DOI: 10.5862/JPM.248.10
УДК 599.537:534.75:534.28

В.А. Рябов

Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского –
природный заповедник РАН, г. Феодосия, Российская Федерация

ИЗУЧЕНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ И ПРЕДПОЛАГАЕМОГО РАЗГОВОРНОГО ЯЗЫКА ДЕЛЬФИНОВ

Данная статья продолжает изучение проблемы языка животных путем регистрации акустических сигналов двух квазистационарных черноморских дельфинов афалин (*Tursiops truncatus*) двухканальной системой в полосе частот до 220 кГц с динамическим диапазоном 81 дБ. Продуцируемые дельфинами пачки взаимно некогерентных импульсов (НИ) были сопоставлены с особями. Форма и спектры этих сигналов изменялись от импульса к импульсу в каждой пачке. В связи с этим было выдвинуто предположение, что набор спектральных составляющих каждого НИ представляет собой слово разговорного языка дельфина, а пачка НИ – сентенцию. В работе изучались особенности НИ в свете конструктивных особенностей разговорного языка человека.

ДЕЛЬФИН, РАЗГОВОРНЫЙ, ЯЗЫК, АКУСТИКА, СИГНАЛ, ПАЧКА, НЕКОГЕРЕНТНЫЙ ИМПУЛЬС.

Акустические сигналы зубатых китов разнообразны и являются их основным средством, необходимым для осуществления сложного согласованного социального поведения (добыча корма, защита от хищников, и т. п.), навигации, поддержания связи между рассеянными индивидами, получения информации об окружающей среде [1]. Следует специально отметить, что в условиях недостаточной видимости эти сигналы становятся для животных единственным сенсорным посредником.

До настоящего времени в научной литературе считается общепризнанным мнение, согласно которому у зубатых китов (Odontoceti) имеется сонар. Зондирующие сигналы сонара дельфинов – это щелчки длительностью около 50 мкс, с максимумом энергии на частотах около 120 –130 кГц [2].

Большинство видов дельфинов продуцируют два типа звуков, которые, возможно, играют роль коммуникационных сигналов в их социальных взаимоотношениях, – это пачки широкополосных импульсов и «свисты» [3]. Несколько видов дельфинов семейств *Kogiidae*, *Physeteridae*, *Phocoenidae* и подсемейства *Cephalorhynchinae* (дельфин Гектора) не продуцируют свисты и, возможно, общаются импульсными звуками [4 – 6].

Пачки импульсов состоят из последовательности широкополосных импульсов, сходных с эхолокационными щелчками, но в отличие от них имеют очень короткие (0,5 – 10 мс) межимпульсные интервалы [7] и существенно более низкие уровни звукового давления (УЗД) [2]. Наличие и функциональное назначение этих пачек остаются неясными до сих пор, несмотря на то, что предположение об их использовании дельфинами для коммуникации обсуждается еще с 1960-х гг. [6, 8, 9]. Такое предположение основано на том, что вышеопи-

санные сигналы регистрируются во время высокой социальной активности дельфинов и на малых расстояниях (2 – 14 м) от них [1], а межимпульсные интервалы у них короче времени обработки, характерного для эхолокации (15 – 45 мс). Следует отметить, что подавляющее большинство сигналов дельфинов было зарегистрировано в полосе частот лишь до 20 кГц (см., например, работы [8, 10]), за редким исключением [6, 7].

Многие виды дельфинов продуцируют продолжительные частотно-модулированные (ЧМ) акустические сигналы, содержащие большое количество гармоник, *n*-кратных фундаментальной частоте (*n* – целое число). Человек воспринимает такие сигналы как свист, поэтому их стали называть свистами.

Практически сразу после первой регистрации свистов был изучен и описан репертуар контекстно-специфических свистов, которые изменяются в соответствии с ситуацией или активностью животных [11 – 13].

Большинство видов дельфинов, которые продуцируют сигналы-свисты, являются стайными особями и живут большими группами, поэтому было выдвинуто предположение, что свисты играют важную роль для социальной коммуникации животных [14 – 16]. То, каким образом такие сигналы можно использовать для коммуникации – наиболее частый предмет дискуссии в научной литературе. В современных исследованиях было показано, что фундаментальная частота большинства свистов охватывает диапазон частот 2 – 35 кГц, а частоты гармоник – до 100 кГц [7, 17 – 19]. Однако до настоящего времени неясны как необходимость, так и функциональное назначение гармоник свиста, которые являются его неотъемлемой составной частью.

В последнее время обсуждается гипотеза о свистах «автографах», согласно которой дельфины пользуются ими, чтобы оповещать сообщество о своей личности и положении в пространстве других членов социальной группы [20, 21]. Эта гипотеза нашла поддержку среди многочисленных работ (см., например, [16, 22, 23]).

Было также выдвинуто предположение о коммуникативной функции свистов, т. е. что они служат для установления связи, координации действий и поддержания сплоченности в группе животных, рассеянных по акватории [16]. На основе данных о максимальном УЗД свиста, чувствительности слуха дельфина, уровне окружающих шумов и затухании звука с расстоянием была рассчитана максимальная дистанция, на которую дельфины могут устанавливать связь с использованием свистовых сигналов. Она составила около 10,5 км [24].

Материал вышеприведенного краткого обзора указывает на большой интерес исследователей к изучению акустических сигналов дельфинов. В то же время только эхолокационные щелчки исследованы наиболее полно, в полосе частот до 200 кГц, при известном положении дельфина относительно гидрофона. Подавляющее большинство других типов сигналов дельфинов зарегистрированы и описаны в полосе частот до 20 кГц. Кроме того, акустические сигналы записывались с использованием оборудования, имеющего недостаточный динамический диапазон; при регистрации сигналов не учитывался импульсный характер звуков и положение дельфинов относительно гидрофона (животные свободно плавали). Возможно, что именно поэтому авторам работ не удалось однозначно определить, какие акустические сигналы животных можно считать коммуникационными.

В то же время, для изучения функциональности акустических сигналов дельфинов весьма перспективной оказалась впервые использованная методика регистрации сигналов двух квазистационарных дельфинов с использованием двухканальной системы записи [25 – 27]. Эта методика впервые позволила определить принадлежность каждого сигнала конкретному животному, зафиксировать последовательность обмена разными типами сигналов между дельфинами, динамику изменения характеристики направленности излучения и формы сигналов, классифицировать и интерпретировать функциональность сигналов в свете теории сигналов и эхолокации. Сигналы дельфинов были разделены на следующие классы:

последовательность ультракоротких сверхширокополосных когерентных импульсов (щелчки);

пачки взаимно некогерентных импульсов (НИ);

пачки взаимно когерентных импульсов (КИ);

пачки универсальных импульсов (УИ);

ЧМ-симултоны с равномерно распределенными тонами (свисты).

Результаты исследований дают основания рассматривать все акустические сигналы дельфинов в качестве зондирующих сигналов не одного сонара (как это обсуждалось раньше), а по меньшей мере шести различных типов сонаров. В то же время в работах [25 – 27] было высказано предположение о том, что НИ представляют собой сигналы высокоразвитого разговорного языка дельфинов.

Цель настоящей работы – достоверное измерение и анализ некогерентных импульсов как наиболее вероятных акустических сигналов предполагаемого разговорного языка дельфинов.

Объекты и методы исследования

Эксперименты выполнялись на двух взрослых черноморских бутылконосых дельфинах вида афалина (*Tursips truncatus*) с кличками Яша (самец) и Яна (самка), в закрытом бетонном бассейне размерами 27 × 9,5 × 4,5 м Федерального государственного бюджетного учреждения науки (ФГБУН) «Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН» (г. Феодосия). Дельфины живут в бассейне около 20 лет и обладают нормальным слухом. Уровень воды в бассейне 4 м. Конфигурация эксперимента приведена на рис. 1, *a*.

Регистрация акустических сигналов, продуцируемых дельфинами Яной (*1*) и Яшей (*2*), выполнялась без специальной дрессировки и без пищевого подкрепления дельфинов. Были использованы промежутки времени, когда они сами по привычке подплывали к мосткам *5* (расположены на 0,1 м выше уровня воды) и держались у водной поверхности почти без движения (квазистационарно) (рис. 1, *b*). Сигналы регистрировались двухканальной системой записи, которая фиксировала момент времени прихода каждого сигнала на гидрофон своего канала. Принадлежность каждого сигнала конкретному дельфину и иден-

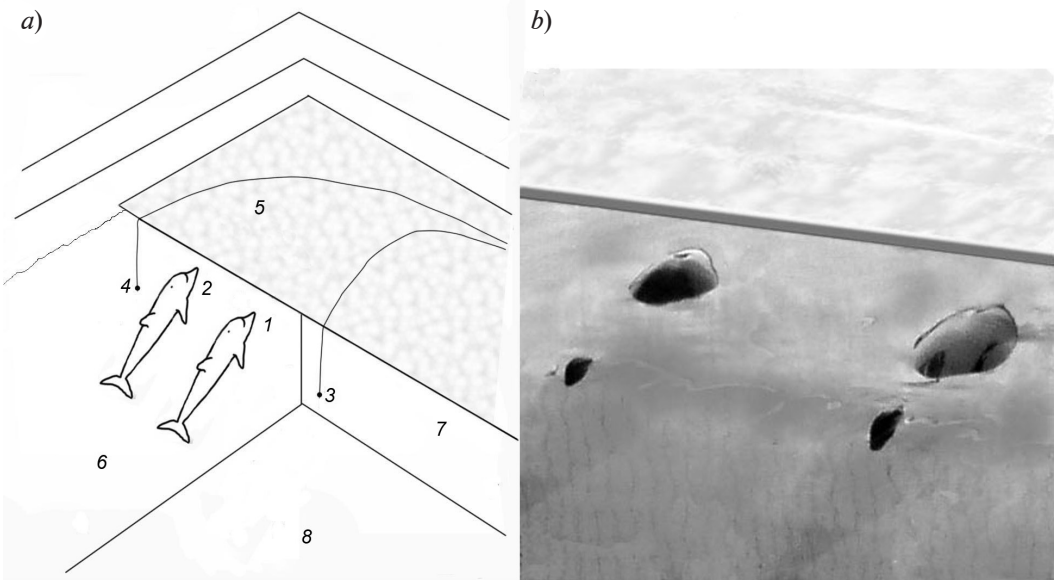


Рис. 1. Конфигурация эксперимента (*a*) и фотография квазистационарного положения дельфинов во время записи звуков (*b*).

Позиции *1*, *2* – дельфины Яна и Яша, соответственно; *3*, *4* – гидрофоны первого (I) и второго (II) каналов; *5* – мостки; *6*, *7* – длинная и короткая стенки бассейна; *8* – его дно

тификация НИ устанавливалась во время анализа двухканальной записи, с учетом межканальных временных задержек каждого сигнала, межканальной разности амплитуд звукового давления данного сигнала, а также известных расстояний от гидрофонов до дельфинов и границ бассейна.

Расстояние между гидрофонами I и II каналов (база записи – 3,5 м) было выбрано таким, чтобы получить необходимую для последующего анализа межканальную разницу временных задержек и амплитуд УЗД каждого акустического сигнала на гидрофонах. Расстояние между дельфинами было около 1м. В то же время гидрофоны были расположены в дальнем акустическом поле дельфина, на расстояние ~ 1,5м. Гидрофоны были погружены на глубину 1 м, чтобы, по возможности, снизить вероятность экранирования сигналов, идущих в направлении гидрофонов, дальних от каждого дельфина, телом другого животного. Кроме того, для оценки влияния реверберации бассейна на записываемые сигналы, гидрофоны были расположены таким образом, чтобы один из них (*4*) находился близко у стенки бассейна, а другой (*3*) – посредине бассейна (см. рис. 1, *а*). Расстояние между гидрофоном *4* и стенкой *6* составляло 0,45 м, а от гидрофонов *3* и *4* до стенки *7* было 3 м. Технические характеристики использованного оборудования представлены в табл. 1.

Использовались сферические гидрофоны, изготовленные из пьезокерамики. Каждый канал записи сигналов состоял из гидрофона, усилителя напряжения и одного из каналов многоканального аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Оцифрованные сигналы дельфинов с АЦП непрерывно записывались на жесткий диск ноутбука. Запись и обработка сигналов осуществлялись пакетами программ PowerGraph 3.3.8 и Adobe Audition 3.0. Спектры сигналов были рассчитаны с использованием быстрого преобразования Фурье на 4096 точек с весовой функцией Хэмминга. Во время записи сигналов никаких других животных в бассейне не было.

Экспериментальные результаты

Одна из характерных записей, отображающих последовательность взаимно некогерентных импульсов, продуцированных Яной и Яшей, показана на рис. 2. Дельфины излучали импульсные звуки пачками с временными интервалами между пачками, превышающими во много раз межимпульсные интервалы в пачке. Длительность импуль-

Таблица 1

Технические характеристики использованного оборудования

Параметр	Единица измерения	Значение
Гидрофоны		
Диаметр	мм	14
Калиброванная чувствительность гидрофона I канала гидрофона II канала	дБ относительно 1В/мкПа (мкВ/Па)	 −203,5(66,5) −206,0 (50,0)
Неравномерность частотной характеристики до 160 кГц до 220 кГц	дБ	 ±3 ±10
Каналы записи		
Фильтр верхних частот	кГц	0,1
Усилитель напряжения	дБ	40
Разрядность АЦП (USB-3000)	–	14
Динамический диапазон АЦП	дБ	81
Частота дискретизации каждого канала	МГц	1

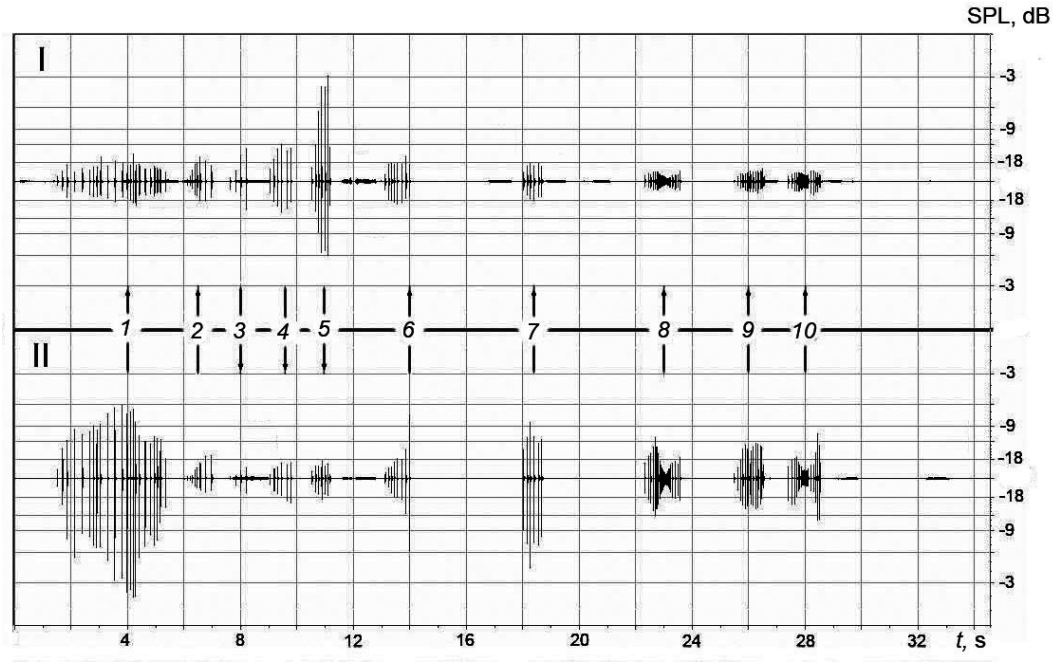


Рис. 2. Пример записей, отображающих последовательность пачек НИ, продуцированных Яной (стрелки вниз) и Яшей (стрелки вверх).
Нумерация пачек соответствует их последовательности; I, II – номера каналов записи. Уровень звукового давления (SPL) акустических импульсов нормирован на 350 Па

сов в пачках изменялась от 0,08 до 0,60 мс, причем ее средняя величина составляла около 0,25 мс. Незначительное различие межканальных УЗД каждого сигнала (менее 16 дБ) указывает на отсутствие высокой направленности излучения НИ. Для каждого импульса в пачке характерна сложная форма, которая изменяется от одного импульса к другому в каждой пачке НИ. В связи с этим спектр каждого импульса также изменялся от одного импульса к другому.

В качестве примера на рис. 3 показаны форма и спектр первых четырех НИ пачки *5* (см. рис. 2), продуцированных Яной. Эти сигналы были мной классифицированы в соответствии с теорией сигналов и эхолокации как взаимно некогерентные импульсы (НИ) [25 – 27]. Амплитудный спектр этих импульсов имел много максимумов и минимумов и покрывал весь диапазон частот слуха дельфина, от 6 – 15 до 160 – 200 кГц. Однако амплитудные спектры сигналов (см. рис. 3) показаны только до 160 кГц, так как слуховые пороги афалины начинают существенно возрастать на частотах выше 135 кГц. Уровень звукового давления импульсов (см. рис. 2) изменялся от 15 до 330 Па; пачки НИ содержали от 4 до 27 импульсов; межимпульсные интервалы находились в диапазоне от 19 до 300 мс.

Обсуждение результатов

Анализ многочисленных НИ, зарегистрированных в наших экспериментах, показал, что дельфины продуцировали пачки импульсов по очереди, не перебивая друг друга, следовательно, резонно полагать, что каждый из дельфинов выслушивал НИ другого, прежде чем продуцировать свои НИ. В этом случае направления стрелок возле цифр на рис. 2, обозначающих номер каждой пачки НИ, указывают направления передачи сообщения (от Яши к Яне или обратно), т. е. обмен НИ. По существу, такой обмен напоминает разговор между двумя людьми. В этом случае принципиальное отличие обмена информацией дельфинов от разговора людей состоит в характеристиках акустических сигналов их разговорного

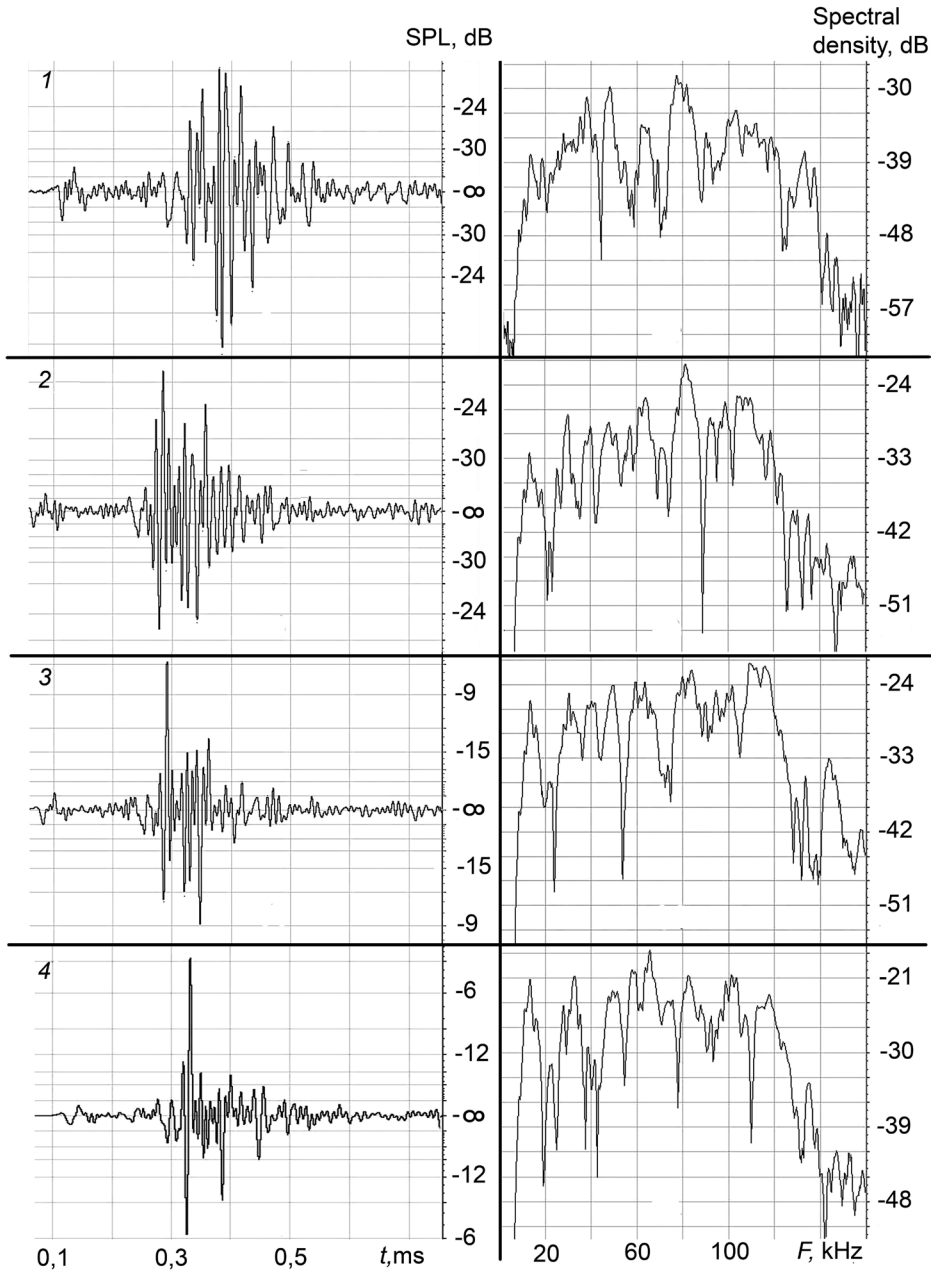


Рис. 3. Форма первых четырех НИ (*1* – *4*) пачки *5* (см. рис. 2), продуцированных дельфином Яной, и соответствующие им амплитудные спектры (справа).
Уровень звукового давления (SPL) импульсов приведен относительно 350 Па

языка. Каждый импульс в пачках НИ, продуцируемый дельфинами, отличается друг от друга своим видом во временной области и набором спектральных составляющих в частотной. В связи с этим можно предположить, что каждый такой импульс представляет фонему либо слово разговорного языка дельфина.

Для выяснения роли НИ были проанализированы форма и спектр 50 импульсов. Количество экстремумов в спектрах импульсов, которые отличались по уровню более чем на 3 дБ, составляло 20 – 30. Однако одинаковых импульсов среди них не выявлено. Это наводит на мысль, что, скорее всего, каждый импульс в пачках

НИ представляет собой слово разговорного языка дельфина, а пачка импульсов – это сентенция, т. е. некое изречение.

Взаимно некогерентные импульсы охватывают частоты до 200 – 250 кГц, но энергия импульсов, составляющих спектры, начинает быстро спадать на частотах ниже 10 и выше 140 кГц (см. рис. 3). Характеристики НИ аналогичны тем, которые описаны в работах [25 – 27].

Если предположить, что эти импульсы – не что иное, как речь дельфина, то представляет интерес сравнить ее с человеческой речью. У дельфина спектр каждого импульса занимает почти всю область частот его слуха, от 6 – 15 до 160 кГц. Интересно, что отсутствие составляющих спектра ниже 6 – 15 кГц улучшает помехозащищенность речи, так как на частотах приблизительно ниже 10 кГц абсолютные слуховые пороги дельфина и уровень окружающего шума начинают быстро возрастать.

Спектр речи человека также охватывает почти всю область частот его слуха, но для нормальной разборчивости человеческой речи достаточно области частот 0,3 – 3 кГц. Известно, что каждое слово в языке человека создано различным размещением (с повторением) нескольких разных и произносимых последовательно и слитно фонем. Фонемы образованы спектральными составляющими соответствующих звуков. Из конечного числа фонем (например, около 40 в русском языке) может быть создано практически бесконечное количество слов.

Можно полагать, что в отличие от человека, дельфин создает каждое слово сочетанием (с повторением) соответствующих спектральных экстремумов (см. рис. 3), т. е. сочетанием нескольких экстремумов спектра, разных по частоте и уровню, которые он надежно различает, в более широкой (почти в 40 раз) полосе частот. Следовательно, спектральные экстремумы «слова» в разговорном языке дельфина играют роль фонем речи человека. Но в отличие от человека дельфин произносит все фонемы одного слова одновременно. Поэтому длительность некогерентного импульса составляет всего 0,08 – 0,60 мс, а его средняя длительность, т. е. слова дельфина, – около 0,25 мс, что на два-три порядка меньше длительности фонемы речи человека. В то же время столь малая длительность слова определяет высокую разрешающую способность речи дельфина по времени и в пространстве (около 37 см). С другой стороны, этот результат указывает на определенное преимущество слуха дельфина над слухом человека, поскольку дельфин может анализировать сложные акустические импульсы меньшей длительности (по крайней мере, на 2 – 3 порядка), чем человек. При этом межимпульсные интервалы НИ существенно длиннее его слов (19 – 300 мс) и изменяются в широких пределах, что, по-видимому, улучшает защищенность речи дельфина от реверберации. Другими словами, дельфин «произносит» каждое следующее слово после затухания отражений от предыдущего. Однако речь дельфина, к сожалению, лежит за границами временных и частотных характеристик слуха человека, а значит, ему недоступна. В отличие от человеческого восприятия, дельфины слышат речь человека, так как она попадает на низкочастотную границу их слуха, но она оказывается ослабленной в связи с существенным отражением энергии звука на границе сред воздух – вода.

Представляет интерес оценить, в какой степени предполагаемый разговорный язык дельфина обладает основными конструктивными особенностями языка человека, описанными Хоккетом [28]. Обсудим их в том же порядке, как их рассмотрел Хоккет в своей работе (табл. 2).

Первые шесть особенностей, отмеченные автором, очевидно, присущи языку дельфина и, по-видимому, не требуют специального обсуждения. Представляет интерес обсудить оставшиеся особенности, которые в большей степени определяются интеллектом и уровнем сознания животного [26, 29, 30].

Семантичность. Эксперименты показали [31, 32], что дельфин понимает новые команды, поданные внутри искусственной жестовой или звуковой языковой систем, которые используют сентенции длительностью в пять слов и интерпретация которых требует обработки как семантических, так и

Таблица 2

Наличие (либо отсутствие) конструктивных особенностей разговорного языка человека в языках других животных

Конструктивная особенность (по Хоккету)	Язык животного			
	Танец пчелы	Песня жаворонка	Крик гиббона	Звукоподражание серого попугая
Вокально-слуховой канал	–	+	+	+
Широковещательное излучение и направленный прием	+	+	+	+
Быстрое затухание	?	+	+	+
Чередуемость	ограничена	?	+	+
Обратная связь	?	+	+	+
Специализированность	?	+	+	+
Семантичность	+	частично	+	+
Произвольность	–	если семантика,+	+	+
Дискретность	–	?	+	+
Перемещаемость	всегда +	?	–	–
Продуктивность	+	?	–	ограничена
Культурная преемственность	–	?	?	ограничена
Двойственность	–	?	–	+

Для разговорного языка дельфина (как и человека) характерны все указанные конструктивные особенности (все +), что обосновано далее.

синтаксических правил языка. Эти результаты, на наш взгляд, косвенно подтверждают предположение, что в естественном разговорном языке дельфина каждый НИ есть слово с определенным значением.

Произвольность. Концептуальное обучение внутри искусственных жестовой или звуковой языковых систем, внутри нескольких парадигм, включающих обучение распознаванию набора образов и сопоставления с образом, было продемонстрировано экспериментально [33]. Это косвенно подтверждает, что и в предполагаемом естественном разговорном языке дельфина нет прямой связи между количеством спектральных экстремумов слова и тем, что они обозначают.

Дискретность. В рассматриваемом языке дельфина дискретность слов, по-видимому, определяется их различным расположением по частоте и по уровню максимумов и минимумов спектральных составляющих акустических импульсов (см. рис. 3). Эти различия дельфин, по-видимому, легко распознает, так как они превышают дифференциальные пороги его слуха по частоте (0,2 – 0,8 %) в частотном диапазоне 10 – 130 кГц [34 – 36] и по интенсивности (10 %) [37, 38].

Перемещаемость. Было показано, что дельфин правильно понимал команды искусственной жестовой языковой системы при передаче их через телевизионную картинку тренера так же надежно, как и при непосредственной их передаче тренером. Слова этого языка были им поняты референциально, включая способность показывать присутствие или отсутствие референциального объекта в бассейне дельфина [33, 39]. Эти факты косвенно доказывают, что и в своем естественном речевом общении дельфины могут отсылать к вещам в пространстве и во времени и «разговаривать» о вещах, которые отсутствуют в данный момент. Это косвенно свидетельствует о наличии у дельфина высокого уровня со-

знания и наличия высокоразвитого языка.

Продуктивность. Путем анализа различных сочетаний отдельных спектральных экстремумов в языке дельфина можно приблизительно оценить, какое количество слов дельфин способен создать. Если при анализе спектра слова дельфин использует механизм критических полос шириной около 10 % от центральной частоты слухового фильтра [40 – 43], то в полосе частот 10 – 120 кГц помещается около 26 частотных полос. В этом случае максимальное количество разных слов, которые могут отличаться хотя бы одним экстремумом спектра, равно сумме числа сочетаний с повторениями из 26 элементов по 1 + по 2 +... + по 26, что составляет в сумме около $5 \cdot 10^{14}$. Это значение очень высокое и явно избыточное, хотя при учете различий в уровнях экстремумов спектра оно может быть еще выше. Несомненно, что указанная величина характеризует потенциальную возможность данного способа кодирования слов. Реально используемое дельфинами количество слов, по-видимому, существенно меньше и может быть сопоставимо с человеческим языком. Это количество достигается уже при семи экстремумах спектра, когда число сочетаний с повторениями из 26 по 7 достигает $3{,}4 \cdot 10^6$ слов, т. е. числа, сопоставимого с количеством известных слов человеческого языка, которое не превышает $(1 - 2) \cdot 10^6$. В связи с этим можно предположить, что разговорный язык дельфина является открытым.

Культурная преемственность. Негенетическая передача общественного поведения от генерации к генерации наблюдалась у китообразных (Cetaceans) [44, 45]. Это указывает на то, что данные виды медленно развивающихся, социально сложных животных с большим мозгом [46] имеют развитые мощные механизмы социального обучения. Несколько потенциальных сценариев и механизмов, наблюдаемых у группы пятнистых дельфинов (*Stenella frontalis*), свободно плавающих в Атлантических водах, включали вертикальные, горизонтальные и наклонные направления передачи социальной информации в процессе различных поведенческих контекстов [47]. Обучение в этом случае может быть важным средством передачи социальных знаний и, возможно, «культуры» китообразных от одного поколения к другому [48]. Эти результаты указывают на то, что наряду с некоторыми врожденными аспектами разговорного языка, дельфин, по-видимому, получает слова и природный язык у своих сородичей.

Двойственность. Исходя из того, что разговорный язык дельфина состоит из спектральных экстремумов, которые играют роль фонем, можно предположить, что он обладает как фонологической, так и грамматической организацией, поэтому дельфины могут создавать бесконечное количество слов из конечного числа спектральных экстремумов, которые в свою очередь могут создавать бесконечное число сентенций.

Анализ разговорного языка дельфинов в настоящей работе показал, что в отличие от известных коммуникационных систем животных, он прямо либо косвенно обладает всеми конструктивными особенностями разговорного языка человека. Для сравнения и наглядности полученных результатов снова рассмотрим таблицу из работы Хоккета [28] (см. табл. 2). В первой колонке таблицы перечислены конструктивные особенности разговорного языка человека, впервые показанные Хоккетом [28], в других колонках – наличие этих особенностей в коммуникационных системах разных животных. Подчеркнем, что для разговорного языка дельфина (как и человека) характерны все указанные конструктивные особенности.

Заключение

В работе проведено достоверное измерение взаимно некогерентных импульсов и выполнен их последующий анализ как наиболее вероятных акустических сигналов предполагаемого разговорного языка дельфинов.

Наличие в рассматриваемом языке всех конструктивных особенностей разговорного языка человека указывает на высокий уровень интеллекта и сознания дельфинов, а их язык, по-видимому, можно признать высокоразвитым разговорным языком, родственным языку человека. В пользу это-

го утверждения свидетельствует факт, что дельфины обладают несколько большим, чем у человека, и более сложным мозгом уже более 25 млн. лет [49]. В связи с этим, для дальнейших исследований в этом направлении и установления взаимоотношений с первыми разумными обитателями планеты Земля, человек должен сделать первый шаг – создать устройства, способные преодолеть барьеры, стоящие на пути использования языков, на пути общения дельфинов с людьми.

Результаты, полученные в работе, позволяют предположить наличие подобного высокоразвитого разговорного языка у зубатых китов (Odontoceti), исходя из подобия их акустических сигналов и морфологии. Вместе с тем, рассмотренные в работе проблемы изучения акустических сигналов дельфинов и зубатых китов представляют несомненный интерес для дальнейших исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] **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. No. 2. Pp. 1244 –1250.

[2] **Au W.W.L.** The Sonar of Dolphins. New York: Springer-Verlag, 1993. 277 p.

[3] **Herman L.M., Tavolga W.N.** The communication systems of Cetaceans // L.M. Herman. Cetacean behavior: Mechanisms and functions. New York: Wiley Interscience, 1980. Pp. 149–209.

[4] **Watkins W.A., Wartzok D.** Sensory biophysics of marine mammals // Mar. Mamm. Sci. 1985. Vol. 1. No. 3. Pp. 219 –260.

[5] **Tyack P.L.** Population biology, social behaviour and communication in whales and dolphins// Trees. 1986. Vol. 1. No.6. Pp. 144–150.

[6] **Dawson S.M.** Clicks and communication: the behavioural and social contexts of Hector's dolphin vocalizations // Ethology. 1991. Vol. 88. No. 4. Pp. 265–276.

[7] **Lammers M.O., Au W.W.L., Herzing D.L.** The broadband social acoustic signaling behavior of spinner and spotted dolphins // J. Acoust. Soc. Am. 2003. Vol. 114. No. 3. Pp. 1629–1639.

[8] **Caldwell M.C., Caldwell D.K.** Intraspecific transfer of information via the pulsed sound in captive Odontocete Cetaceans /Animal Sonar Systems: Biology and Bionics; ed. by R.G. Busnel, Laboratoire de Physiologie Acoustic, Jouy-en-Josas, France, 1967. Pp. 879–936.

[9] **Norris K., Wursig B.** The Hawaiian Spinner Dolphin. Eds. Wells R. S., Wursig, M. Berkeley, CA: Univ. of California Press, 1994. 408 p.

[10] **Busnel R.G., Dziedzic A.** Acoustic signal of the pilot whale *Globicephala melaena* and of the porpoises *Delphinus delphis* and *Phocoena phocoena* // Whales, Dolphins, and Porpoises. Ed. Norris K.S. Berkeley: Univ. of Calif. Press, 1966. Pp. 607–646.

[11] **Lilly J.C.** Distress call of the bottlenose dolphin: Stimuli and evoked behavioral responses // Science. 1963. Vol. 139. No. 3550. Pp. 116–118.

[12] **Dreher J.J., Evans W.E.** Cetacean communication // W.N. Tavolga. Marine Bioacousics. 1. Oxford: Pergammon Press, 1964. Pp. 373–399.

[13] **Evans W.E.** Vocalizations among marine mammals // W.N. Tavolga. Marine Bioacoustics. 2. New York: Pergamon Press, 1967. Pp. 159 –186.

[14] **Janik V., Slater P.** Context-specific use suggests that bottlenose dolphin signature whistles are cohesion calls // Animal Behaviour. 1998. Vol. 56. No. 4. Pp. 829–838.

[15] **Herzing D.L.** Acoustics and social behavior of wild dolphins: Implications for a sound society// Hearing in Whales. Springer-Verlag. Handbook of Auditory Research. 2000. Pp. 225–272.

[16] **Janik V.M.** Whistle matching in wild bottlenose dolphins *Tursiops truncates* // Science. 2000. Vol. 289. No. 5483. Pp. 1355–1357.

[17] **Lammers M.O., Au W.W.L.** Directionality in the whistles of Hawaiian Spinner dolphins Stenella Longirostris: A signal feature to cue direction of movement // Marine Mammal Sci. 2003. Vol. 19. No. 2. Pp. 249–264.

[18] **Rasmussen M.H., Miller L.A.** Whistles and clicks from white-beaked dolphins. *Lagenorhynchus albirostris*, recorded in Faxaflori Bay, Iceland // Aqua. Mamm. 2002. Vol. 28. No.1. Pp. 78–89.

[19] **Rasmussen M.H., Miller L.A.** Echolocation in Bats and Dolphins // Eds. Thomas J., Moss C., Vater M. Chicago: Univ. of Chicago, 2004. Pp. 50–53.

[20] **Caldwell M.C., Caldwell D.K., Tyack P.L.** Review of the signature-whistle hypothesis for the Atlantic bottlenose dolphin // S. Leatherwood, R.R. Reeves. The Bottlenose Dolphin. Academic Press, San Diego, 1990. Pp. 199–234.

[21] **Tyack P.L.** Dolphins whistle a signature tune // Science. 2000. Vol. 289. No. 5483. Pp. 1310–1311.

[22] **Sayigh L.S., Tyack P.L., Wells R.S., Scott M.D.** Signature whistles of free-ranging bottlenose

dolphins *Tursiops truncatus*: Stability and mother-off spring comparisons // Behavioral Ecology and Sociobiology. 1990. Vol. 26. No. 4. Pp. 247–260.

[23] **Herzing D.L.** Vocalizations and associated underwater behavior of free-ranging Atlantic spotted dolphins. *Stenella frontalis* and bottlenose dolphin, *Tursiops truncates* // Aqua. Mamm. 1996. Vol. 22. No. 2. Pp. 61–69.

[24] **Rasmussen M.H., Lammers M., Beedholm K., Miller L.A.** Source levels and harmonic content of whistles in white-beaked dolphins (*Langenorhinchus albirostris*) // J. Acoust. Soc. Am. 2006. Vol. 120. No. 1. Pp. 510–517.

[25] **Рябов В.А.** Акустические сигналы и эхолокационная система дельфина // Биофизика. 2014. Т. 59. Вып. 1. С. 169–184.

[26] **Ryabov V.A.** Some aspects of analysis of dolphins' acoustical signals // Open J. of Acoustics. 2011. Vol. 1. No. 2. Pp. 41–54.

[27] **Ryabov V.A.** Acoustic signals and echolocation system of the dolphin // Biophysics. 2014. Vol. 59. No. 1. Pp. 135–147.

[28] **Hockett C.D.** The origin of speech // Scientific American. 1960. Vol. 203. No. 3. Pp. 99–196.

[29] **Ryabov V.A.** Dolphin's spoken language // Collection of scientific papers after 7th International Conference MMH, Suzdal, Russia, 2012. 2. Pp. 198–204.

[30] **Ryabov V.A.** The dolphin spoken language// Abstracts book of 27th conference of the European Cetacean Society. Interdisciplinary approaches in the study of marine mammals (8th –10th April, 2013) Setubal, Portugal. 2013. P. 213.

[31] **Herman L.M., Richards D.G., Wolz J.P.** Comprehension of sentences by bottlenosed dolphins // Cognition. 1984. Vol. 16. No. 2. Pp. 129–219.

[32] **Herman L.M.** Cognition and language competencies of bottlenosed dolphins // R.J. Schusterman, J. Thomas, F.G. Wood. Dolphin Cognition and Behavior: A Comparative Approach, Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates. 1986. Pp. 221–251.

[33] **Herman L.M.** What laboratory research has told us about dolphin cognition // Int. J. Comp. Psychol. 2010. Vol. 23. No. 3. Pp. 310–330.

[34] **Herman L.M., Arbeit W.R.** Frequency difference limens in the bottlenose dolphin: 1 – 70 kHz // J. Aud. Res. 1972. Vol. 12. No.2. Pp. 109–120.

[35] **Jacobs D.W.** Auditory frequency discrimination in the Atlantic bottlenose dolphin. *Tursiops Truncatus* Montague. A Preliminary Report // J. Acoust. Soc. Am. 1972. Vol. 52. No. 2B. Pp. 696–698.

[36] **Thompson R.K.R., Herman L.M.** Underwater frequency discrimination in the bottlenosed dolphin (1 –140 kHz) and human (1 – 8 kHz) // J. Acoust. Soc. Am. 1975. Vol. 57. No. 4. Pp. 943–948.

[37] **Bullock T.H., Grinell A.D., Ikezono E., et al.** Electrophysiological studies of central auditory mechanisms in cetaceans // Z. Vergl. Phisiol. 1968. Vol. 59. No. 2. Pp. 117–156.

[38] **Johnson C.S.** Auditory masking of one pure tone by another in the bottlenosed porpoise // J. Acoust. Soc. Am. 1970. Vol. 49. No. 4B. Pp. 1317–1318.

[39] **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// J. Exp. Psych.: General. 1990. Vol. 119. No. 2. Pp. 215–230.

[40] **Johnson C.S., McManus M.W., Skaar D.** Masked tonal hearing thresholds in the beluga whale // J. Acoust. Soc. Am. 1989. Vol. 85. No. 6. Pp. 2651–2654.

[41] **Johnson C.S.** Masked tonal threshold in the bottlenose porpoise // J. Acoust. Soc. Am. 1968. Vol. 44. No. 4. Pp. 965–967.

[42] **Au W.W.L., Moore P.W.B.** Critical ratio and critical bandwidth for the Atlantic bottlenose dolphin // J. Acoust. Soc. Am. 1990. Vol. 88. No. 3. Pp. 1635–1638.

[43] **Popov V.V., Supin A.Y., Klishin V.O.** Frequency tuning of the dolphin's hearing as revealed by auditory brain-stem response with notch-noise masking // J. Acoust. Soc. Am. 1997. Vol. 102. No. 6. Pp. 3795–3801.

[44] **Kruetzen M., Mann J., Heithaus M., et al.** Cultural transmission of tool use in bottlenose dolphins // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2005. Vol. 102. No. 25. Pp. 8939–8943.

[45] **Rendell L., Whitehead H.** Culture in whales and dolphins // Behavior and Brain Science. 2001. Vol. 24. No. 2. Pp. 309–382.

[46] **Bjorklund D.F., Bering J.M.** Big brains, slow development, and social complexity: the developmental and evolutionary origins of social cognition // Brüne M., Ribbert H., Schiefenhövel W. The social brain: evolutionary aspects of development and pathology. New York: Wiley, 2003. Pp. 133–151.

[47] **Herzing D.L.** Transmission mechanisms of social learning in dolphins: Underwater observations of free-ranging dolphins in the Bahamas// F. Delfour, M.J. Dubois. Autour de l'ethologie et de la Cognition Animale, Lyon: Presses Universitaires de Lyon, 2005. Pp. 185–194.

[48] **Bender C.E., Herzing D.L., Bjorklund D.F.** Evidence of teaching in Atlantic spotted dolphins (*Stenella frontalis*) by mother dolphins foraging in the presence of their calves // Animal Cognition.

2009. Vol. 12. No. 1. Pp. 43–53.

[49] **Ridgway S.H.** Physiological observations on the dolphin brains // R.J. Schusterman, J. Thomas, F.G. Wood. Dolphin cognition and behavior. A comparative approach. Hillsdale: Erlbaum. 1986. Pp. 31–59.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

РЯБОВ Вячеслав Александрович – *кандидат биологических наук, старший научный сотрудник ФГБУН «Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН», г. Феодосия.*
298188, Российская Федерация, г. Феодосия, ПГТ Курортное, ул. Науки, 24
ryabofff@inbox.ru

Ryabov V.A. THE STUDY OF ACOUSTIC SIGNALS AND THE SUPPOSED DOLPHINS' SPOKEN LANGUAGE.

This paper continues studies in the problem of animal's language by registration of acoustic signals from the two quasi-stationary Black Sea bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) using two-channel system in the frequency band up to 220 kHz with a dynamic range of 81dB. The packs of mutually noncoherent impulses (NI) of dolphins were matched to the animals. The waveforms and the spectra of these impulses changed from one impulse to another one in each pack. In this connection, the suggestion was made that the set of spectral components of each impulse is a «word» of the dolphin's spoken language and a pack of NI is a sentence. The paper studied the NI pecularities in the context of characteristics of a human spoken language.

DOLPHIN, SPOKEN LANGUAGE, ACOUSTICS, SIGNAL, PACK, NONCOHERENT IMPULSE.

REFERENCES

[1] **M.O. Lammers, M. Schotten, W.W.L. Au,** The spatial context of free-ranging Hawaiian spinner dolphins (*Stenella longirostris*) producing acoustic signals, J. Acoust. Soc. Am. 119 (2) (2006) 1244–1250.

[2] **W.W.L. Au,** The sonar of dolphins, New York, Springer–Verlag, 1993. P. 277.

[3] **L.M. Herman, W.N. Tavolga,** The communication systems of cetaceans, L.M. Herman, Cetacean behavior: Mechanisms and functions, New York, Wiley Interscience, 1980, Pp. 149–209.

[4] **W.A. Watkins, D. Wartzok,** Sensory biophysics of marine mammals, Mar. Mamm. Sci. 1(3) (1985) 219–260.

[5] **P.L. Tyack,** Population biology, social behaviour and communication in whales and dolphins, Trees. 1(6) (1986) 144–150.

[6] **S.M. Dawson,** Clicks and communication: the behavioural and social contexts of Hector's dolphin vocalizations, Ethology. 88(4) (1991) 265–276.

[7] **M.O. Lammers, W.W.L. Au, D.L. Herzing,** The broadband social acoustic signaling behavior of spinner and spotted dolphins, J. Acoust. Soc. Am. 2003. 114 (3) (2003)1629–1639.

[8] **M.C. Caldwell, D.K. Caldwell,** Intraspecific transfer of information via the pulsed sound in captive Odontocete Cetaceans /Animal Sonar Systems: Biology and Bionics, edited by R. G. Busnel, Laboratoire de Physiologie Acoustic, Jouy-en-Josas, France, 1967. Pp. 879–936.

[9] **K. Norris, B. Wursig,** The Hawaiian Spinner Dolphin, Eds. Wells, R. S., Wursig, M. Univ. of California Press, Berkeley, CA, 1994.

[10] **R.G. Busnel, A. Dziedzic,** Acoustic signal of the pilot whale *Globicephala melaena* and of the porpoises *Delphinus delphis* and *Phocoena phocoena*, Whales, Dolphins, and Porpoises, Ed. Norris K. S. Univ. of Calif. Press, Berkeley, 1966. Pp. 607–646.

[11] **J.C. Lilly,** Distress call of the bottlenose dolphin: Stimuli and evoked behavioral responses, Science. 139 (3550) (1963) 116–118.

[12] **J.J. Dreher, W.E. Evans,** Cetacean communication, W.N. Tavolga, Marine Bioacousics, 1 Pergammon Press, Oxford, 1964. Pp. 373–399.

[13] **W.E. Evans,** Vocalizations among marine mammals, W.N. Tavolga, Marine Bioacoustics 2 Pergamon Press, New York, 1967. Pp. 159–186.

[14] **V. Janik, P. Slater,** Context-specific use suggests that bottlenose dolphin signature whistles are cohesion calls, Animal Behaviour. 56 (4) (1998) 829–838.

[15] **D.L. Herzing,** Acoustics and Social Behavior of Wild Dolphins: Implications for a Sound Society, Hearing in Whales, Springer-Verlag, Handbook of Auditory Research, 2000. Pp. 225–272.

[16] **V.M. Janik,** Whistle matching in wild bottlenose dolphins *Tursiops truncates*, Science. 289 (5483) (2000) 1355–1357.

[17] **M.O. Lammers, W.W.L. Au,** Directionality

in the whistles of Hawaiian Spinner dolphins *Stenella Longirostris*: A signal feature to cue direction of movement, Marine Mammal Sci. 19(2) (2003) 249–264.

[18] **M.H. Rasmussen, L.A. Miller,** Whistles and clicks from white-beaked dolphins, *Lagenorhynchus albirostris*, recorded in Faxaflori Bay, Iceland, Aqua. Mamm. 28 (1) (2002) 78–89.

[19] **M.H. Rasmussen, L.A. Miller,** Echolocation in Bats and Dolphins, Eds. Thomas J., Moss C., Vater M., Univ. of Chicago, Chicago, 2004. Pp. 50–53.

[20] **M.C. Caldwell, D.K. Caldwell, P.L. Tyack,** Review of the signature-whistle hypothesis for the Atlantic Bottlenose dolphin, S. Leatherwood, R.R. Reeves, The Bottlenose Dolphin. Academic Press, San Diego, 1990. Pp. 199–234.

[21] **P.L. Tyack,** Dolphins whistle a signature tune, Science. 289 (5483) (2000) 1310–1311.

[22] **L.S. Sayigh, P.L. Tyack, R.S. Wells, M.D. Scott,** Signature whistles of free-ranging bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*: Stability and mother-off spring comparisons, Behavioral Ecology and Sociobiology. 26 (4) (1990) 247–260.

[23] **D.L. Herzing,** Vocalizations and associated underwater behavior of free-ranging Atlantic spotted dolphins, Stenella frontalis and bottlenose dolphin, Tursiops truncates, Aqua. Mamm. 22 (2) (1996) 61– 69.

[24] **M.H. Rasmussen, M. Lammers, K. Beedholm, L.A. Miller,** Source levels and harmonic content of whistles in white-beaked dolphins (*Langenorhinchus albirostris*), J. Acoust. Soc. Am. 120 (1) (2006) 510 –517.

[25] **V.A. Ryabov,** Akusticheskiye signaly i ekholokatsionnaya sistema delfina [Acoustic signals and echolocation system of the dolphin], Biofizika. 59 (1) (2014) 169 – 184.

[26] **V.A. Ryabov,** Some aspects of analysis of dolphins' acoustical signals, Open J. of Acoustics. 1 (2) (2011) 41–54.

[27] **V.A. Ryabov,** Acoustic signals and echolocation system of the dolphin, Biophysics. 59(1) (2014) 135–147.

[28] **C.D. Hockett,** The origin of speech, Scientific American. 203 (3) (1960) 99–196.

[29] **V.A. Ryabov,** Dolphin's spoken language. Collection of scientific papers after 7th International Conference MMH, Suzdal, Russia, 2012. 2. Pp. 198–204.

[30] **V.A. Ryabov,** The dolphin spoken language, Abstracts book of 27th conference of the European Cetacean Society, Interdisciplinary approaches in the study of marine mammals (8th–10th April, 2013) Setubal, Portugal, 2013. P. 213.

[31] **L.M. Herman, D.G. Richards, J.P. Wolz,** Comprehension of sentences by bottlenosed dolphins, Cognition. 16(2) (1984) 129–219.

[32] **L.M. Herman,** Cognition and language competencies of bottlenosed dolphins, R.J. Schusterman, J. Thomas, F.G. Wood, Dolphin Cognition and Behavior: A Comparative Approach, Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1986. Pp. 221–251.

[33] **L.M. Herman,** What laboratory research has told us about dolphin cognition, Int. J. Comp. Psycho. 23 (3) (2010) 310–330.

[34] **L.M. Herman, W.R. Arbeit,** Frequency difference limens in the bottlenose dolphin: 1 – 70 kHz, J. Aud. Res. 12 (2) (1972) 109–120.

[35] **D.W. Jacobs,** Auditory frequency discrimination in the Atlantic bottlenose dolphin, *Tursiops truncatus Montague*, A Preliminary Report, J. Acoust. Soc. Am. 52 (2B) (1972) 696 –698.

[36] **R.K.R. Thompson, L.M. Herman,** Underwater frequency discrimination in the bottlenosed dolphin (1 – 140 kHz) and human (1 – 8 kHz), J. Acoust. Soc. Am. 57 (4) (1975) 943–948.

[37] **T.H. Bullock, A.D. Grinell, E. Ikezono, et al.,** Electrophysiological studies of central auditory mechanisms in cetaceans, Z. Vergl. Phisiol. 59(2) (1968) 117–156.

[38] **C.S. Johnson,** Auditory masking of one pure tone by another in the bottlenosed porpoise, J. Acoust. Soc. Am. 49 (4B) (1970) 1317–1318.

[39] **L.M. Herman, P. Morrel-Samuels, A.A. Pack,** Bottlenosed dolphin and human recognition of veridical and degraded video displays of an artificial gestural language, J. Exp. Psych.: General. 119(2) (1990) 215–230.

[40] **C.S. Johnson, M.W. McManus, D. Skaar,** Masked tonal hearing thresholds in the beluga whale, J. Acoust. Soc. Am. 85 (6) (1989) 2651–2654.

[41] **C.S. Johnson,** Masked tonal threshold in the bottlenose porpoise, J. Acoust. Soc. Am. 44 (4) (1968) 965–967.

[42] **W.W.L. Au, P.W.B. Moore,** Critical ratio and critical bandwidth for the Atlantic bottlenose dolphin, J. Acoust. Soc. Am. 88 (3) (1990) 1635–1638.

[43] **V.V. Popov, A.Y. Supin, V.O. Klishin,** Frequency tuning of the dolphin's hearing as revealed by auditory brain-stem response with notch-noise masking, J. Acoust. Soc. Am. 102 (6) (1997) 3795–3801.

[44] **M. Kruetzen, J. Mann, M. Heithaus, et al.,** Cultural transmission of tool use in bottlenose dolphins, Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 102 (25) (2005) 8939–8943.

[45] **L. Rendell, H. Whitehead,** Culture in whales and dolphins, Behavior and Brain Science. 24(2)

(2001) 309–382.

[46] **D.F. Bjorklund, J.M. Bering,** Big brains, slow development, and social complexity: the developmental and evolutionary origins of social cognition, Brüne M., Ribbert H., Schiefenhövel W. The social brain: evolutionary aspects of development and pathology, Wiley, New York, 2003. Pp. 133–151.

[47] **D.L. Herzing,** Transmission mechanisms of social learning in dolphins: Underwater observations of free-ranging dolphins in the Bahamas, F. Delfour, M.J. Dubois. Autour de l'ethologie et de la Cognition Animale, Presses Universitaires de Lyon, Lyon, 2005. Pp. 185–194.

[48] **C.E. Bender, D.L. Herzing, D.F. Bjorklund,** Evidence of teaching in Atlantic spotted dolphins (*Stenella frontalis*) by mother dolphins foraging in the presence of their calves, Animal Cognition. 12 (1) (2009) 43–53.

[49] **S.H. Ridgway,** Physiological observations on the dolphin brains, R.J. Schusterman, J. Thomas, F.G. Wood, Dolphin cognition and behavior, A comparative approach, Hillsdale: Erlbaum, 1986. Pp. 31 –59.

THE AUTHOR

RYABOV Vyacheslav A.
T.I. Vyazemsky Karadag Scientific Station – Nature Reserve of RAS
24 Nauki St., Kurortnoye, Feodosiya, 298188, Russian Federation
ryabofff@inbox.ru

© Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2016