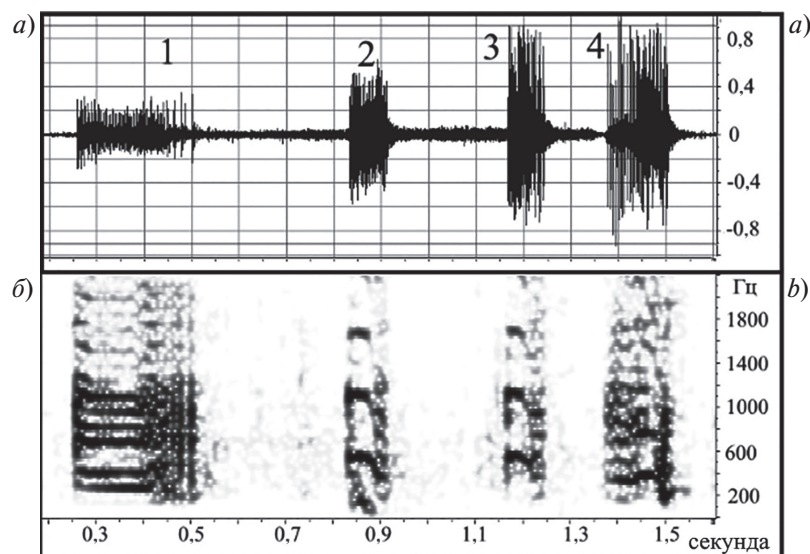


Рис. 7. Серия пакетов УКИ во время вербального взаимодействия; *a* — осциллограмма пакетов импульсов; *b* — сонограмма пакетов УКИ в низкочастотной области (до 20 кГц)

Fig. 7. Oscillogram of a series of UWB packets during verbal interaction; *a* — temporal display of impulse packets; *b* — graph of the power spectral density of UWB packets in the low-frequency region (up to 20 kHz)

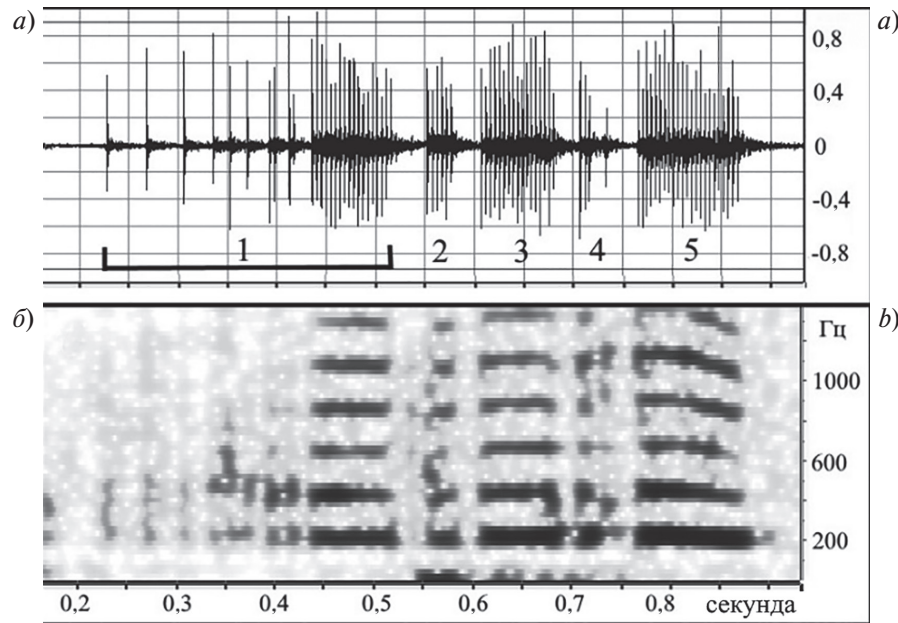


Рис. 8. Серия пакетов импульсов при вербальном взаимодействии: *а* — осциллограмма из 5-ти пакетов; *б* — сонограмма в низкочастотной области (до 15 кГц). Длительность серии пакетов — 639 мс. Пакет № 1—287 мс; № 2—26 мс; № 3—73 мс; № 4—9 мс; № 5—100 мс. Интервал между УКИ в: пакете № 1 — ~4–40 мс; № 2 ~ 4 мс; № 3 — ~4 мс; № 4 — ~4 мс; № 5 — ~4 мс. Длительность пауз между пакетами: № 1–2 ~36 мс; № 2–3 ~30 мс; № 3–4 ~27 мс; № 4–5 ~46 мс

Fig. 8. The duration of a series of packets is 639 ms. Packet No. 1—287 ms, No. 2—26 ms, No. 3—73 ms, No. 4—9 ms, No. 5—100 ms. The interval between UWB in: package No. 1 is from ~4 ms to 40 ms, No. 2 is ~4 ms, No. 3 is ~4 ms, No. 4 is ~4 ms, No. 5 is ~4 ms. Duration of pauses between packets: No. 1–2 ~ 36 ms; No. 2–3 ~ 30 ms; No. 3–4 ~ 27ms; No. 4–5 ~46 ms

из последовательности импульсов с переменными паузами между ними. Длительность пауз меняется от 1 до 10 мс и, как правило, изменение интервала происходит по некоторому пока не выясненному закону. Результаты временного анализа сигналов коммуникации представляют качественную картину вариации различных модуляций в пакетах с высокой частотой следования импульсов в пакетах и низкой частотой следования импульсов в пакетах, что, по-видимому, демонстрирует процесс передачи информации.

4. Обсуждение

Полученный результат действительно отражает поставленную задачу, а именно провокацию акустического коммуникационного взаимодействия. В представленном эксперименте нет доказательства передачи информации от индивида к индивиду, но доказано, что «диалог» спровоцирован. Провокация действия возможного «диалога» является необходимой экспериментальной базой, на которой можно построить эксперимент по акустическому взаимодействию животных, в котором передача информации является следствием разрешения неопределенности. Создание неопределенности входит в процесс провокации тогда, когда все участники возможного «диалога» информированы о решении основной задачи на 100 %. Любое отклонение от основной задачи влечет за собой состояние неопределенности, для разрешения которой требуется приложить некоторые «умственные» усилия.

Полученный результат показывает, что неопределенность для всех участников эксперимента приводит к действию — к акустическому взаимодействию с «попыткой совместного» разрешения возникшей проблемы. Эмоциональное состояние наблюдателей зависит от количества ошибок, совершаемых респондентом, т.е. уровень эмоциональной нагрузки определяется обстановкой неопределенности от испытания к испытанию. На пике эмоциональных переживаний наблюдатели провоцируют «диалог» с респондентом. Это позволяет однозначно сопоставить акустические сигналы с поведенческими актами животных во время опыта, не используя математическую статистику для доказательства коммуникационного поведения.

Таким образом, в разбираемой методике факт провокации акустического взаимодействия однозначно фиксируется по двигательной реакции животных поворотом их друг к другу с одновременным гидроакустическим актом, который сопровождается до тех пор, пока животные «смотрят» друг на друга. Такое поведение напоминает поведение людей во время общения или поведение, например собак во время нереализованного действия, которое включает другую систему, а именно голосовое оповещение, если невозможно выполнить непосредственный контакт. В данном случае нереализованное действие у собак может выражаться в громком лае при невозможности довести действие до конца — подойти к хозяину. Аналогичная акустическая реакция возникает у собаки, которую ведут на поводке при появлении на горизонте другой собаки. Если встречаются дружелюбные собаки, у которых эти отношения каким-то образом сформировались ранее, то эти встречи сопровождаются эмоционально окрашенным дружелюбным акустическим взаимодействием.

К сожалению, эксперимент с провокацией вербального взаимодействия на основе когнитивной эмпатии был выполнен только один раз. Вместе с тем показано, что с помощью представленной методики можно спровоцировать коммуникационное взаимодействие. На основе представленных данных можно строить новые эксперименты при формировании неопределенности с использованием множества предметных стимулов для распознавания или классификации, т. е. менять сценарии.

Провокация коммуникационного поведения в экспериментах будет исходить от наблюдателей, а функцию наблюдателей должны по очереди выполнять все участники эксперимента. Наблюдатель может выполнять функцию информированного подсказчика, если предварительно он обучен основному эксперименту, а также решению новой задачи, о которой не знают остальные участники будущего опыта. Надо заметить, что этот эксперимент позволяет проводить отбор животных, которые «добросовестно и добровольно» выполняют работу наблюдателей, что говорит об устойчивом исследовательском или подражательном рефлексе в течение всего эксперимента. Наблюдатель обязательно выполняет эту функцию и смотрит в отсек, где проводится опыт, но только тогда, когда он точно знает основную задачу. Потеря интереса у животного, выполняющего функцию наблюдателя к происходящему в экспериментальном отсеке, свидетельствует о необходимости поиска отвлекающих стимулов или замены животного. Нарушение устойчивого исследовательского поведения является критерием отбора животных для дальнейшей экспериментальной работы.

При повторении такого опыта необходимо понять, когда вводить подкрепление во время акустического взаимодействия: в середине или по окончании акустического контакта, но с обязательным визуальным контактом друг с другом. В настоящее время этот процесс не исследован. Поэтому давать какие-то рекомендации рискованно. Понятно, что необходим долгий процесс исследования, но можно предположить, что любое введенное подкрепление может оказаться неоднозначно связанным по времени с необходимой реакцией. Момент акустического контакта однозначно связан с несколькими действиями: вокализацией, двигательной реакцией наблюдения за коммуникантом и/или наблюдением за действиями дрессировщика. Введение акустического подкрепления в момент ответной реакции на провокацию коммуникационного поведения может ошибочно трактоваться животным и зафиксировать неверные действия при информационном обмене. Если закрепилась связь стимула на вокализацию, то не факт, что именно на вокализацию, сопровождаемую коммуникационным процессом, т. е. может образоваться связь на другой сопутствующий сигнал. Предполагается, что нечто аналогичное описано в статье [9], в которой одни животные при решении задачи обнаружения фантомного эха, отставленного на большие дальности (время), перешли на эхолокацию сигналами, состоящими из пакетов импульсов, а одно животное продолжало работать в моноимпульсном режиме эхолокации.

Способность предвидеть действия и их последствия требует некоторого планирования. Представленная методика показывает, что дельфины тоже обладают способностью планировать. Это предполагает презентацию цели, ситуации, последовательности действий и их результатов. Как показано в работе [38], подобное планирование у животных касается в большей степени текущих потребностей. Они начинают планировать, когда голодны или находятся в опасности.

В представленном эксперименте у всех дельфинов к моменту провокации коммуникационного взаимодействия пищевая доминанта отсутствует, а исследовательский рефлекс сохраняется, что отчетливо выражено в реакции наблюдателей. Опираясь на исследования по изучению зеркальных нейронов [39], предполагается, что наблюдения за сородичами (партнерами) действительно мобилизуют «зеркальные нейроны», которые ответственны за сопереживание. Таким образом, если рассматривать сопереживание или эмоцию как стимул, то, как правило, определить силу такого стимула затруднительно, а вот знак эмоционального накала (позитивные либо негативные эмоции) — гораздо легче. Предположим, что сопереживание ошибочных действий респондента — это негативное эмоциональное возбуждение. В работе [40] показано, что

исследователи предпочитают оценивать изменение структуры звуков в зависимости от степени негативно-го эмоционального возбуждения животного, а не от степени положительного эмоционального возбуждения. В этой же работе показано, что вокализации, выражающие положительные эмоции, проявляются гораздо реже, чем вокализации, выражающие отрицательные эмоции.

Развитие эксперимента по данной методике позволит наблюдать либо формирование подражательного поведения, либо поведенческие акты, связанные с передачей гидроакустической информации, т. е. исследовать коммуникацию как взаимодействие, включающее обязательный информационный обмен и обслуживающие его системы специализированных сигналов-посредников. Предполагается, что такие сигналы используют «компетентные» участники взаимодействия, у которых возникает потребность регуляции поведения партнера. В конечном итоге хотелось бы получить эксперимент, в котором животные передают информацию друг другу, а от взаимных акустических коммуникационных действий зависит результат. Результат первого эксперимента представлен в работе [35].

Эксперимент по провокации акустического взаимодействия спланирован с учетом всех перечисленных требований с использованием лабораторных животных. В силу специфики восприятия цирковых животных, связанной с решением задачи «стимул — двигательная реакция — подкрепление — вознаграждение» и восприятием команд дрессировщика, они не рекомендуются для участия в таких экспериментах.

Лабораторные животные воспитываются иначе, но так, чтобы во время проведения научных испытаний пищевое вознаграждение сводилось к минимальному объему или вообще не применялось. Пищевое вознаграждение для лабораторных животных используется только во время обучения или во время подвижных игр в качестве эмоциональной разгрузки. Вознаграждение дает исследователь, скрытно бросая рыбу в воду, а дельфин самостоятельно по всплеску ориентируется на нее. Суточный рацион распределяется в зависимости от экспериментальной нагрузки и выдается перед опытом или после его завершения. Количество получаемой рыбы до и после опыта зависит от трудности опыта и добросовестного выполнения поставленных задач.

Попытаемся доказать, что результат провокации коммуникационного взаимодействия с помощью изменения эмоционального состояния и сопереживания, т. е. проникновение в субъективный мир другого индивида, обусловлен эмпатией. Психологи считают, что способность к эмпатии, по-видимому, связана с развитием довербальных взаимодействий между матерью и ребенком, когда желания и потребности совпадают с реакциями на них. Некоторые психологи полагают, что эмпатия составляет ядро коммуникации, а в коммуникативной деятельности она способствует сбалансированности межличностных отношений, делает поведение социально адекватным [41].

В нашем случае момент проявления эмпатии установить по мимике невозможно, т. к. у дельфина в отличие от других млекопитающих отсутствует мимическая реакция (застывшая маска улыбки), но в данном опыте моторная реакция в виде покачивания головой (вверх/вниз) или всем телом (слева/направо) достаточно заметна. Где же живут наши чувства? Сегодня можно ответить на этот вопрос — это «зеркальные нейроны». Без зеркальных нейронов не было бы интуиции и эмпатии [42]. И в этой же книге: «Отдельные явления зеркального отражения наблюдаются у многих высших позвоночных животных, живущих в социальных группах, в том числе у собак и обезьян». Теперь можно добавить, что явление зеркального отражения наблюдаются и у дельфинов.

Проведем анализ схемы коммуникационного контакта (общения), которая, например, у детей протекает по определенным законам и не зависит от того, какими средствами пользуются собеседники для обмена информацией [43]. Основные этапы контакта:

1. *Установление контакта*: инициатор общения привлекает внимание другого коммуниканта одним из следующих способов — взглядом, прикосновением, жестом, вербально. Благодаря этому устанавливается визуальный контакт, который, как правило, сохраняется (у детей — обязательно) на протяжении всего времени общения.

2. *Передача информации*: инициатор общения убеждается в принятии и готовности коммуниканта к общению (визуальный контакт), передает информацию и обязательно ожидает ответ.

3. *Прием информации*: коммуникант принял информацию от партнера, анализирует ее, отвечает или ожидает ответной реакции.

4. *Завершение диалога*: происходит по взаимному соглашению или в одностороннем порядке. Прекращается визуальный контакт, прекращается разговор, обмен жестами и другими коммуникативными средствами.

Как пишет автор, внимательное изучение «схемы беседы» дает материал для суждения об устойчивости внимания детей к собеседникам (взрослым и сверстникам), о месте сверстника в системе социального взаимодействия каждого ребенка, о качестве каждого структурного звена в целостном коммуникативном

действии, умении ожидать ответную информацию и в соответствии с ней строить дальнейшее коммуникативное поведение. Анализ «схемы беседы» позволяет выявить различные патологии, трудности обучения или восприятия, которые позволяют детскому психологу провести диагностику социальной сверхактивности, угнетения или способности к адаптации. Используем эту схему для анализа наблюдаемого процесса в нашем опыте.

В нашем эксперименте участвуют три дельфина, и для удобства анализа «схемы беседы» обозначим коммуникантов следующим образом: коммуникант-1 находится в общем вольере (К-1); коммуникант-2 находится в экспериментальном отсеке (К-2); коммуникант-3 находится в техническом отсеке (К-3).

В представленном опыте было спровоцировано две «беседы», которые наблюдались в явном виде, в котором сигналы эхолокации разделены в пространстве и во времени от сигналов коммуникации. В соответствии с принятыми обозначениями в эксперименте с дельфинами первая «схема беседы» протекала следующим образом:

1. Инициатор контакта К-1 привлекает вербально К-2; устанавливается визуальный контакт между К-1 и К-2, что подтверждается поворотом головы и туловища друг к другу.
2. Инициатор общения К-1 вербально передает информацию К-2 и возникает «диалог».
3. Вербальный и визуальный контакт между К-1 и К-2 продолжается в форме «диалога» в течение ~5–6 с.
4. Инициатор контакта К-3 привлекает вербально К-2; визуальный контакт между К-3 и К-2 устанавливается, что подтверждается поворотом головы и туловища друг к другу.
5. Инициатор общения К-3 вербально передает информацию К-2 и возникает «диалог».
6. Вербальный и визуальный контакт между К-3 и К-2 продолжается в форме «диалога» течение ~5–6 с.
7. Завершение «диалога» происходит по взаимному соглашению или в одностороннем порядке. Прекращается вокализация и визуальный контакт.

Вторая «схема беседы» протекала следующим образом:

1. Инициатор контакта К-3 привлекает вербально К-2; устанавливается визуальный контакт между К-3 и К-2, что подтверждается поворотом головы друг к другу.
2. Инициатор общения К-3 вербально передает информацию К-2 и возникает «диалог».
3. Вербальный и визуальный контакт между К-3 и К-2 продолжается в течение ~4–10 с.
4. Инициатор контакта К-1 привлекает вербально К-2; визуальный и вербальный контакт между К-3 и К-2 прекращается, но устанавливается визуальный контакт между К-1 и К-2, что подтверждается поворотом головы друг к другу.
5. Инициатор общения К-1 вербально передает информацию К-2 и возникает «диалог».
6. Вербальный и визуальный контакт между К-2 и К-1 продолжается в течение 4–10 с.
7. Завершение «диалога» происходит по взаимному соглашению или в одностороннем порядке определить сложно, но прекращается вокализация и визуальный контакт.

К сожалению, во время эксперимента не проводилась видеосъемка, поэтому точную временную привязку определить невозможно.

В результате между коммуникантами наблюдается постоянное, в высокой степени равнонаправленное внимание — явление, называемое в нейробиологии «совместное внимание» («joint attention»), которое также обеспечивается механизмом работы зеркальных нейронов [42].

Раскрывая механизм наблюдаемой коммуникации, объясняемый с позиции эмпатии, нужно упомянуть, что эмпатические реакции обладают свойством избирательности [44]. Обнаруженное свойство избирательности чаще всего вызывают близкие родственники или хорошо знакомые, т.е. факторы, облегчающие возникновение эмпатического реагирования. Сейчас трудно говорить о природе и механизме эмпатии, тем более что у психологов единого мнения нет. Одни авторы [45] определяют эмпатию как эмоциональный процесс, содержанием которого является отраженное субъектом эмпатии отношение переживающего (человека или животного) к объективной действительности. Но есть точка зрения, что эмпатия — это врожденное свойство человека, доставшееся ему от животных. Данное утверждение подтверждается публикациями по изучению альтруистического поведения в животном мире, в частности, экспериментах на мышах [46]. Мотивации такого поведения не найдена, но отмечается, что альтруизм проявляется лишь в том случае, если «страдающая» мышь перед экспериментом жила вместе с подопытной мышью не менее двух недель. Далее показано, что к боли, испытываемой незнакомцами, мыши равнодушны.

В нашем эксперименте это, прежде всего, взаимоотношение внутри стада дельфинов. Именно поэтому в эксперименте участвуют только те животные, которые подчиняются и поддерживают иерархические отношения внутри стада. Тестом проверки таких отношений служит иерархическое поведение при прохождении животных через калитку в экспериментальный отсек. Отсутствие пищевой доминанты также улучшает сложившуюся атмосферу доверия между членами стада, а взаимоотношения внутри стада точно не зависят от пищевой мотивации.

Есть исследователи, которые под эмпатией понимают способность создавать «Я-образы» [47]. Если животные в процессе тренировки создают в своем воображении «Я-образы» или поведенческие программы двигательных актов, то провокация коммуникационного взаимодействия реализуется с помощью нарушения таких программ во время формирования объектной неопределенности, что порождает реакцию незавершенного действия. Незавершенное действие порождает эмпатическую реакцию у наблюдателей, которая и вызывает вокализацию между особями. Приведенные две «схемы беседы» доказывают положительный результат опыта по провокации акустического коммуникационного взаимодействия. Во время переживаний наблюдается синхронизация процессов переживающего и наблюдающего, что отчетливо выражено в представленном опыте, однако разделить во время «диалога» сигналы коммуникантов затруднительно. В этом случае для разделения сигналов необходимо использовать группу гидрофонов, которые устанавливаются на некотором расстоянии друг от друга между коммуникантами, что приводит к технологическому усложнению эксперимента.

Таким образом, в процессе создания методических приемов эксперимента по изучению коммуникации дельфинов появляется хорошая «живая модель» по изучению эмпатии. Тем более, что модель эмпатии находится в развитии. Так, в работе [48] показано два типа эмпатии — эмоциональный и когнитивный. Эмоциональная эмпатия — способность проецировать на себя аффективные реакции другого и подражать им, т. е. чувственное подражание. Когнитивная эмпатия основана на интеллектуальных процессах, т. е. не только сочувствовать, но понимать другого. Вопрос, к какому типу эмпатии принадлежит мозг дельфина в данном опыте, предстоит еще выяснить и методические приемы экспериментального исследования обосновываются в данной работе.

Развитие методических приемов провокации коммуникационного взаимодействия неизбежно должны привести к развитию эксперимента [35], в котором продуктивный диалог возможен, но только в том случае, если собеседники интеллектуально восприимчивы и способны понять аргументы друг друга. В процессе эксперимента неизбежно возникает фаза обучения животных друг друга, которая является результатом способности к когнитивной эмпатии, ведь для того, чтобы учиться необходимо следить за чьим-то ходом мысли и прикладывать усилия, чтобы его понять [48].

В рассматриваемом эксперименте респондент, несмотря на все усилия наблюдателей, не воспользовался их «знаниями» при условии, если они ему передавали эти знания. Такая реакция может быть связана с различными сюжетами поведения животного. Например, либо респондент добросовестно работает, либо установки переучиваться по подсказке не было. Эти два сюжета показывают, что сложным реакциям взаимодействия между особями необходимо учить.

Акустическое поведение животных в общем вольере традиционно [35]. Хорошо прослушиваются «визги», «кряки», сигналы эхолокации, свисты и т. д. Во время проведения опытов по дифференцированию предметных стимулов, помимо сигналов эхолокации животного, с которым проводится опыт, иногда, и очень тихо, прослушиваются импульсы наблюдателей. Эхолокационные сигналы от наблюдателей в момент проявления нетерпения в большей степени идентифицировались в момент ошибок респондента.

Для решения вопроса о создании прямого эксперимента по вербальному взаимодействию дельфинов необходимо научиться целенаправленно провоцировать гидроакустическое взаимодействие между особями и создавать такие модели лабораторного эксперимента, в которых акустическое взаимодействие повторяемо и интерпретируемо без помощи статистики. Приведенные две «схемы беседы» доказывают возможность провокации гидроакустического коммуникационного взаимодействия. Наиболее вероятно, что приведенные экспериментальные данные демонстрируют эмоциональную эмпатию, т. е. способность проецировать на себя аффективные реакции другого и сопереживать ему. Сопереживание сопровождается вокальным взаимодействием, что порождает когнитивную эмпатию.

В статье обобщены данные по использованию дельфинами гидроакустического канала для связи между особями и методические приемы коммуникационного эксперимента. На рис. 9 представлена двигательная реакция респондента во время обратного дифференцирования при последовательном предъявлении стимулов. Стартовая позиция респондента и расположение внимательных наблюдателей (рис. 9, а). Двигательная реакция респондента с правым наблюдателем во время «диалога» (рис. 9, б); двигательная реакция респондента с левым наблюдателем во время «диалога» (рис. 9, в); оциллограмма акустической последовательности пакетов УКИ во время «диалога» и его динамический спектр мощности (рис. 9, г). Как показано на рис. 9, двигательная и гидроакустическая реакции однозначно интерпретируемы. В представленной методике показаны достоинства и контроль наблюдаемых поведенческих актов, а также недостатки, которые необходимо учесть в последующих экспериментах.

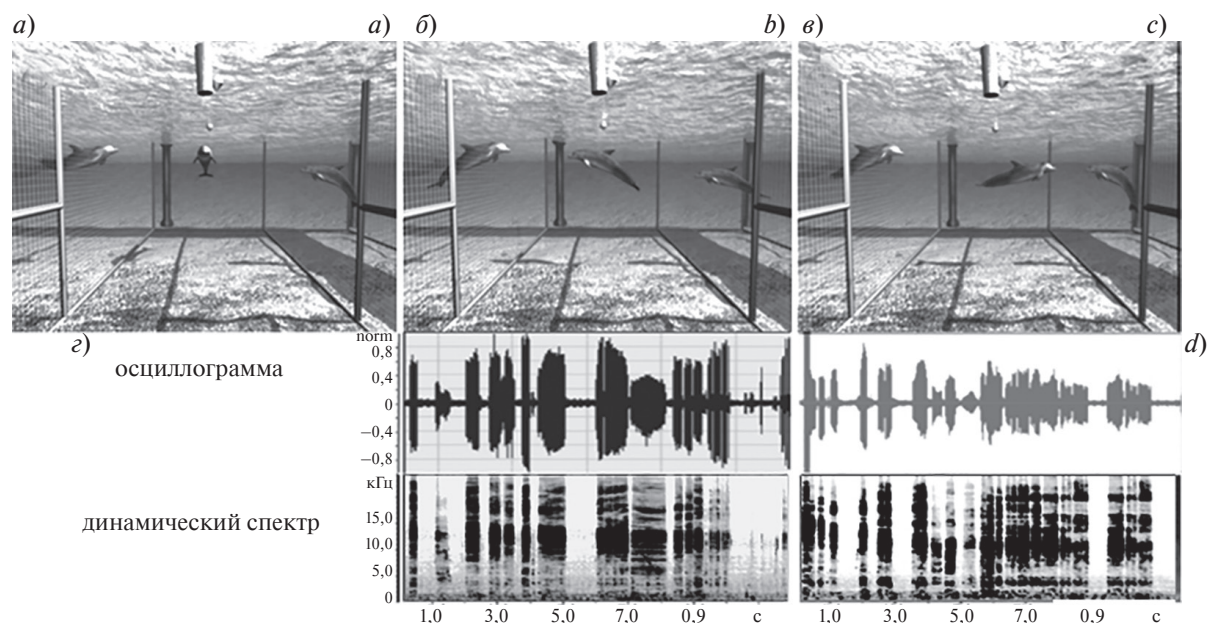


Рис. 9. Двигательные реакции дельфинов и акустическое сопровождение. *a* — внимательные наблюдатели слева и справа от респондента при решении задачи дифференцирования; *б* — визуальный и акустический контакт правого наблюдателя с респондентом; *в* — визуальный и акустический контакт левого наблюдателя с респондентом; *г* — осциллограммы вербального взаимодействия и динамический спектр мощности в полосе до 20 кГц

Fig. 9. Motor reactions of dolphins and acoustic accompaniment; *a* — attentive observers to the left and right of the respondent when solving the differentiation problem; *b* — visual and acoustic contact of the right observer and the respondent; *c* — visual and acoustic contact of the left observer and the respondent; *d* — oscillograms of verbal interaction and dynamic power spectrum in the band up to 20 kHz

Попытка внести некий числовой показатель — коэффициент временного разнообразия в пакетах УКИ, пока не дала значительных результатов, за исключением того, что пакеты можно грубо разделить на две категории. Пакеты с малой вариацией ВИМ ($K_{\text{разн.}} < 0,5$) и пакеты с ярко выраженной вариацией временного интервала между УКИ ($K_{\text{разн.}} > 0,5$).

Отмечены достоинства предлагаемой методики:

1. Формирование стада лабораторных животных создает благоприятный психоэмоциональный фон взаимодействия между особями (Оперативный контроль: очередность и последовательный проход через калитку в экспериментальный отсек соблюдается от опыта к опыту).

2. Все животные последовательно выполняют роль респондента и внимательного наблюдателя. (Оперативный контроль: респондент выполняет задачу распознавания цели быстро и без ошибок, а наблюдатель не отходит от выбранного места наблюдения за респондентом на протяжении всего опыта).

3. Пищевое вознаграждение респондент получает только во время обучения дифференцированию. Дальнейшее взаимодействие с экспериментатором происходит только по гидроакустическому каналу. (Оперативный контроль: исчезает реакция зрительного слежения за экспериментатором и выпрашивание пищевого вознаграждения).

4. При прослушивании акустической обстановки сигналы эхолокации принадлежат респонденту и направлены в сторону объекта дифференцирования. (Оперативный контроль: регистрируются только импульсные сигналы, связанные временной зависимостью с дальностью до цели, т.е. моноимпульсная эхолокация респондента).

5. При прослушивании акустической обстановки во время вербального взаимодействия «диалог» начинается с двигательной реакции поворота друг к другу только головы или всего тела, а сигналы воспринимаются на слух как агрессивное поведение. Анализ показывает, что импульсы собраны в пакеты с различными временными параметрами (Оперативный контроль: наглядная картина двигательной реакции наблюдателя и респондента и интенсивный обмен сигналами «агрессии»).

Выделим недостатки:

1. Место очередного вербального взаимодействия не известно. Поэтому не понятно, куда поставить гидрофон для правильной регистрации акустического взаимодействия, т. к. на сигнал накладывается реверберационный фон, и выделить нужную последовательность импульсов при обработке трудно.

2. Конфигурацию вольеров необходимо изменить так, чтобы место взаимодействия животных во время «диалога» было строго детерминировано. В окне «диалога» установить три гидрофона с полосой пропускания до 600 кГц. Тогда, возможно, появится возможность идентифицировать сигналы во время «диалога» между особями.

Таким образом, разработанная методика, видеорегистрация поворота друг к другу во время вербального взаимодействия, многоканальная система регистрации гидроакустических сигналов с минимальным уровнем шума в диапазоне частот до 600 кГц с минимальной реверберацией создают научную основу изучения когнитивной эмпатии и возможность идентификации сигналов с особью с семантической расшифровкой последовательности сигналов в соответствии со сценарием.

Следующий этап исследований по изучению коммуникации дельфинов — это повторяемость эмоциональной эмпатии и создание методических решений провокации и контроля когнитивной эмпатии как основы интеллектуального процесса. Вопрос, к какому типу эмпатии принадлежит мозг дельфина в данном опыте, предстоит еще выяснить, а методические приемы экспериментального исследования обосновываются в данной работе. Еще лучше, если эксперименты по исследованию коммуникации будут проходить по двум или трем различным методикам.

Одна из них — это методика, не требующая дополнительного обучения животных, построена на пассивном наблюдении за экспериментальными животными, описанная в работах В.А. Рябова [33, 49]. Методика имеет свои достоинства и недостатки, которые пока не имеют достаточного материала для окончательной трактовки. Так, например, временные параметры вербальных сигналов: длительность пакета, количество импульсов в пакете, временной интервал между УКИ, ВИМ УКИ и паузы между пакетами инвариантны к углу наблюдения, в то время как частотные параметры УКИ очень сильно зависят от угла, и особенно в высокочастотной области. В работах В.А. Рябова результат «переговоров» отчетливо наблюдается по временной задержке между сигналами, а на основании анализа спектрально-временных параметров автор обосновывает многообразие акустических сигналов во время вербального взаимодействия, развивая гипотезу вероятного разговорного языка дельфинов. Вместе с тем, результаты пассивного наблюдения «переговоров» между двумя дельфинами [49] вступают в противоречие с известным фактом зависимости частотных характеристик от угла наблюдения [50]. Данная методика самая простая из всех известных по исследованию коммуникационных сигналов дельфинов, но никем из исследователей она не востребована.

В следующей методике, основанной на взаимодействии дельфина с автоматизированным стендом для изучения когнитивных функций, в котором дельфин наблюдает за изображением на подводном мониторе и управляет акустической мышкой [51], процесс акустического взаимодействия соответствует сценарию эксперимента. В эксперименте [52] с демонстрацией видеоизображений Л. Нерман использовал образы с изображением человека, передающего дельфину информацию с помощью языка жестов. Эти исследования показали, что дельфины воспринимают происходящие на телевизионном экране сцены и реагируют на них, как на реальные события, но удержание внимания у монитора не превышало 20 с.

Анализ сигналов и их идентификация должны проводиться в широком диапазоне параметров как в высокочастотной области пространства, так и в низкочастотной области [53]. Так, на рис. 4 в пакетах 8...11 область частот ниже 5 кГц заполнена. В пакетах 12, 13, которые предположительно являются общей структурой пакетов 8...13, низкочастотная область выражена слабо. Для такого подробного анализа лучше использовать результаты эксперимента с подводным монитором, т. к. там 10–15-секундные фрагменты записываются очень четко во всем диапазоне частот вплоть до 600 кГц и с минимальной последующей фильтрацией.

5. Заключение

В работе обоснованы основные методики по проведению дальнейших экспериментов по изучению когнитивной эмпатии со всеми тонкостями: конструкции вольера, рекомендации обучения животных, проведение эксперимента без пищевого подкрепления. Предлагается реализация аппаратной части, с помощью которой регистрируются сигналы непрерывно от начала опыта до его окончания. В конечном итоге необходимо получить не только качественные физические параметры гидроакустического коммуникационного взаимодействия, но и семантическое значение последовательности пакетов ультракоротких импульсов и пауз между ними.

Необходимо понять гидроакустическую значимость использования дельфинами ультракоротких импульсов длительностью 4–10 мкс с неустойчивыми спектрально-временными параметрами (зависимость спектра импульса от угла наблюдения) и информационными паузами (от ~2 до ~120 мс) между импульсами в пакетах и между пакетами импульсов (от ~10 до ~600 мс) во время «диалога». Какую функцию выполняет ультракороткий импульс во время создания пакетов импульсов? Возможно это, метки временного ряда? Тогда получается, что паузы как в пакетах, так и между ними несут информационную нагрузку и инвариантны к углу наблюдения, в то время как спектральные параметры ультракороткого импульса не несут информационной нагрузки.

Будущие исследования в данной области должны ответить на интригующий вопрос: «Провокация когнитивной революции коснулась только сапиенсов или кого-то еще из млекопитающих? Только ли сапиенсы умеют обсуждать вещи гипотетические и противоречащие фактам, и только ли сапиенсы способны обсуждать вымысел?» [54].

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Соблюдение этических стандартов

Настоящая работа не содержит описания с использованием людей и животных в качестве объектов исследования в острых опытах.

Финансирование

Работа выполнена при поддержке гранта Министерства образования РФ РНП «Биоинформационные процессы при передаче и приеме сигналов эхолокации, ориентации и коммуникации у китообразных» Рег.№ 2.1.1/3773, АВЦН 2009–2010. Работа выполнена в рамках тем госзаданий: № FMWE-2021-0014 (ИО РАН), № 075-00869-22-00 (СПбНЦ РАН).

Funding

The work was supported by the grant of the Ministry of Education of the Russian Federation RNP Reg. No. 2.1.1/3773, AVCN 2009–2010. The work was carried out within the framework of the state assignment: No. FMWE-2021-0014 (IO RAS), No. 075-00869-22-00 (SPbRC RAS).

Литература

1. Lilly J.C., Miller A.M. Sounds emitted by the Bottlenose Dolphin — The audible emissions underwater or in the air of captive dolphins are remarkably complex and varied // *Science*. 1961. 133(3465). P. 1689–1693. doi:10.1126/science.133.3465.1689
2. Белькович В.М., Дубровский Н.А. Сенсорные основы ориентации китообразных. Л.: Наука, 1976. 204 с.
3. Au W.W.L. The Sonar of Dolphins. N. Y.: Springer, 1993. 278 p.
4. Иванов М.П. Эхолокационные сигналы дельфина при обнаружении объектов в сложных акустических условиях // *Акустический журнал*. 2004. Т. 50, № 4. С. 550–561.
5. Ivanov M.P., Stefanov V.E. Technique of experiments for studying echolocation and communication of dolphins under the effect of man-made interference // *Symposium on Bio Sonar Systems and Bio-Acoustics*, Institute Acoustics, Loughborough University, UK, 2009. P. 215–220.
6. Иванов М.П. Устойчивость эхолокационной системы дельфина к воздействию пассивных и активных помех // *Морские млекопитающие Голарктики: Сборник научных трудов*. СПб., 2006. С. 218–222.
7. Finneran J.J. Dolphins use “packets” of broadband clicks during long range echolocation tasks // *J. Acoust. Soc. Am.* 2012. 132, 3. P. 1884. doi:10.1121/1.4754908
8. Stefanov V.E., Ivanov M.P., Kashinov V.V., Stepanov B.G. Mechanisms of interference resistance of the sonar system of dolphins exposed to man-made interference // *Symposium on Bio Sonar Systems and Bio-Acoustics*, Institute Acoustics, Loughborough University, Proceedings of the Institute of Acoustics. 2009. Vol. 31, Pt. 1. P. 22–28.
9. Finneran J.J. Dolphin “packet” use during long-range echolocation tasks // *J. Acoust. Soc. Am.* 2013. Vol. 133 (3). P. 1796–1810. doi.org/10.1121/1.4788997
10. Herman L.M., Tavolga W.N. The Communication Systems of Cetaceans // *Cetacean behavior: Mechanisms and functions* / Ed. L.M. Herman. N.Y.: Wiley & Sons Inc., 1980. P. 149–209.
11. Watkins W.A., Wartzok D. Sensory biophysics of marine mammals // *Marine Mammal Science*. 1985. Vol. 1(3). P. 219–260. doi:10.1111/j.1748-7692.1985.tb00011.x

12. Tyack P. Population biology, social behavior and communication in whales and dolphins // Trends Ecol. Evol. 1986. Vol. 1(6). P. 144–150. doi:10.1016/0169–5347(86)90042-X
13. Dawson S.M. Clicks and Communication: The Behavioural and Social Contexts of Hector's Dolphin Vocalizations // Ethology. 1991. Vol. 88(4). P. 265–276. doi:10.1111/j.1439–0310.1991.tb00281.x
14. Lammers M.O., Schotten M., Au W.W.L. The spatial context of free-ranging Hawaiian spinner dolphins (*Stenella longirostris*) producing acoustic signals // J. Acoust. Soc. Am. 2006. Vol. 119(2). P. 1244–1250. doi:10.1121/1.2151804
15. Herzog D.L. Vocalizations and associated underwater behavior of free-ranging Atlantic spotted dolphins, *Stenella frontalis* and bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus* // Aquatic Mammals. 1996. Vol. 22(2). P. 61–79. doi:10.12966/abc.02.02.2015
16. Cranford T.W., Elsberry W.R., Blackwood D.J., et al. Two independent sonar signal generators in the bottlenose dolphin: physiologic evidence and implications // J. Acoust. Soc. Am. 2000. Vol. 108(5). P. 2613–2614. doi:10.1121/1.4743727
17. Kershenbaum A., Sayigh L.S., Janik V.M. The Encoding of individual identity in dolphin signature whistles: How much information is needed? // PLoS ONE. 2013. Vol. 8(10): e77671. doi:10.1371/journal.pone.0077671
18. Esch H.C., Sayigh L.S., Wells R.S. Quantifying parameters of bottlenose dolphin signature whistles // Marine Mammal Science. 2009. Vol. 25(4). P. 976–986. doi:10.1111/j.1748–7692.2009.00289.x
19. Панова Е.М., Беликов Р.А., Агафонов А.В., Белькович В.М. Тональные сигналы белух (*delphinapterus leucas*) Мягостровского стада (Белое море, Онежский залив) // Зоологический журнал. 2012. Т. 91(6). P. 721–733.
20. Беликов Р.А., Белькович В.М. Подводная акустическая сигнализация белух (*Delphinapterus leucas*) в репродуктивном скоплении при различных поведенческих ситуациях // Океанология. 2003. Т. 43, № 1. С. 118–126.
21. Беликов Р.А., Белькович В.М. Коммуникативные импульсные сигналы белух в летнем репродуктивном скоплении у острова Соловецкий в Белом море // Акустический журнал. 2008. Т. 54, № 1. С. 133–142.
22. Ridgway S., Carder D., Jeffries M., Todd M. Spontaneous human speech mimicry by a cetacean // Current Biology. 2012. Vol. 22(20). P. R860–R861. doi:10.1016/j.cub.2012.08.044
23. Sayigh L.S., Tyack P.L., Wells R.S., Scott M.D. Signature whistles of free-ranging bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*): Stability and mother-offspring comparisons // Behav. Ecol. Sociobiol. 1990. Vol. 26(4). P. 247–260. doi:10.1007/BF00178318
24. Dudok van Heel W.H., Kamminga C., van der Toorn J.D. An experiment in two-way communication in *Orcinus orca* L. // Aquatic Mammals. 1982. Vol. 9(3). P. 69–82.
25. Janik V.M., Sayigh L.S., Wells R.S. Signature whistle shape conveys identity information to bottlenose dolphins // PNAS. 2006. Vol. 103, N21. P. 8293–8297. doi:10.1073/pnas.0509918103
26. Иванов М.П., Кузнецов В.Б., Кашинов В.В. Возможные механизмы ближней ориентации у дельфинов // Сборник научных трудов V Международной конференции Морские млекопитающие Голарктики. Одесса, 2008. С. 238–343.
27. Blomqvist C., Amundin M. High-Frequency Burst-Pulse Sounds in Agonistic/Aggressive Interactions in Bottlenose Dolphins, *Tursiops truncatus* // Echolocation in Bats and Dolphins. Chicago: The University of Chicago Press, 2004. P. 425–431.
28. Иванов М.П., Леухина Ю.В. Анализ экспериментальных работ по изучению коммуникации дельфинов афалин // XIII Международное совещание и VI школа по эволюционной физиологии. Тез. докладов и лекций. СПб.: РАН, 2006. С. 88.
29. Панова Е.М., Агафонов А.В. Полвека исследований акустической сигнализации дельфинов афалин // Природа: Ежемесячный естественно-научный журнал Российской академии наук, 2011. № 12 (1156). С. 40–48.
30. Bastian J. The transmission of arbitrary environmental information between bottlenose dolphins // Animal sonar systems R.G. Juoy-Josas (France). 1967. P. 807–873.
31. Марков В.И. Организация акустической коммуникативной системы у дельфина афалины // Морские млекопитающие Голарктики. Материалы Международной конференции. Архангельск, 21–23 сентября 2000 г. Архангельск, 2000. С. 237–242.
32. Иванов М.П., Истомина А.А. Одомашнивание дельфинов — мифы и реальность // Экологическое партнёрство. Аспекты взаимодействия человека и животного в современном обществе. Сборник научных трудов участников Первой Международной научно-практической конференции (24–25 июня 2010 года, г. Санкт-Петербург). СПб.: НОИР, ООО «ИКЦ». С. 110–114.
33. Рябов В.А. Изучение акустических сигналов и предполагаемого разговорного языка дельфинов // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Физико-математические науки. 2016. № 3(248). С. 88–101. doi:10.5862/JPM.248.10
34. Иванов М.П. Помехозащищенность акустической системы дельфина (эхолокация, ориентация, коммуникация) // Научная сессия памяти академика Л.М. Бреховских и профессора Н.А. Дубровского. М.: ГЕОС, 2009. С. 127–145.

35. Иванов М.П. Изучение коммуникационного поведения дельфина: методика, двигательные и акустические показатели // Журнал эволюционной биохимии и физиологии. 2009. Т. 45, № 6, С. 575–582.
36. Rapp F. Ladislav Tondl, Technisches Denken and Schlussfolgern. Neun Kapitel einer Philosophie der Technik // Journal for General Philosophy of Science. 2004. 35. P. 203–204. doi:10.1023/B: JGPS.0000035212.92741.90
37. Хомский Н. Язык и мышление. Язык и проблемы знания / Пер. Б. Городецкий. Из-во: БГК им. И.А. Бодуэна де Куртенэ, 1999. 253 с.
38. Nazir T., Boulenger V., Roy A., Silber B., Jeannerod M., Paulignan Y. Language-induced motor perturbations during the execution of a reaching movement // Quarterly Journal of Experimental Psychology. 2008. Vol. 61. P. 933–943. doi:10.1080/1747021070162566
39. Wu H., Tang H., Ge Y., Yang S., Mai X., Luo Y.J., Liu C. Object words modulate the activity of the mirror neuron system during action imitation. // Brain and Behavior. 2017. 7(11). e00840. doi:10.1002/brb3.840
40. Володин И.А., Володина Е.В., Гоголева С.С., Доронина Л.О. Индикаторы эмоционального возбуждения в звуках млекопитающих и человека // Журнал общей биологии. 2009. Т. 70, № 3. С. 210–224.
41. Елеференко И.О. Подготовка специалистов социометрических профессий с учетом рациональности эмпатии // Фундаментальные исследования. 2010. № 12. С. 11–19.
42. Бауэр И. Почему я чувствую, что чувствуешь ты. Интуитивная коммуникация и секрет зеркальных нейронов. Санкт-Петербург: Вернера Регена, 2009. 112 с.
43. Гаврилушкина О.П. Развитие коммуникативного поведения дошкольников в условиях детского сада // Ребенок в детском саду. 2003. № 2. С. 12–16.
44. Фресс П. Эмоции // Фресс П., Пиаже Ж. Экспериментальная психология эмоций. Вып. 5. М.: Прогресс, 1975. С. 111–195.
45. Пащукова Т.И., Троицкая Е.А. Механизмы и функции эмпатии // Вестник МГЛУ. Вып. 7(586). 2010. С. 197–209.
46. Langford D.J., Crager S.E., Shehzad Z., et al. Social modulation of pain as evidence for empathy in mice // Science. 2006. Vol. 312. P. 1967–1970. doi:10.1126/science.1128322
47. Басин Е.Я. Творчество и эмпатия // Вопросы философии. 1987. № 2. С. 54–66.
48. Johnston A., Malabou C. Self and Emotional Life: Philosophy, Psychoanalysis, and Neuroscience. New York: Columbia University Press, 2013. 304 p.
49. Рябов В.А. Акустические сигналы и эхолокационная система дельфина // Биофизика. 2014. Т. 59, Вып. 1. С. 169–184.
50. Finneran J.J., Branstetter B.K., Houser D.S., More P.W., Mulsow J., Martin C., Perisho S. High-resolution measurement of a bottlenose dolphin's (*Tursiops truncatus*) biosonar transmission beam pattern in the horizontal plane // J. Acoust. Soc. Am. 2014. 136(4). P. 2025–2038. doi:10.1121/1.4895682
51. Иванов М.П., Родионов А.А., Толмачев Ю.А., Леонова Л.Е., Романовская Е.В., Стефанов В.Е. Лабораторные исследования вербальной коммуникации зубатых китов // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2018. Т. 11, № 1. С. 74–79. doi:10.7868/S2073667318010082
52. Herman L.M., Morrel-Samuels P., Pack A.A. Bottlenosed dolphin and human recognition of veridical and degraded video displays of an artificial gestural language // Journal of Experimental Psychology: General. 1990. 119(2). P. 215–230.
53. Иванов М.П., Родионов А.А., Стефанов В.Е. Возможности сверхширокополосных систем наблюдения на примере исследования природного сонара зубатых китов // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2020. Т. 13, № 4. С. 100–120. doi:10.7868/S2073667320040097
54. Харари Ю.Н. Sapiens. Краткая история человечества. М.: Синдбад, 2016. 520 с.

References

1. Lilly J.C., Miller A.M. Sounds emitted by the Bottlenose Dolphin — The audible emissions underwater or in the air of captive dolphins are remarkably complex and varied. *Science*. 1961, 133(3465), 1689–1693. doi:10.1126/science.133.3465.1689
2. Bel'kovich V.M., Dubrovskij N.A. Sensory bases of cetacean orientation. L., Nauka, 1976. 204 p. (in Russian)
3. Au W.W.L. The Sonar of Dolphins. N. Y., Springer, 1993. 278 p.
4. Ivanov M.P. Dolphin's echolocation signals in a complicated acoustic environment. *Acoustical Physics*, 2004, 50, 4, 469–479. doi:10.1134/1.1776226
5. Ivanov M.P., Stefanov V.E. Technique of experiments for studying echolocation and communication of dolphins under the effect of man-made interference. *Symposium on Bio Sonar Systems and Bio-Acoustics, Institute Acoustics, Loughborough University, UK*, 2009, 215–220.
6. Ivanov M.P. Stability of the dolphin echolocation system to the effects of active and passive interference. *Collection of scientific works of the IV International Conference "Marine Mammals of the Holarctic"* September 10–14, 2006, St. Petersburg, 218–224 (in Russian).

7. Finneran J.J. Dolphins use “packets” of broadband clicks during long range echolocation tasks. *J. Acoust. Soc. Am.* 2012, 132, 3, 1884. doi:10.1121/1.4754908
8. Stefanov V.E., Ivanov M.P., Kashinov V.V., Stepanov B.G. Mechanisms of interference resistance of the sonar system of dolphins exposed to man-made interference. *Symposium on Bio Sonar Systems and Bio-Acoustics, Institute Acoustics, Loughborough University, Proceedings of the Institute of Acoustics.* 2009, 31, 1, 22–28.
9. Finneran J.J. Dolphin “packet” use during long-range echolocation tasks. *J. Acoust. Soc. Am.* 2013, 133(3), 1796–1810. doi.org/10.1121/1.4788997
10. Herman L.M., Tavolga W.N. The Communication Systems of Cetaceans. *Cetacean behavior: Mechanisms and functions* / Ed. L.M. Herman. N.Y., Wiley & Sons Inc., 1980, 149–209.
11. Watkins W.A., Wartzok D. Sensory biophysics of marine mammals. *Marine Mammal Science*, 1985, 1(3), 219–260. doi:10.1111/j.1748–7692.1985.tb00011.x
12. Tyack P. Population biology, social behavior and communication in whales and dolphins. *Trends Ecol. Evol.*, 1986, 1(6), 144–150. doi:10.1016/0169–5347(86)90042-X
13. Dawson S.M. Clicks and communication: The behavioural and social contexts of Hector’s dolphin vocalizations. *Ethology*. 1991, 88(4), 265–276. doi:10.1111/j.1439–0310.1991.tb00281.x
14. Lammers M.O., Schotten M., Au W.W.L. The spatial context of free-ranging Hawaiian spinner dolphins (*Stenella longirostris*) producing acoustic signals. *J. Acoust. Soc. Am.* 2006, 119(2), 1244–1250. doi:10.1121/1.2151804
15. Herzing D.L. Vocalizations and associated underwater behavior of free-ranging Atlantic spotted dolphins, *Stenella frontalis* and bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*. *Aquatic Mammals*. 1996, 22(2), 61–79. doi:10.12966/abc.02.02.2015
16. Cranford T.W., Elsberry W.R., Blackwood D.J., et. al. Two independent sonar signal generators in the bottlenose dolphin: physiologic evidence and implications. *J. Acoust. Soc. Am.* 2000, 108(5), 2613–2614. doi:10.1121/1.4743727
17. Kershenbaum A., Sayigh L.S., Janik V.M. The encoding of individual identity in dolphin signature whistles: How much information is needed? *PLoS ONE*. 2013, 8(10), e77671. doi:10.1371/journal.pone.0077671
18. Esch H.C., Sayigh L.S., Wells R.S. Quantifying parameters of bottlenose dolphin signature whistles. *Marine Mammal Science*. 2009, 25(4), 976–986. doi:10.1111/j.1748–7692.2009.00289.x
19. Panova E.M., Belikov R.A., Agafonov A.B., Bel’kovich V.M. Whistles of the beluga (*Delphinapterus leucas*) of Myagostrov herd (the Onega bay of the White Sea). *Zoologicheskii Zhurnal*. 2012, 91(6), 721–733.
20. Belikov R.A., Bel’kovich V.M. Underwater vocalization of the beluga whales (*Delphinapterus leucas*) in a reproductive gathering in various behavioral situations. *Oceanology*. 2003, 43(1), 112–120.
21. Belikov R.A., Bel’kovich V.M. Communicative pulsed signals of beluga whales in the reproductive gathering off Solovetskii Island in the White Sea. *Acoustical Physics*. 2008, 54(1), 115–123. doi:10.1134/S1063771008010168
22. Ridgway S., Carder D., Jeffries M., Todd M. Spontaneous human speech mimicry by a cetacean. *Current Biology*. 2012, 22(20), R860–R861. doi:10.1016/j.cub.2012.08.04
23. Sayigh L.S., Tyack P.L., Wells R.S., Scott M.D. Signature whistles of free-ranging bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*): Stability and mother-offspring comparisons. *Behav. Ecol. Sociobiol.* 1990, 26(4), 247–260. doi:10.1007/BF00178318
24. Dudok van Hee W.H., Kamminga C., van der Toorn J.D. An experiment in two-way communication in *Orcinus orca* L. *Aquatic Mammals*. 1982, 9(3), 69–82.
25. Janik V.M., Sayigh L.S., Wells R.S. Signature whistle shape conveys identity information to bottlenose dolphins. *PNAS*. 2006, 103, 21, 8293–8297. doi:10.1073/pnas.0509918103
26. Ivanov M.P., Kuznecov V.B., Kashinov V.V. Possible mechanisms of short-range orientation in dolphins. *Collection of scientific papers of the V International Conference Marine Mammals of the Holarctic*. Odessa, 2008, 238–343 (in Russian).
27. Blomqvist C., Amundin M. High-Frequency Burst-Pulse Sounds in Agonistic/Aggressive Interactions in Bottlenose Dolphins, *Tursiops truncatus*. *Echolocation in Bats and Dolphins*. Chicago, The University of Chicago Press, 2004, 425–431.
28. Ivanov M.P., Leuhina Yu.V. Analysis of experimental work on the study of communication in bottlenose dolphins. *XIII International Conference and VI School of Evolutionary Physiology. Tez. reports and lectures. RAN, St. Petersburg*, 2006. 88 p. (in Russian).
29. Panova E.M., Agafonov A.V. Half a century of research on acoustic signaling of bottlenose dolphins. *Nature: Monthly natural-scientific journal of the Russian Academy of Sciences*. 2011, 12, 40–48 (in Russian).
30. Bastian J. The transmission of arbitrary environmental information between bottlenose dolphins. *Animal sonar systems* R.G. Juoy-Josas (France). 1967, 807–873.
31. Markov V.I. Organization of the acoustic communicative system in the dolphin bottlenose dolphin. *Marine mammals of the Holarctics. Proceedings of the International Conference. Arkhangelsk, September 21–23, 2000*, 237–242 (in Russian).
32. Ivanov M.P., Istomina A.A. Domestication of dolphins — myths and reality. *Ecological Partnership. Aspects of interaction between man and animal in modern society. Collection of scientific works of the participants of the First International Scientific and Practical Conference* (June 24–25, 2010, St. Petersburg). *St. Petersburg, NOIR, LLC “ICC”*, 110–114 (in Russian).

33. Ryabov V.A. The study of acoustic signals and the supposed spoken language of the dolphins. *St Petersburg Polytechnical University Journal: Physics and Mathematics*. 2016, 2(3), 231–239. doi:10.1016/j.sppm.2016.08.004
34. Ivanov M.P. Noise immunity of the dolphin acoustic system (echolocation, orientation, communication). *Scientific session in memory of academician L.M. Brekhovskikh and Professor N.A. Dubrovsky. M., GEOS*, 2009, 127–145 (in Russian).
35. Ivanov M.P. Study of dolphin communicational behavior: procedure, motor and acoustic parameters. *Journal of Evolutionary Biochemistry and Physiology*. 2009, 45(6), 696–705. doi:10.1134/S0022093009060076
36. Rapp F. Ladislav Tondl, Technisches Denken und Schlussfolgern. Neun Kapitel einer Philosophie der Technik. *Journal for General Philosophy of Science*. 2004, 35, 203–204. doi:10.1023/B: JGPS.0000035212.92741.90
37. Chomsky N. Yazyk i myshlya. Sprache und Probleme des Wissens. Übersetzt von B. Gorodetsky. 1999, 253 p. (in Russian).
38. Nazir T., Boulenger V., Roy A., Silber B., Jeannerod M., Paulignan Y. Language-induced motor perturbations during the execution of a reaching movement. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*. 2008, 61, 933–943. doi:10.1080/1747021070162566
39. Wu H., Tang H., Ge Y., Yang S., Mai X., Luo Y.J., Liu C. Object words modulate the activity of the mirror neuron system during action imitation. *Brain and Behavior*. 2017, 7(11), e00840. doi:10.1002/brb3.840
40. Volodin I.A., Volodina E.V., Gogoleva S.S., Doronina L.O. Indicators of emotional arousal in vocal emissions of the humans and nonhuman mammals. *Journal of General Biology*. 2009, 70, 3, 210–224 (in Russian).
41. Eleferenko I.O. Preparation of experts' socio metrics trades taking into account rationality empathy. *Journal of Basic Research*. 2010, 12, 11–19 (in Russian).
42. Bauer J. Why do I feel what you feel. Intuitive Communication and the Secret of Mirror Neurons. *St. Petersburg, Werner Regen*, 2009. 112 p. (in Russian).
43. Gavrilushkina O.P. Development of communicative behavior of preschool children in kindergarten conditions. *Rebenok v Detskom Sadu*. 2003, 2, 12–16 (in Russian).
44. Fress P. Emotions / Fress P., Piaget J. *Experimental psychology of emotions. M., Progress*, 1975, 5, 111–195 (in Russian).
45. Pashukova T.I., Troitskaya E.A. Mechanisms and functions of empathy. *Vestnik MSLU*. 2010, 7(586), 197–209 (in Russian).
46. Langford D.J., Crager S.E., Shehzad Z., et al. Social modulation of pain as evidence for empathy in mice. *Science*. 2006, 312, 1967–1970. doi:10.1126/science.1128322
47. Basin I. Creativity and Empathy. *Questions of Philosophy*. 1987, 2, 54–66 (in Russian).
48. Johnston A., Malabou C. Self and emotional life: Philosophy, psychoanalysis, and neuroscience. *New York, Columbia University Press*, 2013. 304 p.
49. Ryabov V.A. Acoustic signals and an echolocation system of a dolphin. *Biophysics*. 2014, 59, 1, 169–184 (in Russian).
50. Finneran J.J., Branstetter B.K., Houser D.S., More P.W., Mulsow J., Martin C., Perisho S. High-resolution measurement of a bottlenose dolphin's (*Tursiops truncatus*) biosonar transmission beam pattern in the horizontal plane. *J. Acoust. Soc. Am*. 2014, 136(4), 2025–2038.
51. Ivanov M.P., Rodionov A.A., Tolmachev Y.A., Leonova L.E., Romanovskaya E.V., Stefanov V.E. On the use of reflection coefficient phase at hydroacoustic measurements of sea ice cover thickness. *Fundamental and Applied Hydrophysics*. 2018, 11, 1, 74–79. doi:10.7868/S2073667318010082 (in Russian).
52. Herman L.M., Morrel-Samuels P., Pack A.A. Bottlenosed dolphin and human recognition of veridical and degraded video displays of an artificial gestural language. *Journal of Experimental Psychology: General*. 1990, 119(2), 215–230.
53. Ivanov M.P., Rodionov A.A., Stefanov V.E. Possibilities of ultra-wide-band surveillance systems on the example of the study of natural sonar of toothed whales. *Fundamental and Applied Hydrophysics*. 2020, 13(4), 100–120. doi:10.7868/S2073667320040097 (in Russian).
54. Harari Y.N. Sapiens. A brief history of humankind. *Harper*, 2015. 520 p. (in Russian).

Об авторах

ИВАНОВ Михаил Павлович, РИНЦ Author ID: 5563–8257, ORCID ID: 0000-0001-7334-1584, Scopus Author ID: 7201382186, WoS ResearcherID: E — 5284–2016, 20mivanov@mail.ru

РОДИОНОВ Анатолий Александрович, РИНЦ AuthorID: 13746, ORCID ID: 0000-0002-2377-5621, Scopus AuthorID: 56223713100, WoS ResearcherID: AAT-6466–2021, rodionov.aa@spb.ocean.ru

ЛЕОНОВА Лариса Евгеньевна, РИНЦ Author ID: 7201–156, ORCID ID: 000-003-4560-2278, Scopus Author ID: 7006332088, WoS ResearcherID: F-9784–2015, l.leonova@spbu.ru

ГРИШИНА Татьяна Васильевна, РИНЦ Author ID: 1769–5627, ORCID ID: 0000-0002-5306-2980, Scopus Author ID: 7006686845, WoS Researcher ID: F-9363–2015, tgrishina@mail.ru

РИМСКАЯ-КОРСАКОВА Людмила Красармовна, РИНЦ Author ID: 1259–3350, ORCID ID: 0000-0001-6212-623X, Scopus Author ID: 6602240911, WoS Researcher ID: R-8439–2019, lkrk@mail.ru