

Санкт-Петербургский государственный университет

Биологический факультет

Кафедра прикладной экологии

Калиновская Юлия Евгеньевна

Сравнительный анализ акустической активности белух в
естественных условиях и при содержании в неволе

Выпускная квалификационная работа магистра

(магистерская диссертация)

Работа выполнена на кафедре

Прикладной экологии

Научный руководитель:

снс, к.б.н., Попов И.Ю.

Куратор:

вед. спец. к.б.н., доц. Макаров А.К.

Санкт-Петербург

2017 г.

Оглавление

Введение	4
Глава 1. Биологические особенности и распространение вида белуха (<i>Delphinapterus leucas</i>)	6
1.1. Органы слуха и генерации звуков.....	7
1.2. Питание	9
1.3. Размножение и поведение. Особенности репродуктивных скоплений	10
1.4. Распространение и популяции белухи.....	12
Глава 2. Различные способы коммуникации и ориентации китообразных	15
2.1. Химическое взаимодействие.....	16
2.2. Тактильная чувствительность и коммуникация	17
2.3. Визуальный контакт	18
2.4. Акустическая ориентация и коммуникация китообразных	20
2.4.1. Локация. Эхолокационные сигналы и их характеристики	21
2.4.2. Коммуникационные сигналы.....	23
2.4.3. Типы акустических коммуникационных сигналов	24
2.4.3.1. Тональные сигналы (свисты).....	25
2.4.3.2. Импульсно-тональные сигналы	27
2.4.3.3. Комбинированные сигналы	28
2.5. Новые методы исследования.....	30
Глава 3. Материалы и методы	33
3.1. Материалы	33
3.1.1. Репродуктивные скопления в районе острова Мягостров, Белое море	33

3.1.2. Скопление белух в вольере, расположенном на о. Русский, бухта Парис, г. Владивосток.	35
3.2. Методы регистрации сигналов.....	37
3.3. Методы анализа	37
3.4. Обработка материала.....	37
Глава 4. Результаты исследований.....	39
4.1. Обсуждение.....	48
4.2. Выводы.....	58
Список источников:	59

Введение

Белухи, как яркие представители китообразных, являются хорошим индикатором экологического состояния Северного ледовитого океана в эпоху нарастания его активного освоения и использования ресурсов.

В настоящее время ведущей задачей, которая стоит перед исследователями белух, является учет численности животных, комплексный мониторинг их среды обитания (Walter, Zimmer, 2014). Для этого, как правило, используются дорогостоящие методы учета с применением ледовой авиаразведки, визуальных наблюдений с ледоколов, методов космической фотосъемки (Walter, Zimmer, 2014). В то же время непосредственное системное исследование особенностей жизнедеятельности белух представляет большие трудности (Bel'kovich, 2004). Это связано с малой доступностью мест обитания белух, суровыми климатическими условиями Севера, большой миграционной активностью животных, техническими сложностями применения объективных методов исследований (Krasnova, Chernetsky, 2012).

Одним из наиболее перспективных методов изучения китообразных, который способствует решению этих задач, является метод регистрации эхолокационной и коммуникационной акустической активности в местах временного устойчивого местообитания животных или при содержании в неволе в условиях, приближенных к естественным (Walter, Zimmer, 2014). Акустическая ориентационная и коммуникационная активность является неотъемлемым признаком многих форм поведения животных, поэтому данный метод исследования является достаточно информативным. Он позволяет глубже проникнуть в скрытую от визуальных наблюдений подводную жизнь белух (*Delphinapterus leucas*), получить качественные и количественные характеристики проявлений их жизнедеятельности (Беликов, Белькович, 2002).

Регистрация и анализ акустического информационного канала связи животных с окружающим пространством и коммуникационных контактов при социальном поведении позволяет получать разнообразную информацию о жизнедеятельности белух (Bel'kovich, 1995). Можно предположить, что различные условия среды обитания и различные формы жизнедеятельности найдут отражение в характеристиках их акустической активности (Беликов, 2006). Сопоставление акустического поведения белух в естественных условиях и при содержании в неволе позволит выявить различные формы адаптации к условиям обитания, пластичность поведения при взаимодействии с человеком и в целом применить как возможный метод оценки состояния популяции.

Актуальность исследований акустической активности белух определяется тем, что для зубатых китообразных, обитающих в водной среде, ведущим информационным каналом при пространственной ориентации, сборе информации об окружающей среде и коммуникации является акустический канал.

Предметом исследования являются особенности поведения и акустической активности белух в естественных условиях обитания и при содержании в неволе.

Цель работы: выявление различий в акустической сигнализации скоплений белух (*Delphinapterus leucas*), находящихся в условиях неволи и в естественных условиях.

Поставленная цель определила следующие **задачи** исследования:

1. Провести сравнение уровня акустической активности белух в скоплении, сформировавшемся в естественных условиях, и в вольере, при нахождении животных в условиях неволи
2. Сопоставить эхолокационную и коммуникационную активность белух в естественных условиях и при содержании в неволе.
3. Произвести анализ различных категорий сигналов в пределах группы коммуникационных сигналов и объяснить их связь с поведением животных. Выявить различия этих категорий в условиях неволи и в естественных условиях.

Глава 1. Биологические особенности и распространение вида белуха (*Delphinapterus leucas*)

Таксономическое положение:

Тип: Хордовые(Chordata)

Класс: Млекопитающие (Mammalia)

Отряд: Китообразные(Cetacea)

Подотряд: Зубатые киты (Odontoceti)

Семейство: Нарваловые (Monodontidae)

Род: Белуха (Delphinapterus)

Вид: Белуха (Delphinapterus leucas).

Современное положение белухи в IUCN Red List обозначено как **Near Threatened**. То есть на данный момент отсутствуют опасения относительно состояния данного вида, однако в будущем возможно вид может приобрести статус угрожаемого ввиду современных тенденций (Delphinapterus leucas, 2016).

Белуха обычно имеет длину около 2,5-3 м. Тело удлинненное, с небольшой головой на гибкой шее, что позволяет ей, в отличие от других китов и дельфинов, совершать достаточно свободный поворот головы без разворота туловища (Dagmar, Fertl, 2006). На лбу сильно развитая жировая подушка, придающая голове шарообразную форму. Спинной плавник отсутствует. Иногда на спине бывает невысокий, слабо различимый кожный гребень (рис 1). Широкие, лопатообразные грудные плавники и хвостовой плавник (двигатель плавания) крылоподобного профиля с эффективной гидродинамической реакцией (Сергеев, 1980). Окраска тела однотонная, подверженная возрастной изменчивости: у молодых первоначально сине-серая, затем голубая, у взрослых к 4-5 годам чисто-белая (Белькович, Кириллова, 2000). Чисто белая окраска взрослых животных отличает этот вид от всех других морских млекопитающих и вероятно имеет маскирующее значение, так как белуха – вид, обитающий в основном у кромки ледового покрова в приполярных областях Арктики (Клейненберг, Яблоков, 1964).



Рис. 1. Отличительные особенности строения белухи (Беликов, Белькович, 2002).

Под кожей тела белухи имеется развитый слой жира, выполняющий функцию теплоизоляции и запаса энергии (Самый толстый слой жира наблюдается на наиболее пассивных участках тела кита – на брюхе и между грудными плавниками (Серджен, 1978). Носовое отверстие единично, располагается в верхней части головы, что характерно для всех зубатых китов (Томилин, 1974).

1.1. Органы слуха и генерации звуков

Там, где у многих животных открывается слуховой проход, у белух отверстий нет, но можно заметить точки в том месте, где он, анатомически, должен быть. Это след слуховых проходов, которые, вероятно, имелись у древних наземных предков дельфинов и китов, но полностью заросли у существующих ныне (Cranford, 1996). То есть наружная часть уха у китов и дельфинов заключена внутри головы и не имеет никакого сообщения с окружающей водной или воздушной средой (Caldwell, Caldwell, 1978). Таким образом, слух этих животных связан с различием в акустических свойствах воды, воздуха и тканей животного, как проводников звука (Дубровский, Зориков, 1991). Поскольку акустические свойства воды и тканей тела очень близки, звуковые волны, распространяющиеся в воде, свободно проникают внутрь живых тканей и достигают структур внутреннего уха (Супин, 2002).

Таким образом, под водой тело кита акустически практически прозрачно и доступно для проникновения звуковых волн (Cranford, Wesley, 2011). Волны могут проходить непосредственно к органу слуха и не нуждаются в специальном слуховом проходе, характерном для наземных животных. Однако что-то похожее на звукопровод у китов все же имеется. Считается, что эту роль могут выполнять кости нижней челюсти (Cranford, Amundin, 1996).

Показано, что из воздушной среды звуки проходят к слуховой системе китообразных ослабленными, поскольку большая часть энергии звуковых волн отражается от поверхности тела (Garland, Castellote, 2015). Дельфины воспринимают не только акустические волны звукового диапазона частот, но также инфра и ультразвук, лежащие далеко за пределами человеческого слуха (Luske, Popper, 2011). Они прекрасно разбираются в многоголосном звуковом хаосе моря и очень точно определяют направление поступления отдельных звуков (Herman, Tavolga, 1980).

В связи с водным образом жизни строение верхних дыхательных путей у зубатых китов изменено.

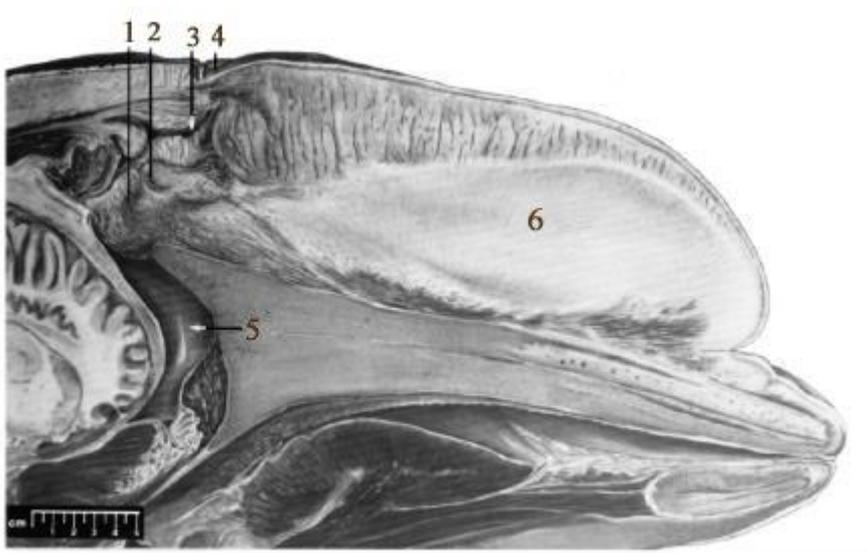


Рис. 2. Сагиттальный разрез головы белухи через правую носовую полость.

* 1 - обезьяньи губы (phonic lips), 2 - правый передний назофронтальный воздушный мешок (anterior nasofrontal sac), 3 - вестибулярный воздушный мешок (vestibular sac), 4 - дыхало (blowhole), 5- носовая полость (nasal cavity), 6 - мелон (melon) (Беликов, Белькович, 2002).

Генератором акустических сигналов являются три пары воздушных мешков, тесно связанных с носовым каналом, лобно-носовая подушка (melon) и рефлектор, образованный вогнутой передней поверхностью черепа (Cranford, Amundin, 1996). Наружные носовые проходы идут по дорсальной поверхности черепа и оканчиваются непарным дыхалом (Супин, 2002). В стенке наружных носовых проходов имеются дополнительные образования - дорсальные бурсы (жировые тела) и «обезьяньи губы» (складки на стенке носовых проходов около дыхала) (Белькович, Дубровский, 1976).

Передающий механизм эхолокационного аппарата очень сложно устроен. Главную роль в нем играют воздушные мешки, связанные с носовым каналом и расположенные в

мягких тканях головы над костными ноздрями. У разных видов китов и дельфинов воздушные мешки устроены по-разному (Cranford, Amundin, 1996).

Верхние мешки при издавании звуков могут играть роль вместилищ, из которых воздух под большим давлением за счет действия мышц в одних случаях вырывается наружу через узкую щель едва приоткрывающегося клапана дыхала, а в других – поступает в нижележащие мешки (Белькович, Дубровский, 1976).

Ученые связывают механизмы излучения звуковых сигналов не только с воздухоносными мешками, но и с пневматическими синусами слуховой области: произведенный щелчок возбуждает в системе воздушных синусов и мешков резонирующие колебания высоких частот (Белькович, Дубровский, 1976). Мешки под влиянием сокращения мышц дыхала могут изменять размер и форму, изменяя частотно-временные параметры свистов и щелканий (Walter-Zimmer, 2014). Все мешки, вне зависимости от их количества, работают с помощью сложной системы носо-челюстных мышц. Эти механизмы генерации создают чрезвычайное многообразие излучаемых звуков в водной и воздушной среде (Cranford, Amundin, 1996).

Важной особенностью генерации звуков является то, что левая и правая части звукосигнального аппарата могут действовать независимо: правая – издавать свист в воздухе или под водой, а левая – щелчки (Томилин, 1974).

Некоторые акустические сигналы зубатого кита белухи представляют собой комбинацию двух сигналов разных типов – тонального сигнала и импульсного тона. Такое акустическое явление, т.е. присутствие в спектре звука двух независимых частот называется бифонацией (Беликов, Белькович, 2006). Это доказывает, что у зубатых китов имеется не менее двух независимых источников звуков либо имеет место способность левой и правой части звукосигнального аппарата действовать независимо друг от друга.

1.2. Питание

Белухи употребляют в пищу кальмаров, осьминогов, крабов и креветок. Обычно их поиск осуществляют в мелководных зонах на дне, на глубине до 500 метров, в крайних случаях могут опускаться на глубину до 1000 метров (Супин, 2002, Simon M., Stafford, 2010). Продолжительность пребывания под водой во время поиска пищи может составлять до 20 минут. Однако обычно белухи выныривают каждые 3-5 минут (Арсеньев, 1939). Животные в день съедают количество пищи примерно равное 3 % от общей массы тела. Им присущи разные способы питания. Наиболее характерной формой пищевого поведения можно считать «высасывание» пищи с донной поверхности (Клейненберг, Яблоков, 1964).

1.3. Размножение и поведение. Особенности репродуктивных скоплений

Размножение белух происходит главным образом в открытых водах северных морей. Период спаривания длится около 6 месяцев, но основная масса самок оплодотворяется в относительно короткие сроки — конец апреля — начало мая (Белькович, 2004). В конце весны и практически до конца лета животные формируют так называемые репродуктивные скопления, которые являются традиционным местом общения, рождения и обучения детенышей и спаривания (Krasnova, 2003). Такое скопление белух вблизи берега обеспечивает оптимальные условия жизни, рождения и выкармливания детенышей. Продолжительное совместное пребывание детенышей и родителей обеспечивает процесс передачи индивидуального опыта от взрослых молодым особям (Eisenberg, 1977).

Кроме того, есть и другие виды поведения животных у берега, в настоящее время недостаточно изученные (Smultea, Dagmar, 2017). Например, животные в течение всего сезона часто опускаются на определённый участок дна и трутся об него своим телом (Aubin, Smith, 1990). Предполагается, что характер донного грунта этого участка обеспечивает процесс летней линьки животных, но возможно здесь происходит и их общение, форма которого человеком ещё не познана — ведь другие аналогичные участки дна животные по каким-то причинам для линьки не используют (Краснова, 2007).

Характерной чертой репродуктивного скопления является то, что в первой половине лета оно состоит преимущественно из самок и их детей разного возраста. В это время происходит рождение детенышей (Doty, 1976). Во второй половине лета к самкам с детёнышами присоединяются самцы, приходящие, в основном, из Арктики, где они проводят зиму (Alekseeva, Panova, 2013). Самцы оставляют это море к осени и мигрируют на север, где проводят зиму в более суровых условиях среди арктических льдов. Многие из них там погибают, не найдя полыньи для дыхания после шторма, или от лап белых медведей, которые сторожат их у разводий и могут убить ударом лапы по голове. На открытой воде на них могут охотиться косатки (Krasnova, 2003). Самки Белое море не покидают. По мнению В.В.Красновой более спокойное по сравнению с другими северными морями и не замерзающее полностью Белое море дает возможность самкам и молодым животным пережить зиму благополучно. (Krasnova, 2007).

Кроме того, детеныши рождаются без такого толстого слоя жира, который есть у взрослых (около 15 см толщиной), поэтому летом им необходимо какое-то тепло, чтобы расти и развиваться, готовиться к суровой северной зиме. Жирное молоко матери (более

35%) обеспечивает их быстрый рост и создание защитного жирового слоя. Нарушение этого цикла является критическим для вида (Краснова, Чернецкий, 2014).

Привязанность локальных стад к определенным районам может быть следствием привязанности детенышей к местам, в которых они родились. (Krasnova, Bel'kovich, 2006). Детеныши, долгое время находящиеся в скоплении вместе с матерями, запоминают основные места обитания (Smith, Hammil, 1994).

Предположительно, самцы находятся в репродуктивных скоплениях не столько с целью осуществления репродуктивной функции, сколько для поддержания ими своего регулярного социального статуса (Castellote, Leeny, 2013). В контексте социальной роли особей различных возрастов и полов, иерархическая структура белух изучена довольно слабо (Краснова, Чернецкий, 2014).

Таким образом, можно считать, что главной функцией репродуктивных скоплений является осуществление активных социальных взаимодействий между животными разных полов и возрастов (Белькович, 2006). Важной составляющей является также обучение и социализация молодых животных. Кроме того, в акваториях замечено наличие благоприятных условий для синхронной линьки животных, групповой защиты от хищников и выращивания сеголеток (Krasnova, Chernetsky, 2012).

1.4. Распространение и популяции белухи

Распространены белухи циркумполярно, в высоких широтах Арктики. Предпочитают холодные воды, часто держатся вблизи льдов.

В России - от Баренцева и Белого до Чукотского и Берингова морей, а также в Охотском море (Белькович, Щекотов, 1987).



Рис. 3. Зеленым цветом выделен ареал, красным цветом отмечены наиболее изученные места скопления белух (*D. leucas*) (Баранов, Белькович, 2004).

Существуют резидентные популяции, занимающие строго определенный ареал (например, белухи, обитающие в эстуарии р. Св. Лаврентия, проливе Кука и некоторые другие популяции), в то время как другие популяции – мигрирующие (Belikov, Bel'kovich, 2005). В последнем случае миграции носят сезонный характер. Перемещения белух зависят преимущественно от динамики ледового покрова и распределения основных объектов питания (Faucher, 1988). Когда прибрежные воды покрыты льдом, они обитают преимущественно вдали от берегов. Весной, по мере того, как прибрежные акватории освобождаются ото льда, белухи подходят к берегу, где проводят летние месяцы (Castellote, Tregenza, 2009).

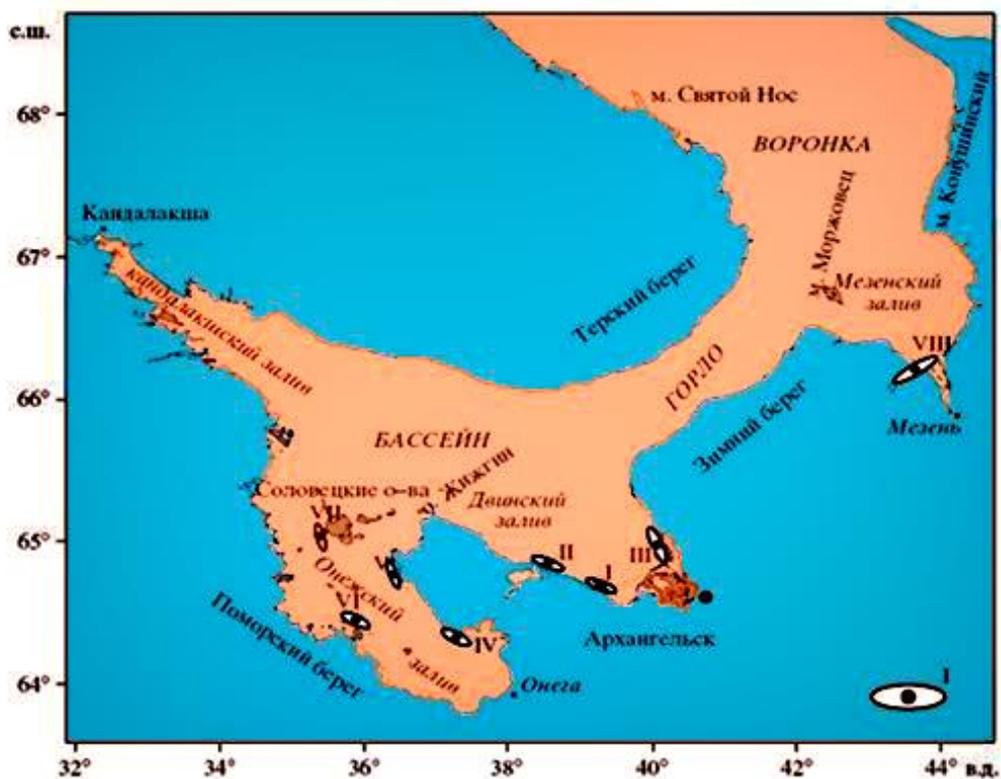


Рис. 4. Распределение белухи в Белом море по данным авиаразведки

I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII - районы обитания локальных стад (Баранов, Белькович, 2004).

В Белом море выделяют 8 основных мест летних обитаний (рис. 4): три в Двинском заливе (в районе Солза – Ненокса (I), Унской губе (II) и у о. Мудьюг (III)), четыре в Онежском заливе ((у м. Глубокий (IV), м. Чесменский (V), у о. Мягостров (VI)) и на границе Онежского залива и Бассейна у о.Соловецкий (VII) и в Мезенском заливе в районе устья реки Кулой (VIII) (Адрианов и др., 2009).

Данный вид является широко распространенным и самый многочисленным в Арктике видом зубатых китообразных, являющихся традиционным объектом промысла аборигенов Севера (Клейненберг, Яблоков и др., 1964).

Что касается содержания животных в неволе, здесь можно отметить сложность создания для дельфинов комфортных условий (Hediger, 1950). При их содержании не всегда учитываются размеры животного, особенности питания, социальной структуры, обеспечение санитарных условий (Crandall, 1964).

Например, известно, что при помещении белухи в условия неволи она отказывается питаться, пассивно качается на поверхности или даже залегает на дне, избегая всяческих контактов, не желая употреблять готовую пищу (Супин, 2002). Оказалось, что

чрезвычайно сложной задачей содержания белух в неволе является процесс кормления. Выяснено, что на начальном этапе содержания в неволе животные не воспринимали рыбные продукты как источник пищи и категорически отказывались питаться (Hediger, 1955). В начале этапа по содержанию белух в неволе это приводило к катастрофическим последствиям, связанным с гибелью животных от истощения (Rose, 1975). И только принудительное питание специально подготовленной пищевой кашцей непосредственно в пищевод животных довольно быстро привело к освоению нового способа питания (Прайор, 1995). И только после этого животные приучились принимать рыбные продукты при подаче непосредственно в ротовую полость, и впоследствии к самостоятельному питанию (Прайор, 1995).

Белухи, помещенные в ограниченные бассейны или тэнки, испытывают недостаток физических нагрузок, так как в своей естественной среде они проплывают огромные расстояния. Кроме того, известны случаи самоубийства китообразных, например, когда дельфин просто ложился на дно, закрывал дыхало и умирал от удушья. Или выбрасывался на берег за пределы бассейна, а также бился головой о стенки бассейна, чтобы умышленно нанести себе увечья (Hediger, 1955). Иногда может понадобиться довольно долгое время для того, чтобы адаптировать животное к условиям неволи. Одним из основных представлений об биологических особенностях содержания дельфинов в неволе является наблюдение признаков сенсорной депривации (Hediger, 1975).

Рожденные в неволе малыши часто не могут нормально существовать: врожденные инстинкты не реализуются (Rose, 2006). Например, проведенные мной наблюдения показали, что новорожденный малыш часто наносит себе увечья, натываясь на стенки бассейна. Видимо это происходит от того, что в естественных условиях не существует каких-либо пространственных ограничений для его перемещения. Не стоит забывать о том, что белухи являются высокоорганизованными животными со сложной социальной структурой, поэтому попадая в условия неволи, они страдают от разрыва связи со своими сородичами, что приводит к проявлениям депрессии (Wilson, 1975). Например, описан случай, когда рожденный детеныш белухи, рожденный в 2012 году в океанариуме в Джорджии, с самого рождения отказывался кормиться и не проявлял признаки жизненной активности (дельфинарий – «хлорированная тюрьма»).

Кроме того, вода в бассейнах, как правило, очень низкого качества и содержит большое количество химических веществ, которые используются для того, чтобы снизить процесс интоксикации китообразных собственными отходами жизнедеятельности (Hediger, 1969).

Глава 2. Различные способы коммуникации и ориентации китообразных

Коммуникация животных (биокоммуникация, общение животных) – система информационных связей между животными устанавливаемых посредством передачи отправителем и приема получателем (-ями) сигналов, несущих определенную информацию (сообщение) (Kleiman, 1977). Коммуникация животных облегчает совместный поиск пищи, благоприятных условий обитания, защиту от врагов и вредных воздействий, встречу особей, их взаимодействие, связь детей и родителей, формирование групп, регуляция территориальных и иерархических отношений между особями одного или разных видов, т.е. является эффективным способом максимизации индивидуальной приспособленности животных и повышения условий выживания (Wilson, 1975).

Ориентация животных - биоориентация, способность животных определять свое положение в пространстве, среди особей того же или другого видов (Хлебникова, 2011). Ориентация животных - сложный процесс, включающий получение информации о внешнем мире по разным каналам связи (рецепторным системам), ее обработку, сопоставление в центральной нервной системе и формирование ответной реакции. Причем обработка сигналов состоит из распознавания образа и определения положения источника сигнала по отношению к организму (Сергеев, 1980). Способы ориентации - результат приспособленности к определенным экологическим условиям, в зависимости от которых у конкретных групп животных преимущественное развитие имеют те или иные механизмы и системы получения информации о внешнем мире (Watkins, 1985).

Подобно человеку, животные обитают в весьма сложном мире, наполненном множеством информации и контактов с разнообразными объектами живой и неживой природы (Клейман, 1983).

Чтобы достаточно хорошо ориентироваться в окружающем пространстве животные используют различные способы ориентации, для того чтобы общаться друг с другом и с другими животными – различные средства коммуникации (Хлебникова, 2011). То есть, можно говорить о том, что это принципиально разные биологические задачи, хотя можно сказать, что в некоторых случаях каналы, при помощи которых осуществляются эти виды взаимодействий, могут перекрываться (Клейман, 1983).

Среди основных видов коммуникации можно выделить химическую коммуникацию, например, распознавание подходящих партнеров по спариванию на основе запаха; тактильную коммуникацию – выражение симпатии или антипатии, как правило, среди особей одного вида, часто в отношениях мать-детеныш, особенно на ранних стадиях

развития; визуальный контакт – распознавание свой – чужой на основе визуальных признаков, а также акустический канал, который может быть использован практически при любом виде взаимодействий (Watkins, 1985).

Звуковой канал имеет для животных совершенно особое значение. Для того, чтобы получить информацию при помощи языка поз и телодвижений, животные должны видеть друг друга (Белькович, 2004). Язык запахов предполагает, что животное находится поблизости от того места, где находится или побывал другой зверь. Преимущество языка звуков состоит в том, что он позволяет зверям общаться, не видя друг друга, например, в полной темноте и на большом расстоянии (Клейман, 1983). Важнейшей особенностью языка животных является его эмоциональный характер. Азбука этого языка включает команды по типу: "Внимание!", "Осторожно, опасность!", "Спасайся, кто может!", "Убирайся прочь!" и т.п. Смысловое значение большинства сигналов животных носит вероятностный характер в зависимости от ситуации (Хлебникова, 2011).

Таким образом, язык большинства животных - это совокупность конкретных сигналов - звуковых, обонятельных, зрительных и т.д., которые действуют в данной ситуации и произвольно отражают состояние животного в данный конкретный момент (Rendell, Whitehead, 2001).

Основная масса сигналов животных, передаваемых по каналам основных видов коммуникации, не имеет непосредственного адресата. Этим естественные языки животных принципиально отличаются от языка человека, который функционирует под контролем сознания и воли (Michaud, 2005).

Сигналы языка животных строго специфичны для каждого вида и генетически обусловлены. Они в общих чертах одинаковы у всех особей данного вида, а их набор практически не подлежит расширению. Сигналы, используемые животными большинства видов, достаточно разнообразны и многочисленны (Хлебникова, 2006).

2.1. Химическое взаимодействие

Взаимодействие, в основе которого лежат различные химические процессы, является довольно распространенным среди многих морских организмов (Mann, Whitehead, 2000).

Химический тип взаимодействий был одним из наиболее характерных у наземных предков китообразных, однако среди современных видов он встречается довольно редко (Herman, Tavalga, 1980). Обонятельные луковицы и связанные с ними обонятельные нервы, которые отвечают за восприятие запахов (преимущественно в воздушной среде), редуцированы у усатых китов и отсутствуют полностью у зубатых (Mann, Whitehead, 2000).

Очень мало известно о способности зубатых китообразных, в том числе и белух, к восприятию химических веществ, растворенных в воде, а также находящихся в воздухе (Krasnova, Bel'kovich, 2009). Большинство экспериментов с китообразными были направлены на выявление у них способности к восприятию сладкого, соленого, кислого или горького вкуса. В результате было обнаружено, что чувствительность к вкусу у китообразных на порядок ниже, чем у людей (Mann, Whitehead, 2000).

Кроме того, был сделан ряд предположений относительно использования феромонов китообразными, благодаря наличию у них анальных желез, которые, предположительно, могли бы быть ответственными за выделение феромонов (Finneran, Carder, 2010).

Предполагалось, что за счет выделения этими железами феромонов, самец дельфина может определить стадию репродуктивной зрелости самки (Lomas-MacNair, Smultea, 2016).

2.2. Тактильная чувствительность и коммуникация

Прикосновения играют довольно важную роль при взаимодействии китообразных (Rendell, Whitehead, 2001). В результате процесса эволюции у большинства видов китообразных можно наблюдать лишь остаточные волосяные фолликулы, расположенные на роstrуме или верхней челюсти (Клейненберг, Яблоков, 1964). Кожные покровы китообразных хорошо иннервируются и высокочувствительны к прикосновениям (Lomas-MacNair, Smultea, 2016).

Нервные окончания особенно густо расположены в дерме в области глаз, дыхала, челюстей, плавников, наружных половых органов, а также в области промежности (Белькович, Дубровский, 1976). В результате многочисленных исследований было выявлено, что эти области обладают таким же уровнем чувствительности, как кожа человека на губах и кончиках пальцев (Rendell, Whitehead, 2001).

Высокая тактильная чувствительность, свойственная китообразным, позволяет им тонко чувствовать движение водной среды, создаваемое за счет волнообразования, течений или при наличии движущихся объектов, вызывающих гидродинамические возмущения (Белькович, Дубровский, 1976). Благодаря этому в группе движущихся особей устанавливается дистанционный контакт, необходимый для согласованных движений группы. Тактильное восприятие гидродинамических возмущений может быть использовано китообразными и для обнаружения объектов охоты, их преследования и захвата (Белькович, Дубровский, 1976).

Дельфины и киты проявляют тактильные контакты, поглаживая друг друга грудными плавниками или путем трения одной особи о другую всем телом (наиболее часто замечено

трение детеныши о материнскую особь) (Белькович, Дубровский, 1976). В период скопления особей примерно одна треть китообразных в стаде бывает вовлечена в подобный тип взаимодействий. Трение особей друг о друга, очевидно, играет очень большую роль при установлении между особями аффилиативных взаимодействий, и несет функцию схожую с чисткой, имеющей место среди приматов (Herman, Tavoilga, 1980).

2.3. Визуальный контакт

Многие китообразные имеют хорошо развитое зрение. Считается, что в водной среде в условиях ограниченной дальности видения зубатые киты используют зрительный анализатор для ориентации в пространстве, поиска, разведки и добычи объектов питания (Rendell, Whitehead, 2001).

Глаза китообразных имеют специальные анатомические адаптации, что позволяет им видеть над водой так же хорошо, как и в водной среде (Белькович, Дубровский, 1976).

Часто можно наблюдать, как китообразные поднимают голову над водой и осматривают объекты вокруг (Супин, 2002). Такое поведение используется с целью идентификации объектов над водой. Предположительно, зубатые киты используют зрительный анализатор для поиска добычи, разведки и ориентации в пространстве (Иванов, 2004). При помощи зрения они могут различать, что они видят: движущиеся или статические объекты, также они превосходно могут определить точное расстояние до объекта (Watwood, Owen, 2005). Китообразные над водой пользуются зрением преимущественно при свете дня и на близких расстояниях (Mann, Whitehead, 2000). Об остроте зрения китообразных может свидетельствовать следующий факт: многие бутылконосые дельфины подбрасывают рыбу при помощи удара хвостового плавника, после чего могут очень точно отследить траекторию ее полета и перехватить добычу прямо в воздухе, до того, как рыба коснется воды (Macaulay, Gordon, 2017).

Многие виды китообразных используют наглядные визуальные сигналы для взаимодействия друг с другом (быстрое движение головы как угрожающий сигнал для соперника, рывки головой, открывание рта, удары хвостового плавника о поверхность воды и др.) (Mann, Whitehead, 2000).

Кроме того, среди китов и дельфинов наблюдается такое явление как продуцирование пузырьков под водой, которое является довольно распространенным, особенно среди зубатых китов, и, возможно также несет сигнальную функцию (Mann, Whitehead, 2000). Обычно пускание пузырьков сопровождается богатой акустической сигнализацией (Mooney, Manuel Castellote, 2016). Часто пускание пузырьков является проявлением агрессивного поведения, либо своеобразной защитной стеной, помогающей дельфинам

скрываться от хищника (Wartzok, 1985). Несмотря на богатство использования различного вида визуальных сигналов и развитого зрительного анализатора использование их ограничено низкой освещенностью в ночное время и низкой прозрачностью водной среды (Pourhomaoun, Dugan, 2013). Однако исходя из физических основ среды обитания акустические сигналы идеально пригодны для использования в водной среде и поэтому используются китообразными (Mooney, Castellote, 2016).

В результате приспособления к водной среде у китообразных модифицировались сенсорные системы (Walter-Zimmer, 2014). Физические свойства морской среды сильно повлияли на информационную полезность различных сенсорных систем (Очаковский, Копелевич, 1970). Например, оптический канал связи в воздушной среде крайне ограничен. Среди способов передачи информации на большие расстояния в водной среде, бесспорным преимуществом обладает ориентация и коммуникация при помощи звука (Белькович, Дубровский, 1976).

Например, установлено, что киты могут слышать друг друга на расстоянии сотен километров, однако видят друг друга в воде на расстоянии не более десятков метров (Белькович, Дубровский, 1976). Это означает, что слуховой анализатор может быть более важным, чем зрительный, особенно когда речь идет о передаче информации на большие расстояния (Small, Brost, 2017).

2.4. Акустическая ориентация и коммуникация китообразных

Акустический канал связи является ведущим для всех видов китообразных, в том числе и для белух при получении информации об окружающем пространстве (Panova, Belikov, 2012). Кроме того, данный канал обеспечивает ряд специфических функций, например, общение с сородичами с целью осуществить более четкое слаженное взаимодействие, а также передачу собственного эмоционального состояния (Luske, Popper, 2016). Кроме того, считается, что благодаря разнообразию акустического репертуара не только в пределах семейства, но также в пределах рода и даже вида, китообразные довольно четко способны идентифицировать индивидов, входящих в состав группы (Gonzalez-Hernandez, Sanchez-Fernandez, 2017). В последнее время все чаще стали наблюдаться случаи, когда различные виды китообразных способны копировать акустический репертуар друг у друга (Gonzalez-Hernandez, 2017).

Среди водных млекопитающих бесспорным чемпионом по испусканию звуковых сигналов является белуха. Звуки, издаваемые этими дельфинами, описываются человеком как стоны, пiski, скуление, свист, лай, визг, мяуканье, скрип, щелчки, чириканье, похрюкивание, пронзительные крики, а также как напоминающие шум моторной лодки, скрип ржавых петель и т.п. Эти звуки состоят из непрерывной серии вибраций на частотах от 3000 до более чем 200000 Герц (Garland, Castellote, 2015).

Дельфины, несомненно, общаются друг с другом. Когда дельфин издает короткий унылый свист, а за ним свист высокий и мелодичный, это означает сигнал бедствия, и другие дельфины немедленно приплывают на помощь (Krasnova, Chernetsky, 2014). Детеныш всегда отвечает на адресованный ему свист матери. Когда дельфины рассержены, они "лают", а тьявкующий звук, издаваемый только самцами, как полагают, привлекает самок (Finneran, Carder, 2010).

Киты постоянно издают такие звуки, как щелканье, скрип, вздохи на низких тонах, а также нечто подобное скрипу ржавых петель и приглушенным ударам (Watwood, Owen, 2005). Считается, что многие из этих звуков есть не что иное, как эхолокация, используемая для обнаружения пищи и ориентации под водой. Они также могут быть средством поддержания целостности группы (Simon, Stafford, 2010).

Традиционно звуки, издаваемые китообразными, разделяются на две большие категории, согласно биологическому значению и параметрам Alekseeva, Panova, 2013):

- 1) эхолокационные

2) коммуникационные

Эхолокационные сигналы выполняют преимущественно функцию ориентации китообразных в пространстве, тогда как коммуникационные способствуют взаимодействию особей друг с другом в пределах группы и несут коммуникативную функцию (Беликов, Белькович, 2007).

Несмотря на видимую простоту данной функциональной классификации, точное назначение сигнала удастся определить далеко не всегда, так как, некоторые сигналы могут выполнять двойную функцию (Белькович, Панова, 2010).

2.4.1. Локация. Эхолокационные сигналы и их характеристики

Ориентация в пространстве представляет собой процесс определения своего местоположения при помощи какой-либо системы отсчета (Хлебникова, 2011).

Для нахождения своего местоположения в пространстве необходимо локализовать себя и окружающие предметы в определенной точке. В результате этой операции организм определяет форму и величину окружающего пространства и его заполненность (Hauser, Laidre, 2017).

В процессе ориентации осуществляется восприятие пространства, сличение воспринятого с имеющимися представлениями и определение взаиморасположения животного и окружающих его объектов. Сложившаяся на основе условно рефлекторной деятельности мозга единая для организма система отсчета, благодаря которой он ориентируется, отражает трехмерность пространства и представляет собой систему направлений от какой-либо точки отсчета, которой может быть, как собственное тело, так и любой из окружающих его объектов (Белькович, 1976). Различение направлений, из которых складывается система отсчета - впереди-сзади, справа-слева, вверху-внизу и промежуточные - формируется на основе выработки двигательных дифференцировок, связанных с показаниями органов чувств (Walter-Zimmer, 2014). Система отсчета образуется в результате чувственного, практического различения пространственных отношений, за которыми впоследствии закрепляются обозначения (Gordon, Gillespie, 2017).

Ориентацию в пространстве можно определить, как процесс решения трех задач, которые принято называть “обнаружение цели”, “выбор направления”, “сохранение направления” (Беликов, 2006). Решение этих задач необходимо для ориентации в любом пространстве - для ближней ориентации в малом пространстве, когда непосредственно воспринимаются ориентиры, по которым определяется положение, и для дальней

ориентации в большом пространстве, когда ориентиры находятся вне зоны восприятия (видимости, слышимости, осязания) (Rendell, Whitehead, 2001).

Локация (от лат. *locatio* — размещение, положение) — определение местонахождения чего-либо. Она может быть активной и пассивной.

Пассивная локация - определение пространственных координат источника звука. Сигналы, используемые при пассивной звуколокации не имеют ограничений по параметрам.

Характеристики локализации источника при пассивной локации определяются свойствами среды и характеристиками акустического приемника.

Активная локация (или эхолокация) требует наличия источника, зондирующих звуковых сигналов, так как для локализации в пространстве окружающих объектов используется отраженный эхо-сигнал (Айрапетьянц, Константинов, 1974).

Так же, как и при пассивной звуколокации, характеристики эхолокации определяются акустическими свойствами среды и характеристиками акустического приемника. Но важнейшее значение при эхолокации имеют параметры излучаемых локационных сигналов (Watwood, Owen, 2005). От их значения зависят такие показатели эхолокации, как предельные границы дальности обнаружения целей, точность определения их координат по дальности и направлению, пространственная разрешающая способность, распознавание объектов, определение относительных и абсолютных параметров движения целей в пространстве, скрытность и помехоустойчивость, и возможность локации множества целей (Айрапетьянц, Константинов, 1974).

Зондирующий импульс характеризуется следующими параметрами: амплитуда, длительность, частота повторения, частотный диапазон, спектральный состав (Беликов, Белькович, 2006).

Параметры зондирующих сигналов должны соответствовать принципам эхолокации и обеспечивать оптимальные показатели эхолокации при решении различных локационных задач в динамическом процессе их изменения (Caldwell, Caldwell, 1968).

Отличительной особенностью эхолокации в водной среде является высокая скорость распространения звуковых волн (в 5 раз выше, чем в воздухе), и относительно малое поглощение энергии звуковой волны с расстоянием (Беликов, 2006). Эти свойства водной среды накладывают жесткие требования к амплитудным переменным и спектральным параметрам зондирующих импульсов эхолокационного аппарата. Именно это определило использование китообразными в качестве локационных сигналов предельно коротких широкополосных импульсов-щелчков в частотном диапазоне до 150-200 кГц (Белькович, Щекотов, 1987).

2.4.2. Коммуникационные сигналы

Под коммуникацией в животном мире понимают передачу сигналов с целью влияние поведения одного животного на поведение влияния другого (Белькович, Дубровский, 1976). Коммуникационное взаимодействие - внутривидовое и межвидовое - поддерживает популяционную и биоценотическую структуру, обеспечивает контакты между животными и их согласованное поведение (Клейман, 1983). Благодаря коммуникации животные получают информацию об окружающем пространстве, используют опыт, накопленный в популяции предшествующими поколениями (Wilson, 1975). На основе коммуникации формируется взаимная групповая ориентация, которая играет важную роль в поисках и добывании пищи, как средство согласования действий отдельных членов стада при защите от врагов и при дальних миграциях (Арсеньев, 1939). Сложная структура территориальных отношений в популяции также поддерживается с помощью коммуникации (Белькович, Щекотов, 1987).

В целом система коммуникации животных состоит из разных каналов связи. Звуковая система имеет ряд преимуществ: звуковой сигнал помехоустойчив, не зависит от времени суток, действует на большие расстояния, с помощью него можно передать большие объемы биологической информации (Herman, Tavalga, 1980).

Звуками сопровождаются практически все сложные жизненно важные ситуации, включая опознавание видового партнера, спаривание, воспроизведение потомства, пищевые, территориальные, групповые отношения, оповещение об опасности, агрессивное поведение и т.д. (Баранов, Белькович, 2004). Чтобы выполнить данные задачи, коммуникационному сигналу необходимо обладать следующими параметрами.

1. Сигнал должен быть достаточно длительным. Чем длиннее сообщение, тем больший объем информации оно может передать (Айрапетьянц, Константинов, 1974).

2. Сигнал должен иметь определенный частотный диапазон (ширину спектра), также определяющий объем передаваемой информации (Айрапетьянц, Константинов, 1974).

3. Должен быть таким, чтобы получатель информации (приемник) мог локализовать местоположение источника информации (Айрапетьянц, Константинов, 1974).

В ряде случаев, существуют значительные трудности при отнесении сигнала к тому или иному функциональному типу из-за внешней схожести между собой и их определение возможно только при точной оценке всех параметров сигнала (Panova, Belikov, 2012). Согласно последним исследованиям, некоторые типы сигналов различного частотного диапазона могут сочетаться между собой, комбинируясь, при этом приобретая новое смысловое значение. Это явление носит название бифонации (Белькович, Беликов, 2006).

Такое явление ранее встречалось среди других видов китообразных, но у белух было обнаружено относительно недавно (Pourhomayoun, Dugan, 2013).

2.4.3. Типы акустических коммуникационных сигналов

Традиционно, у белух выделяют следующие типы акустических коммуникационных сигналов (Беликов, Белькович, 2007):

1) длительные тональные сигналы (или свисты)

а) высокочастотные

б) низкочастотные

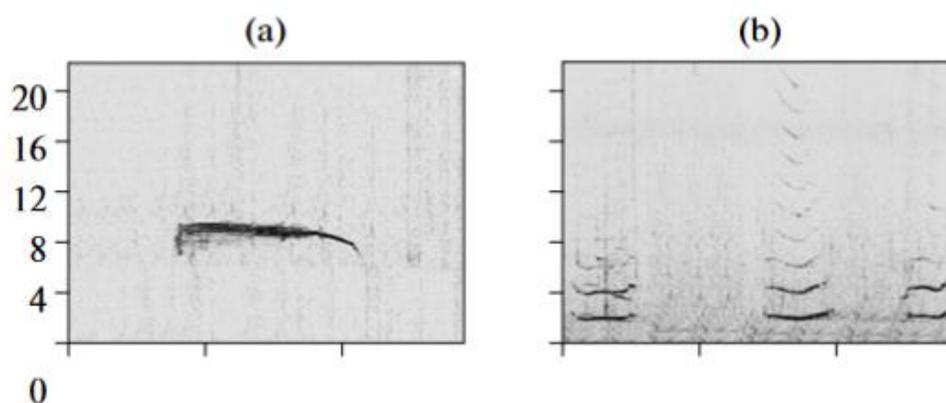


Рис. 5. а – высокочастотный тональный сигнал (свист), б- низкочастотный тональный сигнал (свист). По оси абсцисс обозначена частота (Hz) по оси ординат – время (мс) (Беликов, Белькович, 2007).

2) короткие импульсно-тональные (Рапова, Belikov, 2012).

а) с высокой частотой следования импульсов

б) с низкой частотой следования импульсов

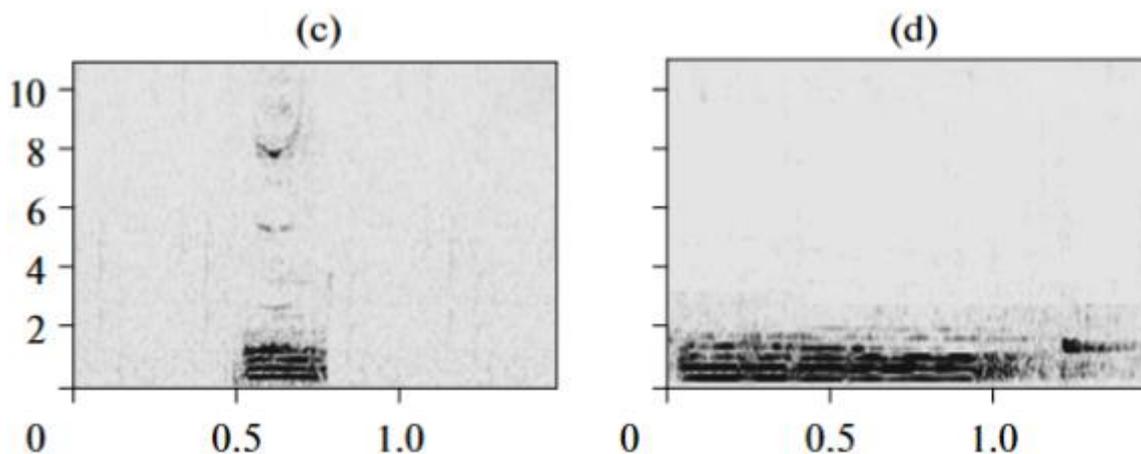


Рис. 6. с – короткие импульсно-тональные сигналы с высокой частотой следования импульсов, d – короткие импульсно- тональные сигналы с низкой частотой следования

импульсов. По оси абсцисс обозначена частота (Hz) по оси ординат – время(мс) (Беликов, Белькович, 2007).

3) комбинированные (составные) тональные сигналы (Беликов, 2006).

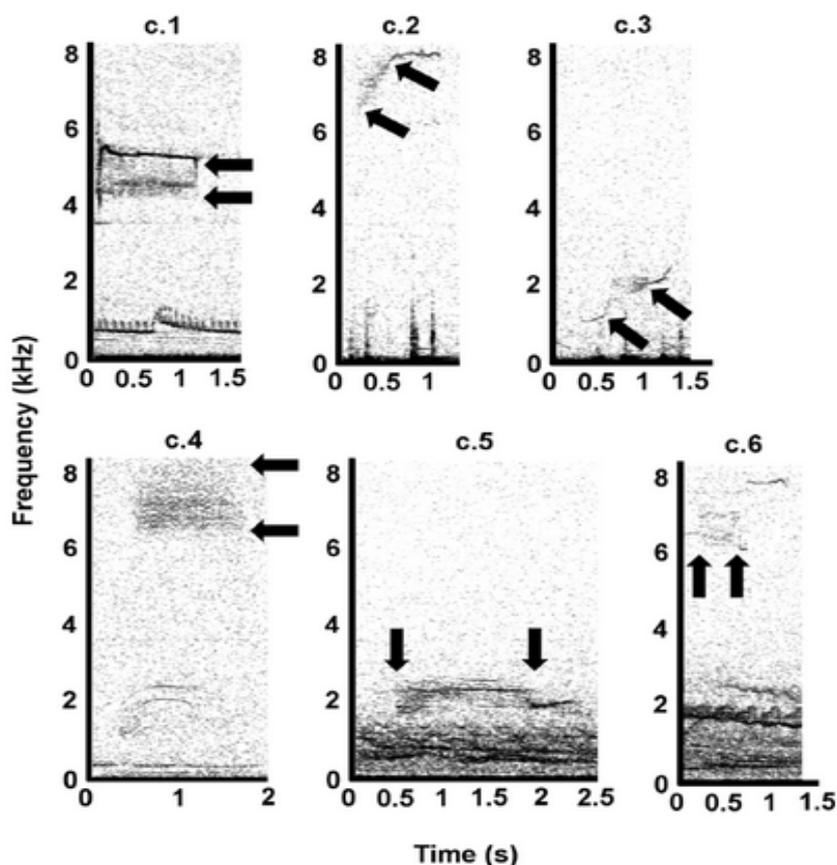


Рис. 7. Различные типы комбинированных сигналов (Matthews, Rendell, 1999).

2.4.3.1. Тональные сигналы (свисты)

К тональным сигналам относят непрерывные длительные сигналы с гармонической структурой или без нее. Граница, отделяющая тонально-импульсные сигналы от импульсных равна 1,4 кГц (Иванов, 2004). Такая частота следования импульсов является пороговой потому, что выше данной частоты белухи воспринимают сигнал как непрерывный (Беликов, Белькович, 2006).

Длительность тональных сигналов варьирует в пределах от 0,08 до 1,8 с (Иванов, 2004). Большинство типов свистов имеют гармоническую структуру, причем основная энергия чаще всего сосредоточена на первой гармонике (Белькович, Панова, 2010).

Большая часть свистов имеет простую форму частотного контура: уплощенную, слегка изломанную или плоскую (по крайней мере, по большей части сигнала). У частотно-модулированных сигналов число точек перегиба частотного контура может достигать 56 на сигнал (Беликов, Белькович, 2006).

Распределение частот обычно неравномерно. Свисты условно разделяют на низкочастотные (частота основного тона ниже или равно 5.0 кГц) и высокочастотные (частота основного тона больше 5.0 кГц) (Беликов, 2006). Длительность высокочастотных свистов составляет от 0,11 до 1,79 с. Наиболее часто сигналы имеют длительность от 1,2 до 1,5 с. Длительность низкочастотных свистов составляет от 0,08 до 1,54 с в диапазоне частот от 200 до 5000 Гц (Белькович, Панова, 2010).

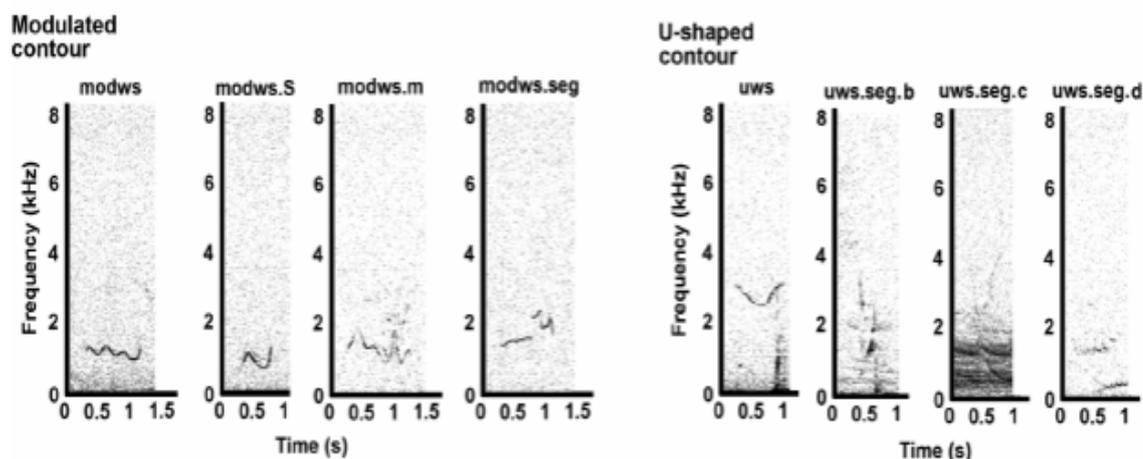


Рис. 8. Различные типы свистов (слева с модулированным контуром, справа с u-образным контуром (основано на классификации Sjare and Smith, 1986).

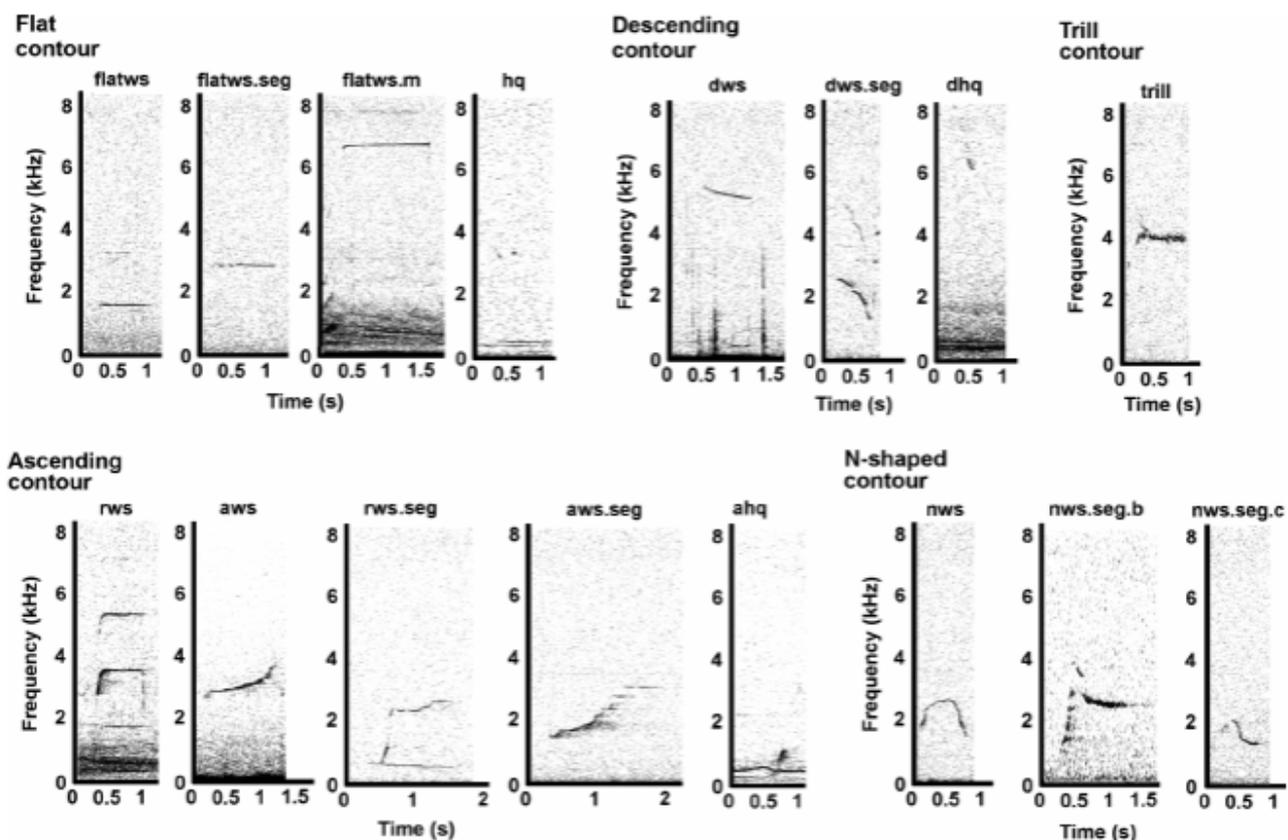


Рис. 9. Различные типы свистовых сигналов. Слева сверху – свистовые сигналы с плоским контуром, сверху справа с нисходящим контуром, снизу слева постепенно восходящим контуром, снизу справа – с N – образным контуром (основано на классификации Sjare and Smith, 1986).

2.4.3.2. Импульсно-тональные сигналы

К импульсным тонам относили сигналы в виде последовательности коротких импульсов с высокой частотой повторения, которые на динамической спектрограмме выглядели непрерывными, имели хорошо развитую гармоническую структуру с энергией, часто перенесенной на верхние гармоники, и с расстоянием между гармониками меньше 1,4 кГц (т.е. с частотой следования импульсов меньше 1400 имп/с) (Matthews, Rendell, 1999). Если на спектрограмме сигналы выглядели непрерывными и имели хорошо выраженную гармоническую структуру, но частота основного тона сигнала была меньше 1,4 кГц, то сигнал тоже считали импульсным. Импульсные сигналы делятся на две группы: импульсные тональные сигналы и серии импульсов.

К импульсным сериям относили сигналы, представленные на сонограмме в виде последовательности из отдельных коротких импульсов (Белькович, Панова, 2010).

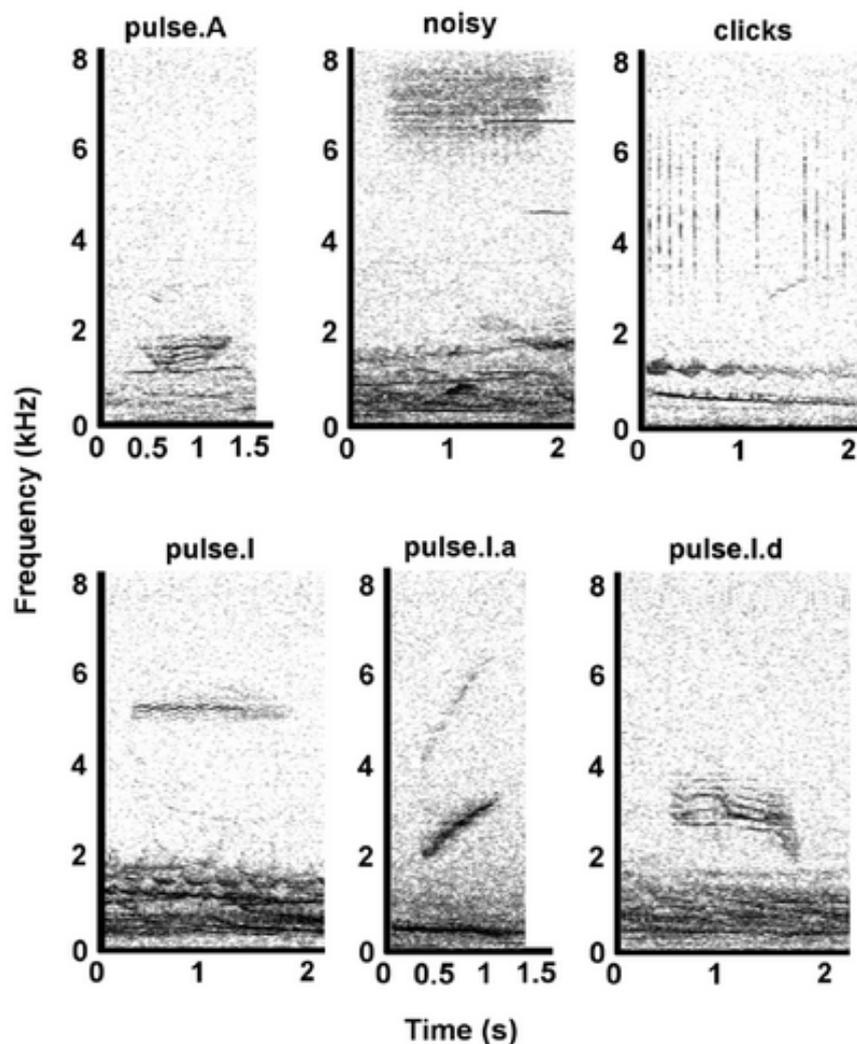


Рис. 10. Импульсные тональные сигналы различных типов (основано на классификации Sjare and Smith, 1986).

2.4.3.3. Комбинированные сигналы

К этой категории относят сигналы, представляющие собой устойчивое сочетание двух следующих друг за другом тональных звуков - высокочастотного и низкочастотного.

Бифонационные сигналы, нередко встречающиеся в вокальном репертуаре белух, обычно представляют собой комбинацию импульсного и тонального сигнала. Такие сигналы в отдельную категорию обычно не выделяют, а анализируют каждую компоненту по-отдельности (Белькович, Панова, 2010).

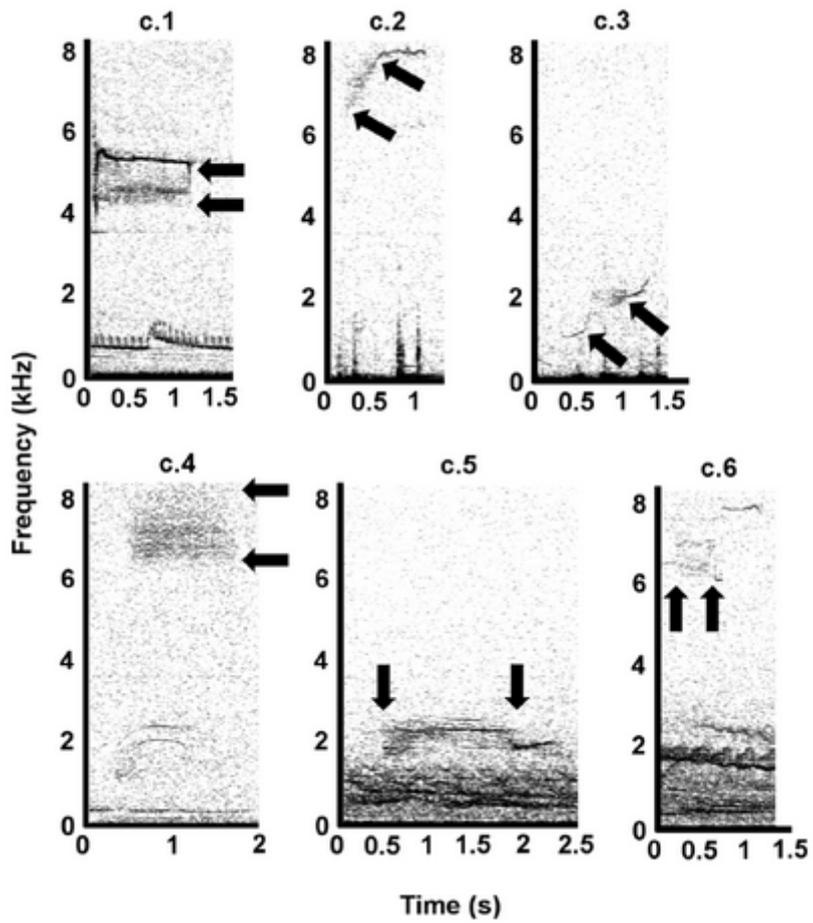


Рис. 11. Бифонационные (смешанные) сигналы различных типов (основано на классификации Sjare and Smith, 1986).

2.5. Новые методы исследования

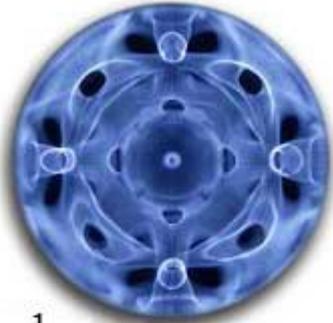
С середины прошлого века, акустический метод был одним из наиболее распространённых методов исследования поведения китообразных. Однако структурно-частотные характеристики коммуникационных сигналов настолько сложны, что традиционных методов анализа часто оказывается недостаточно для того, чтобы сделать абсолютно точные заключения о предназначении тех или иных сигналов и составить единую классификацию. Наибольшая проблема возникает при попытке сопоставить те или иные сигналы с какой-либо определенной формой поведения. В связи с этим в последнее время появились новые методы изучения акустики. Например, новейшие исследования Джека Кассевица позволяют визуализировать язык дельфинов при помощи аппарата, получившего название «Цимоскоп». Он впервые предложил гипотезу о том, что дельфины видят образами, так как у них зрительный и слуховой центр расположены в одной и той же области головного мозга. На сегодняшний день «Цимоскоп» - единственный в мире аппарат, позволяющий визуализировать звуковые сигналы (Наука и технология, 2011).

С точки зрения автора, распространяющийся звук следует рассматривать не просто как волны, а как расширяющийся «голографический» пузырь, который работает следующим образом. Каждая молекула воздуха, до которой дошли колебания, сама является источником волн и «содержит» всю информацию о звуке. Поместив в данную точку микрофон, можно восстановить полную пространственную картину распространения звуковых колебаний. Для звуков с частотой 20 Гц – 20 кГц этот голографический пузырь имеет приблизительно сферическую форму, на более высоких частотах превращается в конус или луч звукового «прожектора», при помощи которого дельфины обнаруживают объекты в воде. Тот же самый звуковой луч может служить у дельфинов и средством связи, всё зависит от характеристик издаваемых щелчков и свистов. Известно, что некоторые из них являются «именами», другая часть нужна для ориентирования, третья категория – слова языка. Как полагает американский биолог, свой язык дельфины воспринимают визуально, они скорее «видят» слова, так же, как с помощью эхолокации рассматривают предметы в мутной воде.

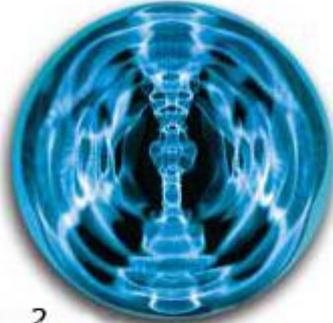
Первые эксперименты уже дали результаты: учёные обнаружили визуальное отличие в звуках, издаваемых взрослыми дельфинами и детёнышами (Наука и технология, 2011).

Эксперименты с использованием Цимоскопа показывают, что визуализация звуковых сигналов является перспективным способом понимания языка животных, что особенно

актуально для эхолокационных сигналов. Однако необходимо отметить, что в настоящее время все подобные аппараты еще имеют ряд изъянов и не являются достаточно прогрессивными для того, чтобы выводы, полученные с их помощью, можно было бы считать научными.



1



2



3



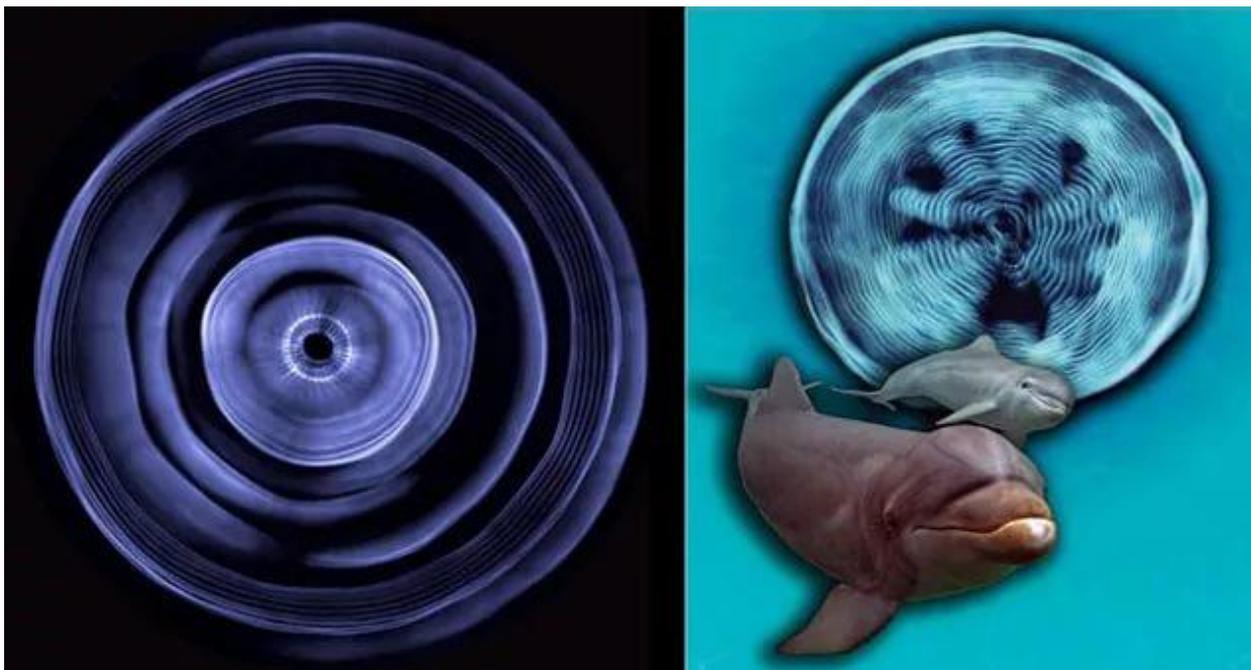


Рис. 12. Примеры картин, рисуемых SomaScore. Цвет добавлен для улучшения восприятия. 1 – «Фантазия» Стюарта Уильямса, 2 – альфа-ритм мозга, 3 – 9-я соната Бетховена, а также гармонические колебания разных частот (иллюстрации Sonic Age America) 4 – общение матери и детеныша дельфина афалины (Наука и технология, 2011).

Глава 3. Материалы и методы

3.1. Материалы

Объектом изучения являются белухи в период репродуктивного скопления в Белом море и белухи, содержащиеся в вольерах на базе Научно-образовательного комплекса «Приморский океанариум» на о. Русский, г. Владивосток.

3.1.1. Репродуктивные скопления в районе острова Мягостров, Белое море

Наблюдения за животными и регистрация акустического репертуара Мягостровского локального стада проводились в течении 2-х недель с 23 июня по 6 июля 2012 г. в районе островов Роганка – Голый Сосновец (64°24' N, 35°49' E), Онежский залив, Белое море (рис.11). Данное место является традиционным для изучения белух, начиная с конца прошлого века. В основном, в структуре данного скопления преобладают самки с детенышами (Smultea, Dagmar, 2017). Репродуктивное скопление вблизи о. Мягостров является одним из наиболее изученных в Онежском заливе. Здесь обеспечивается наилучший доступ к изучению локальных стад, так как белухи находятся в пределах видимости на открытой акватории (Alekseeva, Rapova, 2011). При этом исследователи получают доступ к наблюдениям за локальным стадом, не беспокоя животных. Условия также позволяют незаметно приближаться на лодках к животным на близкое расстояние, что улучшает качество наблюдений (Rapova, Belikov, 2012). Получается, что, с одной стороны, мы имеем чистую акваторию, которая минимально подвержена антропогенным воздействиям, а с другой стороны можем наблюдать белух в максимально естественных условиях. Кроме того, данная акватория относительно доступна для исследователей по сравнению с другими местами репродуктивных скоплений. До неё можно добраться на морском транспорте. Именно по этим причинам в конце прошлого столетия один из ведущих специалистов в области изучения белух В.М. Беликов организовал здесь научно-исследовательскую базу для изучения белух. С конца прошлого века здесь проводятся исследования сотрудниками лаборатории морских млекопитающих Института океанологии им. П.П. Ширшова. Записи проводились сотрудником данной лаборатории Беликовым Р.А.

Наблюдения ведутся с лодок, а также при помощи портативных летательных аппаратов.

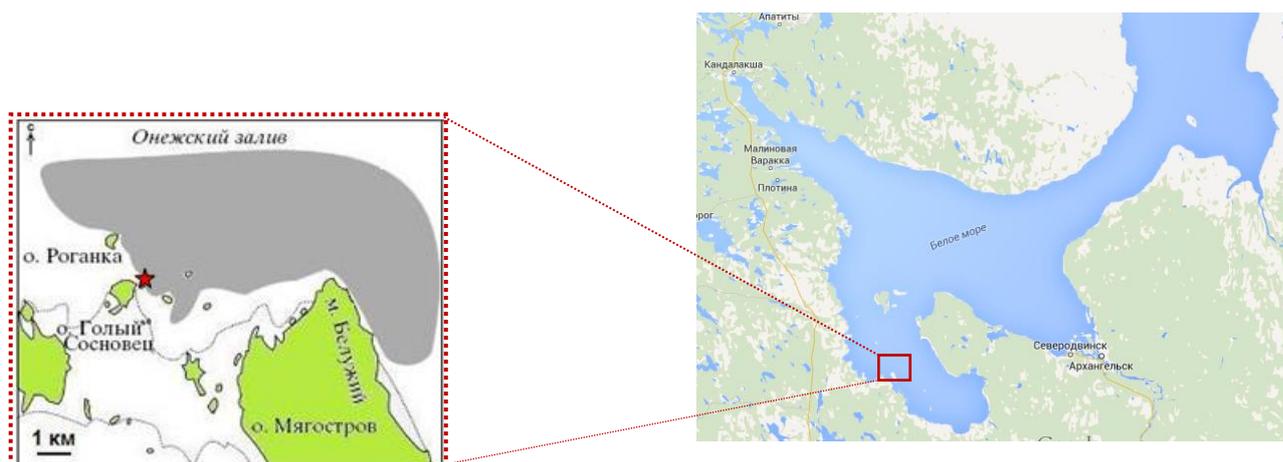


Рис. 13. Место записи акустических сигналов белух мягостровского стада (отмечено звездочкой).

* Акватория, занимаемая данным локальным стадом, закрашена серым цветом (материал предоставлен Беликовым Р.А.)

В течение исследуемого периода были сделаны записи акустического материала на базе, расположенной непосредственно на острове Мягостров. Численность стада белух Мягостровского репродуктивного скопления составляла около 50 взрослых особей и 30 детенышей разных возрастов. В этот период животные находились в акватории района островов Роганка – Голый Сосновец практически круглосуточно, однако в момент прилива они перемещались в сторону о-ва Мягостров, затем, в отлив возвращались обратно.

В наблюдаемый период животные были вовлечены в следующие типы взаимодействий:

1. перемещение животных плотной группой;
2. отдых животных или спокойное плавание у поверхности;
3. социальное поведение – игровое, половое, агонистическое поведение, взаимодействие матери и детеныша и др.;
4. исследовательское поведение (обследование гидрофонов);
5. поисково-охотничье поведение.

Было отмечено, что в течение суток происходят изменения в поведении животных. В дневное время отмечалась высокая активность белух по всем видам вышеуказанных взаимодействий. Особенно часто отмечались формы социального поведения, в целом доминирующего в данном типе скопления. Все виды взаимодействий сопровождалась активной вокализацией.

Исходя из визуальных наблюдений, в вечернее время, когда происходит постепенное уменьшение освещенности, активность животных начинала постепенно снижаться.

Животные перемещались вяло, активных движений практически не совершали. Считается, что в ночное время животные отдыхают, пассивно плавая по поверхности воды. Достоверно это подтвердить на основе визуальных данных трудно из-за низкого уровня видимости после 23 часов. Однако при этом акустическая активность оставалась на достаточно высоком уровне. Ранним утром снова наблюдалось повышение двигательной активности животных.

3.1.2. Скопление белух в вольере, расположенном на о. Русский, бухта Парис, г. Владивосток.

Наблюдения за животными и запись акустического репертуара на базе Дальневосточного океанариума проводились с 16.07.2014 по 18. 08. 2014 на о. Русском в г. Владивосток в бухте Парис. Записи на о. Русский были осуществлены мной под руководством М.П. Иванова, сотрудника кафедры биофизики СПбГУ.

Здание океанариума и бассейны в нем в ходе исследования не использовались, так как на момент проведения этих исследований океанариум находился на стадии строительства.

Белухи, которые служили объектом исследований, были куплены в Японии и привезены с целью их адаптации для проведения представлений. Однако на время строительства здания океанариума они были перевезены в бухту Парис, где находится научно-исследовательская станция, которая принадлежит океанариуму. На момент исследования с белухами проводились регулярные тренировки на территории научно-исследовательской базы.

Для содержания животных в данной акватории был сооружен вольер 11 x 6 метров. Глубина вольера при этом составляла около 6 метров. На дне вольера лежали осколки оружия, бутылки, а также металлические предметы с ярко выраженными признаками коррозии, которые могут (и часто становятся) причиной многочисленных травм и ранений этих животных. В вольере находилось скопление белух общей численностью 11 животных. Из них 2 взрослых самца, 2 самца молодого возраста, 2 взрослых самки и 5 самок молодого возраста. Возраст животных не был оценен, так как методы его определения не являются достаточно точными в настоящее время.

Поведение у белух при содержании в закрытом вольере на о. Русский отличалось от такового в природных условиях. Днем белухи были достаточно активны, а ночью вели себя подобно своим сородичам на воле, однако длительные наблюдения позволили выявить у них преобладающие формы поведения. Например, гораздо чаще, чем в естественных условиях, у животных наблюдались ярко-выраженные признаки агрессии по

отношению друг к другу, особенно в процессе конкуренции за предложенный человеком кормовой ресурс. Также часто у животных можно было обнаружить признаки депрессивного поведения (животные пассивно качались на воде, не взаимодействовали друг с другом, по ночам издавали высокие громкие звуки около 120 ДБ). В отсутствие людей животные между собой не взаимодействовали, а если взаимодействие и наблюдалось, то имело агрессивный характер. Внутри данного скопления можно было выделить пару взрослых самцов, которые доминировали над остальными белухами, при этом не проявляя заботы о неполовозрелых особях, находящихся в том же вольере. Игровое поведение между собой у них не наблюдалось. Животные стремились вступить в игровой контакт только с людьми. Белухи (особенно вышеуказанные взрослые самцы) старались оттолкнуть или утопить своих сородичей во время процесса кормления. Признаки полового поведения также отсутствовали за весь период наблюдений, несмотря на то, что в вольере находились животные, достигшие половозрелости.



Рис. 14. На карте обозначено место исследования в бухте Парис, о. Русский, г. Владивосток

3.2. Методы регистрации сигналов

Для записи звуков белух на о. Мягостров использовали стационарные сферические ненаправленные гидрофоны диаметром 40 и 50 мм (изготовленные в Институте океанологии им. П. П. Ширшова РАН). Гидрофоны были оснащены встроенными предусилителями и соединялись при помощи кабеля с блоками питания и звукозаписывающим устройством, в качестве которого использовали портативный цифровой магнитофон Ritmix RR90. Цифровую запись акустических сигналов проводили в формате wav, с частотой дискретизации 44.1 кГц. Далее записи переносили на ноутбук, для их дальнейшей обработки.

Записи сигналов в г. Владивосток на базе научно-образовательного комплекса ДВО РАН проводились с использованием следующих гидрофонов: большой гидрофон диаметром 20 мм чувствительность ~ 50 мкВ/Па (частотная характеристика -до 100 кГц) и крошечный гидрофон диаметром 2мм - 3 мкВ/Па (частотная характеристика до 600 кГц). Частотная характеристика всех усилителей до 600 кГц.

3.3. Методы анализа

Необходимо отметить существенные различия между записями: если в природных условиях записи не избирательны и делаются на протяжении большого отрезка времени, независимо от присутствия или отсутствия животных в непосредственной близости от гидрофона, то в искусственных условиях записи проводились в вольере с животными.

Для анализа параметров акустических сигналов использовалась программа Adobe Audition 3.0. Проводился анализ динамических спектрограмм. Спектральный анализ сигналов проводился при следующих установочных параметрах: размер блока быстрого преобразования Фурье 256 точек, весовая функция Хэмминга. Для более детального изучения сигналов была использована программа Syrinx 2.1. Для проведения статистического анализа была использована программа R-studio.

3.4. Обработка материала

Обработка материала с записями звуковых сигналов проводилась следующим образом:

1. Прислушаны, отобраны качественные звукозаписи. Обработаны в программе Adobe Audition 3.0 характеристики динамических спектров (сонограмм), а также осциллограмм **12278** сигналов цифровых записей (общей длительностью **66 часов**) на базе материалов, собранных на о. Мягостров, а также **6100** сигналов общей длительностью **16 часов**,

собранные на базе НИИ на о. Русский, г. Владивосток. На основе базовых характеристик, таких как частота следования импульсов, а также анализ динамических спектрограмм.

2. Составлена таблица данных обработанных сигналов в программе Microsoft Excel для дальнейшего статистического анализа.

3. Проведен статистический анализ в программе Statistica и R-studio. Для проверки достоверности различий между двумя выборками: эхолокационными и коммуникационными сигналами в условиях неволи и в естественных условиях, был применен двухфакторный дисперсионный анализ.

Глава 4. Результаты исследований

Для выявления соотношения уровней акустической активности белух в естественных условиях обитания и в условиях содержания в неволе был произведен подсчет общего количества зарегистрированных акустических коммуникационных и эхолокационных сигналов за период наблюдения (табл. 1). Было записано и проанализировано **18368** (табл. 1).

Табл. 1. Число зарегистрированных акустических сигналов различных категорий в естественных условиях обитания и при содержании белух в неволе.

Категории сигналов	условия неволи	естественные условия
Коммуникационные	2358	9680
Эхолокационные	3742	2588
Всего:	6100	12268

По данным таблицы были построены соответствующие диаграммы распределения (рис. 15, 16).



Рис. 15. Соотношение коммуникационных и эхолокационных сигналов в естественных условиях или в условиях содержания в неволе.

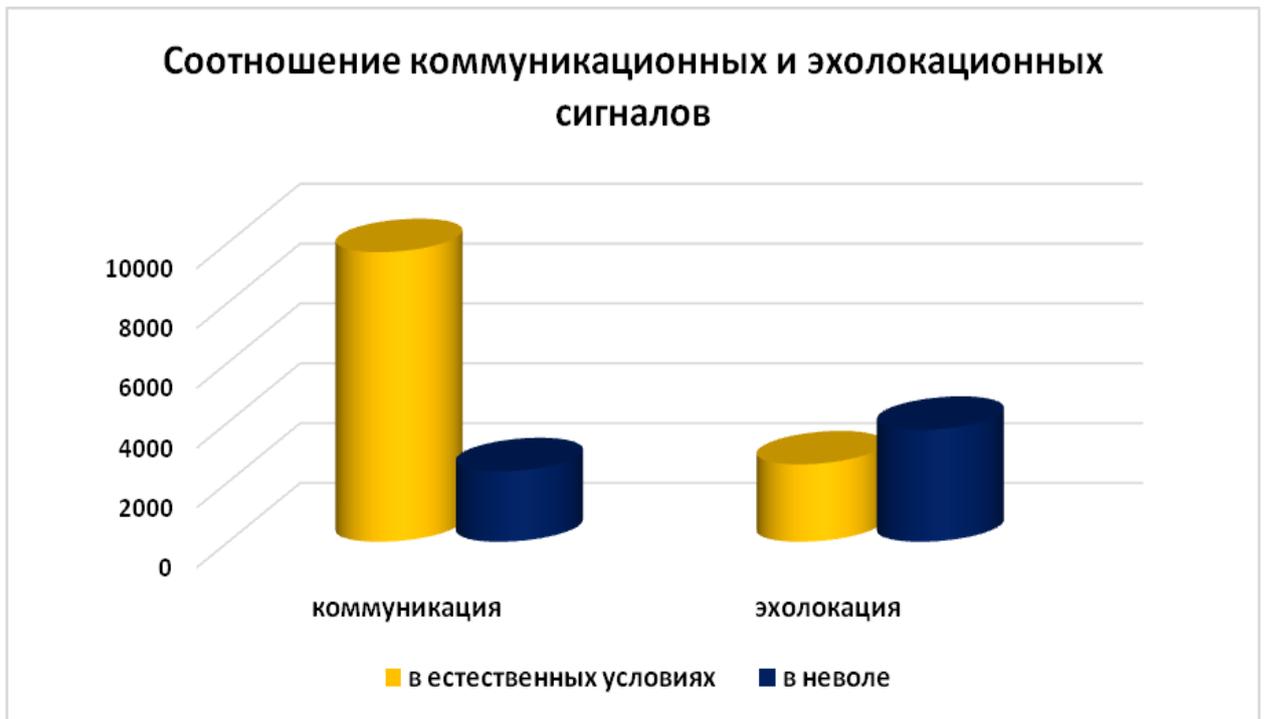


Рис. 16. Диаграмма «Сравнение коммуникационной и эхолокационной активности в различных условиях».

Для оценки напряженности акустической активности произведен подсчет средней частоты встречаемости акустических сигналов (ЧВС) в секунду за эти периоды времени наблюдений по формуле:

$ЧВС = n/t$, где: n - количество сигналов, t - время наблюдения в секундах.

Использованные методы позволили выявить следующие соотношения средней частоты встречаемости коммуникационных и эхолокационных сигналов. Для белух, обитающих в естественных условиях ЧВС составила 12 сигн./сек. и для эхолокационных импульсов 0,6 имп./сек.. Для животных содержащихся в вольере ЧВС коммуникационных сигналов составила 1,6 сигн./сек. и для эхолокационных импульсов 26 сигн./сек.

Полученные данные приведены в таблице 2:

Табл. 2. Данные о различиях напряженности коммуникационной и эхолокационной акустической активности в условиях неволи и в природных условиях.

Условия обитания	Коммуникационные сигналы	Эхолокационные сигналы
в естественных условиях	12 сигналов в секунду	0,6 импульсов в секунду
в неволе	1,6 сигнала в секунду	2,6 импульсов в секунду

Для данных, приведенных в таблице, была построена диаграмма (рис. 17).



Рис. 17. Данные о различиях напряженности коммуникационной и эхолокационной акустической активности в условиях неволи и в природных условиях.

Для оценки напряженности акустической активности были приняты следующие условия: для эхолокационных сигналов рассчитывалась частота следования импульсов,

где импульс расценивался как отдельный эхолокационный сигнал; для коммуникационных сигналов рассчитывалось количество сигналов в секунду, где каждый сигнал представляет собой последовательность импульсов, которые слагаются в единый сигнал. Дополнительно для различения эхолокационных и коммуникационных сигналов дополнительно сравнивались динамические спектрограммы. Более подробные данные представлены в табл. 3.

Для выявления достоверности различий между коммуникационными и эхолокационными сигналами в условиях неволи и в естественных условиях был проведен двухфакторный дисперсионный анализ по критерию Фишера. Был применен пакет статистического анализа «R-studio».

Табл. 3. Информация о коммуникационных и эхолокационных сигналах для стандартной длительности выборки

№ п/п	Воля (1)/неволя(0)	Количество сигналов		Длительность выборки (мин)
		Эхо	ком	
1	1	18	365	116
2	1	2	345	116
3	1	26	597	116
4	1	12	236	116
5	1	1	178	116
6	1	8	359	116
7	1	7	657	116
8	1	9	295	116
9	1	12	465	116
10	1	1	478	116
11	1	1	598	116
12	1	1	236	116
13	1	3	123	116
14	1	16	236	116
15	1	25	542	116
16	1	69	325	116
17	1	23	478	116

18	1	47	698	116
19	1	15	456	116
20	1	18	123	116
21	1	17	235	116
22	1	12	342	116
23	1	13	457	116
24	1	12	245	116
25	1	10	142	116
26	1	11	234	116
27	1	9	125	116
28	1	7	122	116
29	1	16	145	116
30	1	11	365	116
31	1	34	423	116
32	1	46	234	116
33	1	37	452	116
34	1	49	369	116
35	0	358	12	32
36	0	116	5	32
37	0	43	6	32
38	0	71	3	32
39	0	2	4	32
40	0	478	2	32
41	0	91	1	32
42	0	355	2	32
43	0	4	5	32
44	0	776	9	32
45	0	511	8	32
46	0	235	7	32
47	0	503	14	32
48	0	59	18	32
49	0	132	12	32
50	0	45	23	32
51	0	18	5	32

52	0	45	7	32
53	0	95	4	32
54	0	34	1	32
55	0	58	2	32
56	0	48	4	32
57	0	154	12	32
58	0	173	11	32
59	0	397	26	32
60	0	478	56	32
61	0	315	32	32
62	0	65	24	32
63	0	35	12	32
64	0	48	31	32

```

      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Eho    1  4.618   4.618  60.926 1.05e-10 ***
Kom    1  6.733   6.733  88.819 1.92e-13 ***

Residuals 60  4.548   0.076
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

Рис. 18. Данные статистического анализа различий между коммуникационными и эхолокационными сигналами

Рамкой выделены значения коэффициентов Фишера достоверности различий в программе «R-studio».

Различия между эхолокационными или коммуникационными сигналами в естественных условиях и в условиях неволи являются достоверными по критерию Фишера при уровне значимости менее 0,05.

Также было определено соотношение двух основных категорий коммуникационных сигналов в естественных условиях и в условиях неволи. Результаты представлены в табл.4.

Табл. 4. Число свистовых и импульсно тональных сигналов белух в природных условиях и при ограниченном содержании в вольере.

	Свисты	Импульсные тона	Всего
в условиях неволи	1146	1212	2358
в естественных условиях	2957	6723	9680

Для данных, приведенных в таблице, были построены диаграммы (рис.19, 20).



Рис. 19. Диаграмма «Соотношение категорий свистовых и импульсно-тональных сигналов»



Рис. 20. Диаграмма «Соотношение свистовых и импульсно-тональных сигналов белух в репродуктивных скоплениях в естественных условиях и в условиях неволи».

Для подробного анализа коммуникационных сигналов проведено сравнение по 10 категориям, которые наиболее часто встречаются в акустическом репертуаре белух Мягостровского локального скопления (таблица 5).

Табл. 5. Соотношение различных категорий коммуникационных сигналов, основанных на анализе динамических спектрограмм.

Типы сигналов	кол-во в естественных условиях	кол-во в условиях неволи
Высокочастотные тональные сигналы первого типа	1169	231
Изменчивые высокочастотные тональные сигналы	1279	62
Низкочастотные тональные сигналы	1598	812
Импульсно-частотные тональные сигналы с высокой частотой следования импульсов	1354	16
Импульсно-тональные сигналы с низкой частотой следования импульсов ("стон", "ворчание")	759	58
Шумовые сигналы	564	33
"Писк"	886	341
"Щебет"	960	23
"Гласные"	624	413
"Блеяние"	487	369
Всего:	9680	2358

Установлено, что среди различных категорий коммуникационных сигналов белухи наиболее часто используют низкочастотные сигналы как в естественной среде обитания, так и при нахождении в вольере.

4.1. Обсуждение

Акустические методы могут быть важным инструментом в оценке состояния популяции, в том числе обитающей в неволе. Это связано в первую очередь с тем, что акустический канал связи является ведущим для всех видов китообразных. В условиях ограниченной видимости и ограничении других видов взаимодействий белухи способны ориентироваться и общаться преимущественно за счет использования акустического канала. Однако, если лишить их возможности использовать акустический канал, то китообразные практически лишаются способности нормально существовать.

На основе статистического анализа были установлены достоверные различия в акустической сигнализации белух, обитающих в естественных условиях и содержащихся в неволе.

В естественных условиях обитания в период репродуктивного скопления белух акустическая активность в форме коммуникационных сигналов значительно преобладает над таковой при содержании в неволе. Причин таких различий на наш взгляд несколько.

Во-первых, существенно различаются формы социального поведения, сопровождаемые акустической коммуникацией. В период репродуктивного скопления наблюдаются интенсивные взаимодействия половых партнеров, матери и детеныша и в целом взаимодействия для поддержания структуры стада. В то время как при содержании в неволе в условиях ограниченного пространства интенсивность социальных взаимоотношений заметно уменьшается, и снижается потребность в акустической коммуникации.

Во-вторых, само нахождение в неволе является стрессорным фактором, который подавляет акустическую активность.

В-третьих, в условиях неволи пространственные ограничения приводят к стереотипным двигательным реакциям, которые контролируются зрительным аппаратом и не требуют акустической коммуникации для установления пространственных отношений между животными.

В-четвертых, в неволе в процессе содержания у животных формируется потребность разнообразных форм взаимодействия с обслуживающим персоналом, в частности в форме звуковой сигнализации в воздушной среде и тактильных контактов.

Установленное преобладание эхолокационной активности при содержании в неволе по сравнению с естественными условиями репродуктивных скоплений может иметь несколько причин.

Во-первых, в условиях неволи при движении животных необходимо эхолокационное установление точных пространственных отношений с предметами, ограничивающими пространство обитания, во избежание столкновения с ними. Приближение к препятствию сопровождается стандартной формой прогрессивного снижения амплитуды и повышения частоты зондирующих импульсов до момента отворота.

Во-вторых, новые условия обитания требуют элементов активного эхолокационного исследовательского поведения, которое формирует у белух акустический образ окружающего пространства. Важно отметить, что белухи на момент исследования были помещены в вольер недавно.

В-третьих, в исследуемый период с животными начали проводить обучение на различные двигательные реакции, которые требовали точной пространственной ориентации. Поэтому в этот период наблюдалась повышенная эхолокационная активность. По мере выработки двигательных стереотипов эхолокационная активность закономерно снижалась в среднем на 25 %.

В целом, акустический репертуар белух довольно разнообразен, выделяют около пятидесяти различных типов в пределах категории свистовых и импульсных сигналов (Панова, Беликов, 2012) Однако для различных популяций белух и различных скоплений выявлено некоторые различия в акустическом репертуаре. К примеру, для белух, образующих репродуктивное скопление в районе острова Мягостров характерны следующие типы сигналов (рис. 21):

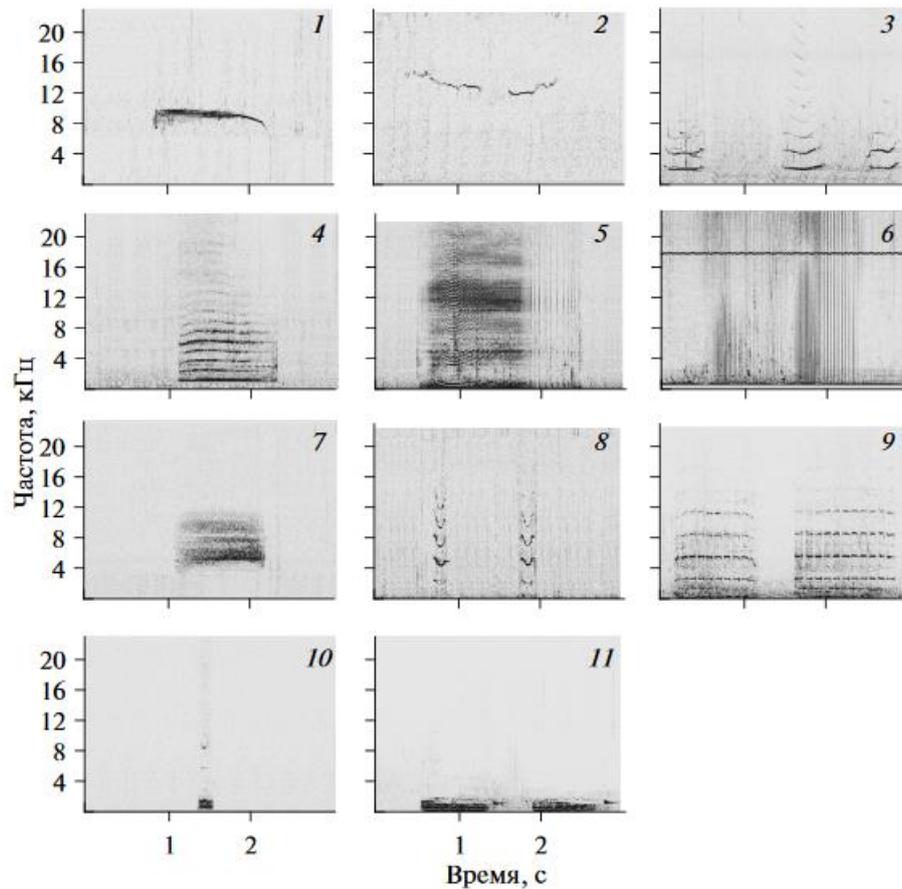


Рис. 21. Преобладающие в Мягостровском локальном стаде категории сигналов. 1 – высокочастотные тональные сигналы первого типа, 2- изменчивые высокочастотные тональные сигналы, 3 – низкочастотные тональные сигналы, 4 – импульсно-тональные сигналы с высокой частотой следования импульсов, 5 – импульсно – тональные сигналы с низкой частотой следования импульсов («стон», «ворчание»), 6 – импульсные серии, 7 – шумовые сигналы, 8 – «писк», 9 – «щебет», 10 – «гласные», 11 – «блеяние» (Основано на классификации Пановой Е. и Беликова Р.А, 2012).

В связи с этим был проведен подробный анализ при содержании в неволе и в естественных условиях именно по этим сигналам. Нами была предпринята попытка связать различные категории сигналов с поведенческим аспектом. Однако это оказалось довольно трудной задачей, с которой сталкивались многие исследователи в этой области.

Если для наземных млекопитающих классификация акустических сигналов основывается, прежде всего, на их функции, то для китообразных, большая часть жизни которых остается скрытой от наблюдателя, такой подход практически неприменим. Традиционно классификация акустических сигналов зубатых китообразных строится на физических (частотно временных) характеристиках звуков, при этом классификация может основываться на аудиторном восприятии оператора, либо на сравнительном

анализе спектрограмм сигналов. Определение же функциональной нагрузки представляет собой достаточно трудную задачу (Панова, Беликов, 2011).

В нашей работе мы использовали функционально-акустическую классификацию, основанную на анализе динамических спектрограмм.

Было выяснено, что преобладающей категорией сигналов для белух, обитающих в естественных условиях, являются тональные сигналы. Данная тенденция была отмечена и в работах других исследователей, которые занимались изучением белух в естественных условиях (Беликов и др. 2006; Панова, 2011; Faucher, 1988; Karlsen, 2002).

Считается, что именно этой категории сигналов отводится значительная коммуникационная роль. Тональные сигналы (свисты) способны распространяться на дальние расстояния, поэтому могут использоваться зубатыми китами для дальнедистантной коммуникации и координации. Тем не менее, исследование белух высокоширотной канадской Арктики (Sjare, 1986) не выявило зависимости частоты использования свистов от поведенческих контекстов. В то же время, результаты, полученные в другой работе, подтвердили, что тональные сигналы могут использоваться белухами как дальнедистантные сигналы (Karlsen, 2002).

Импульсные тона, как считается, могут играть роль “эмоциональных” сигналов при ближнедистантных взаимодействиях для передачи психофизиологического состояния особи (Белькович, Щекотов, 1990).

Можно заметить, что доля свистовых сигналов у белух в естественных условиях превышает долю свистовых сигналов у животных, содержащихся в условиях неволи. Эти результаты оправданы, учитывая, что в условиях неволи белухам не требуется дальнедистантная коммуникация, однако социальные взаимодействия имеющие эмоциональный характер сохраняются, что выражается в их наличии среди коммуникационных сигналов в скоплении белух в условиях неволи.

Кроме того, в работах исследователей отмечается, что доля сигналов данной группы выше при направленном перемещении белух группой и при кормлении, чем при остальных типах поведения. Можно предположить, что эти сигналы обеспечивают взаимную координацию животных при перемещении группы и, вероятно, могут служить дальнедистантными сигналами в ситуациях, когда белухи поодиночке или небольшими группами распределены на большой акватории. Это утверждают и наши результаты. Доля свистовых и импульсных сигналов все-таки выше в естественных условиях, чем в условиях неволи. Это можно объяснить тем, что эти импульсные сигналы используются преимущественно при добывании питания, а значит, могут быть чрезвычайно важны для животных, обитающих в естественных условиях. А в неволе это наиболее привычная

процедура. Кроме того, низкая доля импульсно-тональных сигналов при содержании животных в ограниченных условиях неволи связана с отсутствием необходимости согласованного группового поведения.

Для более детального анализа мы разбили обширную категорию свистовых и импульсных сигналов на несколько групп, отличающихся друг от друга по физическим характеристикам и, возможно, имеющих разные функции.

Нельзя сказать однозначно, что данному типу сигнала соответствует определенная форма поведения, однако для определенных форм поведения, как правило, характерны несколько типов сигналов.

На основе исследований Пановой Е. была сделана примерная классификация соотношения различных категорий сигналов (рис. 22).

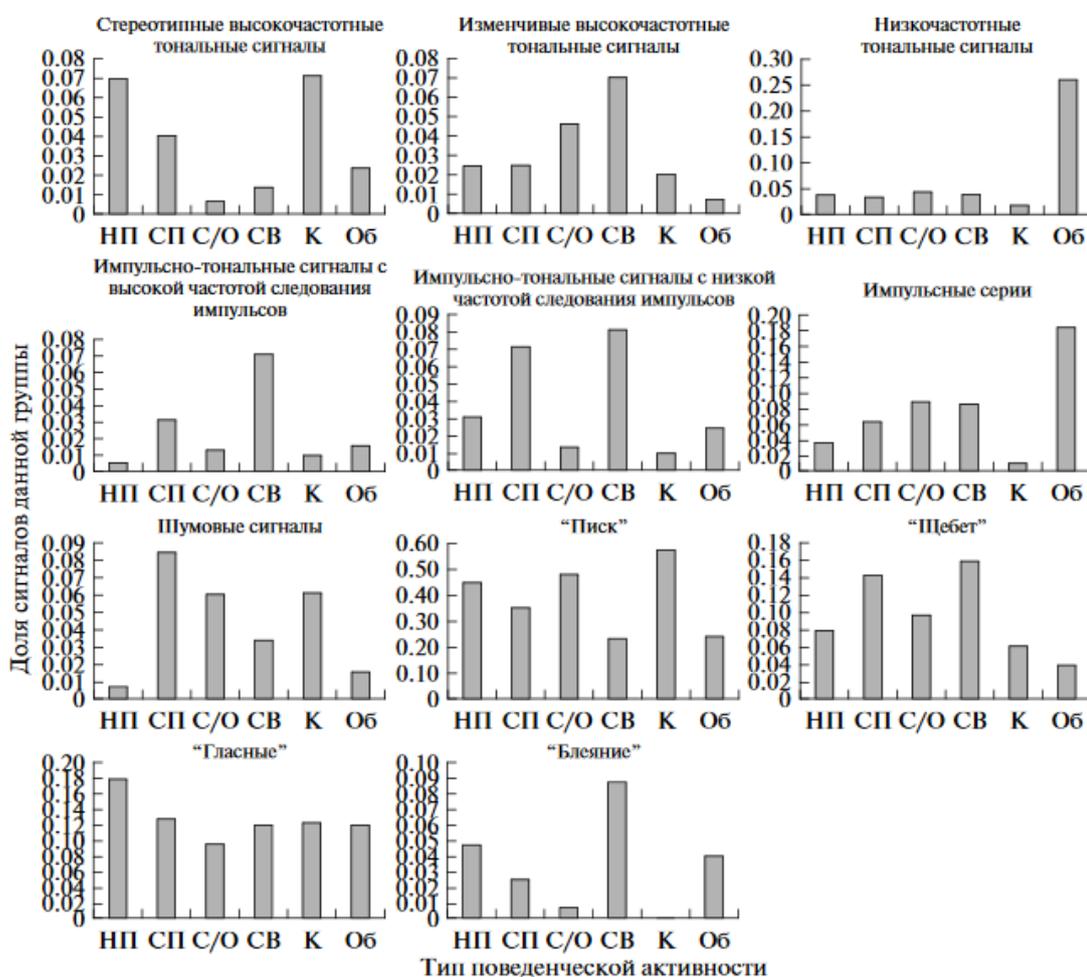


Рис. 22. Преобладающие формы поведения для различных категорий сигналов.

Согласно данной классификации выделяется несколько типичных форм поведения белух:

NP - направленное перемещение

СП - свободное плавание

С/О - сон/отдых

СВ - социальные взаимодействия

К - кормление

Об - обследование территории

На основании анализа приведенных данных можно выявить следующие закономерности:

1. Направленное перемещение. Используются такие категории сигналов как стереотипные высокочастотные тональные сигналы, «гласные», «щебет», «писк и блеяние». Также встречаются изменчивые высокочастотные тональные сигналы, импульсно-тональные сигналы с низкой частотой следования импульсов. Доля остальных типов сигналов незначительна.
2. Свободное плавание. При свободном плавании можно наблюдать наличие практически всех категорий сигналов, кроме низкочастотных тональных сигналов, доля которых при этом типе социальной активности незначительна.
3. Сон / отдых. Преобладают изменчивые высокочастотные тональные сигналы, шумовые сигналы, «писк», «щебет» и «гласные». Доля остальных категорий незначительна.
4. Социальные взаимодействия. Преобладают изменчивые высокочастотные тональные сигналы, импульсно-тональные сигналы с низкой частотой следования импульсов, «щебет» и «блеяние».
5. Кормление. Значительная доля приходится на стереотипные высокочастотные тональные сигналы, шумовые сигналы, «писк», «щебет» и «гласные».
6. Обследование территории. Помимо импульсных серий, преобладающими категориями также являются низкочастотные тональные сигналы, «гласные», «писк» и «блеяние».

По результатам наших исследований мы получили следующее распределение различных категорий сигналов (рис.23):

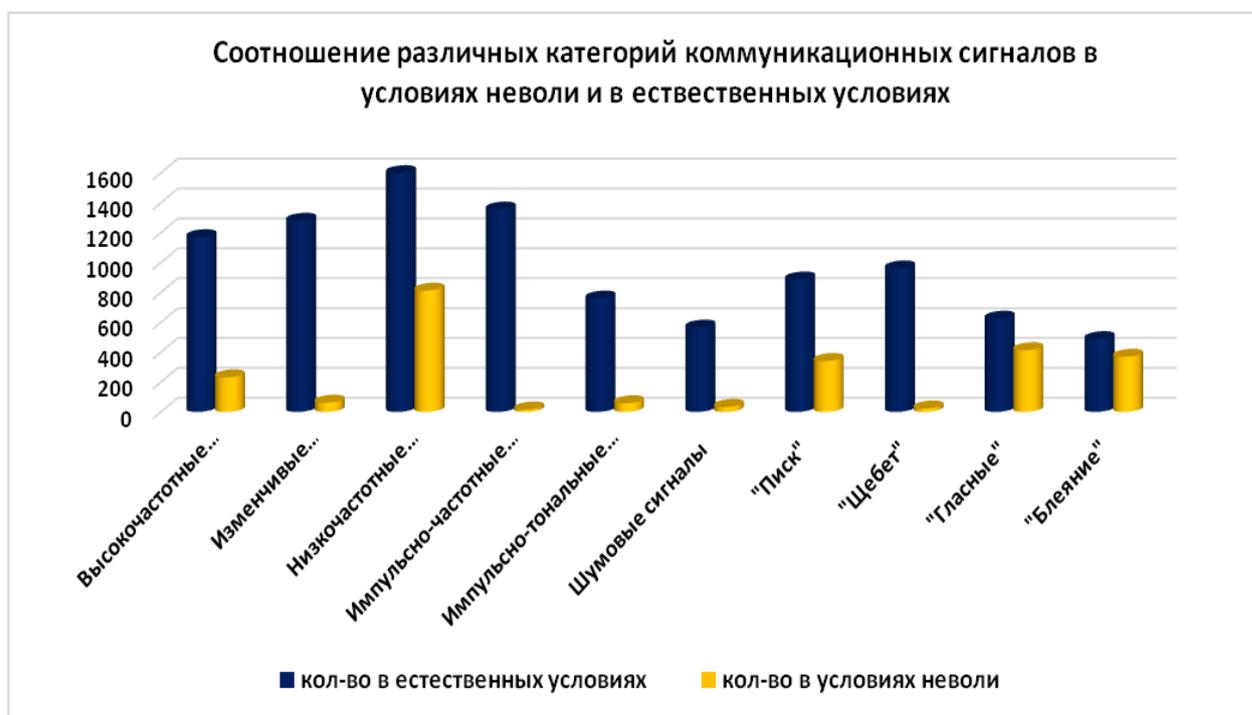


Рис. 23. Соотношение различных категорий коммуникационных сигналов в условиях неволи и в естественных условиях.

При сопоставлении с результатами наших исследований, соотношения данных категорий весьма различны для двух исследуемых нами условий. В условиях неволи наблюдается обеднение звукового разнообразия акустических сигналов. Преобладающими являются низкочастотные тональные сигналы, также встречаются «писк», «гласные» и «блеkanie», тогда как доля остальных категорий в репертуаре животных незначительна.

«Низкочастотные тональные сигналы» сопровождают преимущественно обследование территории. Это может объяснить их значительное преобладание на фоне остальных сигналов в условиях неволи, а также их высокую долю при анализе данных в естественных условиях. Так как обследование территории по-прежнему играет важную роль для белух даже в условиях неволи. По-видимому, низкочастотные тональные сигналы, являясь информативными, а не эхолокационными, служат для того, чтобы передать сородичам информацию об исследовании. Такой тип поведения наблюдается в скоплениях косаток – исследуя объект, косатка затем передает свою информацию о нем сородичам. Видимо, это имеет место и у белух. Либо данные сигналы также могут нести эхолокационную функцию, однако, исходя из их физических характеристик это маловероятно.

«Гласные» сигналы являются характерными для всех типов взаимодействий, тогда как «блеkanie» в основном, используется в естественных условиях при социальных контактах. Социальные контакты используются и в условиях неволи и в естественных условиях,

однако характер этих взаимодействий может быть различным. Исходя из наблюдений, отмеченных нами ранее в условиях неволи преобладают агрессивные формы поведения, тогда как в условиях неволи общение с целью спаривания, а также общение по типу мать-детеныш. Однако все же отмечается значительное снижение доли этих сигналов в условиях неволи.

«Стереотипные высокочастотные тональные сигналы», а также «изменчивые тональные сигналы» также значительно преобладают в репертуаре белух, находящихся в естественных условиях. Их функциональная роль не столь однозначна, однако, предположительно, их доля значительно возрастает при кормлении, что может объяснить их наличие в условиях неволи, также они играют значительную роль при направленном перемещении и свободном плавании.

«Импульсно-тональные сигналы с высокой и низкой частотой следования импульсов» значительно преобладают в репертуаре скопления белух, находящихся в естественных условиях по сравнению со скоплением, находящимся в условиях неволи. В условиях неволи данные категории практически отсутствуют. Эти типы сигналов преобладают при социальных взаимодействиях. Это подтверждает нашу теорию о том, что интенсивность социальных контактов меньше у белух, содержащихся в условиях неволе. Однако, как было сказано заранее, в осуществлении коммуникативной функции значительную долю несут «гласные». Возможно, гласные отвечают именно за агрессивные формы поведения, тогда как импульсно-тональные сигналы - за все остальные. Данное предположение требует дальнейшего изучения.

Таким образом, мы видим значительное обеднение акустического репертуара белух, содержащихся в условиях неволи. На этом фоне преобладают низкочастотные тональные сигналы, которые, как считается, отвечают за обследование. Это объяснимо, учитывая, что социальные контакты белух в условиях неволи сводятся к минимуму по результатам визуальных наблюдений, а также это подтверждает на основе акустических данных, где значимая доля сигналов, несущих коммуникационную функцию может сохраняться лишь потому, что в условиях неволи сохраняются агрессивные формы поведения.

В дальнейшем, мы можем использовать акустический коммуникационный анализ для выявления состояния природных популяций. Если мы наблюдаем значительное обеднение акустического репертуара, особенно по тем категориям сигналов, которые отвечают за социальные взаимодействия, мы можем делать вывод о неадекватности условий обитания в неволе для полноценной жизнедеятельности.

Среди факторов, обуславливающих различное поведение белух в естественных условиях и в условиях содержания в неволе, фактор акустического поведения является

значимым для оптимизации жизнедеятельности животных. В естественных условиях преобладающей формой акустического поведения является коммуникация, способствующая размножению и установлению социальных отношений в период репродуктивного скопления. При содержании в неволе в условиях ограниченного пространства на первое место выходит фактор пространственного поведения, реализуемого посредством эхолокации.

Важно отметить, что белухи отличаются активной акустической сигнализацией не только под водой, но и на воздухе, за что их называют «морскими канарейками». За время наших наблюдений в бухте Парис, о. Русский, г. Владивосток было отмечено, что интенсивность акустической сигнализации в воздухе в несколько раз увеличивается по сравнению с таковой у животных, находящихся в естественных условиях обитания. По-видимому, это связано с желанием животных установить контакт с человеком, тогда как при внутривидовом взаимодействии этот способ коммуникации используется в значительно меньшей степени. Наличие активной акустической коммуникации в воздухе у белух было отмечено в работах многих исследователей (Белькович, Щекотов, 1990; Беликов, 2006 и др.).

Проявление активного желания дельфинов, содержащихся в океанариумах, идти на контакт с человеком давно стало применяться в прикладном аспекте, например, при служебном использовании этих животных, или при проведении так называемой «дельфинотерапии». Дельфинотерапия, как метод немедикаментозной медико-психологической реабилитации, успешно практикуется во многих океанариумах, особенно при лечении детей с такими тяжелыми заболеваниями, как детский церебральный паралич, аутизм, синдром Дауна, алалия, или отсутствие речи, нейросенсорная тугоухость тяжелой степени и многие другие заболевания. По мнению специалистов по дельфинотерапии белухи в этом отношении наиболее привлекательны. Белухи имеют большой размер тела, не имеют спинного плавника, они медленно плавают, легко катают детей на спине, с удовольствием играют с ними в воде, вылезают на край бассейна для тактильных контактов с ребенком, издают в воздухе различные звуки. Ультразвуковые сигналы, излучаемые сонаром белухи, используют также как своеобразный метод природной физиотерапии при лечении детей и взрослых (Белухотерапия в Сочи, 2016).

Новейшие исследования показали, что белухи, которые находятся в океанариуме, начинают обозначать предметы своими звуками (Vision and Research Activities, 2015).

Профессор Токайского университета Цукаса Мураяма установил, что самец белухи по имени Нак дал названия трем предметам: ластам, очкам для плавания и ведру. При виде пары ласт издавал короткий высокочастотный звуковой сигнал, очки он обозначал долгим высоким сигналом, а ведро — низким звуком. Чтобы убедиться в том, что эти звуки относятся именно к этим предметам, ученый записал их на магнитофон и дал дельфину прослушать. При прослушивании записей Нак выбирал предметы правильно. Как считает исследователь, возможно наступит время, когда дельфины смогут рассказать человеку о своих мыслях и чувствах, и больше всего шансов на это, имеют именно белухи. Известен также популярный случай, произошедший в Немецком дельфинарии, когда содержащаяся там самка белухи не просто издавала сигналы, но они очень сильно напоминали по своему звучанию человеческую речь (Can any animals talk like humans, 2007).

4.2. Выводы

1. Уровень акустической активности у белух, находящихся в естественных условиях значительно выше, чем у животных, находящихся в условиях неволи.

2. В естественных условиях обитания у белух преобладает коммуникация, в то время как при содержании белух в неволе доминирует эхолокационная активность. В естественных условиях ведущим фактором акустической активности является социальное поведение, которое реализуется коммуникационными сигналами. При содержании животных в неволе на первое место выступает биологическая значимость ориентации в ограниченном пространстве при помощи эхолокации.

3. В акустическом репертуаре скопления белух, находящихся в естественных условиях, в акустической коммуникации отмечается доминирование разнообразных импульсных тональных сигналов над свистовыми. Выявлены закономерности преобладания различных типов внутри категории коммуникационных сигналов и установлена связь с их поведенческими функциями. Явные различия в преобладающих типах звуковых сигналов показывают возможность использования акустических характеристик популяций белух для оценки состояния скоплений.

4. К условиям содержания в неволи белухи быстро адаптируются, активно взаимодействуют с человеком и используют в воздухе широкий репертуар сигналов звуковой коммуникации.

Список источников:

1. Адрианов В.В. Структура стада и адаптивное поведение белух (*Delphinapterus leucas* Pall., 1776) юго-восточной части Онежского залива: дис. ... канд. биол. наук. М., 2009. 182 с.
2. Айрапетьянц Э. Ш., Константинов А.И. Эхолокация в природе. Л.: «Наука», 1974. 511 с.
3. Арсеньев В.А. Распределение и миграции белухи на дальнем Востоке // Изв. ТИНРО. Т. 15, Вып. 15. Владивосток, 1939. С. 3 – 109.
4. Баранов В.С., Белькович В.М., Чернецкий А.Д. Подводная видеосъемка как средство изучения поведения белух (*Delphinapterus leucas*) в репродуктивном скоплении // Морские млекопитающие Голарктики 2004. Сб. научных трудов. М.: КМК., 2004. С. 36-38.
5. Беликов Р.А. Белькович В.М. Свисты белух в репродуктивном скоплении у о. Соловецкий в Белом море // Акустический журнал. Т. 53. № 4. 2007. С. 601 – 608.
6. Беликов Р.А. Некоторые биологические особенности акустической сигнализации и поведения белух (*Delphinapterus leucas*) в репродуктивном скоплении у о-ва Соловецкий в Белом море: дис. ... канд. биол. наук. М., 2006. 238 с.
7. Беликов Р.А., Белькович В.М. Влияние антропогенных факторов на акустическую сигнализацию и поведение белух (*Delphinapterus leucas*) // Морск. млекоп. Голарктики. Сб. статей. 2-ая междунар. конф., Байкал, Россия, Сентябрь 10-15, 2002. С. 25-26.
8. Беликов Р.А., Белькович В.М. Высокочастотные тональные сигналы белух (*Delphinapterus leucas*) в летнем скоплении у о. Соловецкий в Белом море // Акуст. журн. Т. 52. № 2. 2006. С. 1-9.
9. Белькович В. М., Панова Е. М., Стабильность и изменчивость акустических сигналов беломорской белухи // Зоол. журн. Т. 67. № 5. 2010. С. 506-539.
10. Белькович В. М. Белуха европейского севера: новейшие исследования // Рыбное хозяйство. № 2. 2004. С. 32-34.
11. Белькович В. М., Кириллова О.И. Исследование биологии беломорских белух (*Delphinapterus leucas*) в период репродуктивного скопления // Зоол. журн. Т. 79. № 1. 2000. С. 89-96.
12. Белькович В.М., Дубровский Н.А. Сенсорные основы ориентации китообразных. Л.: «Наука», 1976. 204 с.

13. Белькович В.М., Щекотов М.Н. Некоторые особенности акустической активности беломорской и дальневосточной белухи // Поведение и биоакустика дельфинов. М.: ИО АН СССР, 1987. С. 156 – 196.
14. Дубровский Н.А., Зориков Т.В. Признаковое описание сигналов и принципы его организации в слуховой системе афалины // Акустический журнал Т. 35. Вып.5. 1991. С. 933 – 937.
15. Иванов М.П. Эхолокационные сигналы дельфина при обнаружении объектов в сложных акустических условиях // Акустический журнал. Т. 50. № 4. 2004. С. 550-561.
16. Клейман Д.Г. Социобиология разведения животных в неволе // Биология охраны природы: Пер. с англ. М.: Мир, 1983. С. 275-296.
17. Клейненберг С.Е., Яблоков А.В., Белькович В.М., Тарасевич М.Н. Белуха. Опыт монографического исследования вида. М.: «Наука», 1964. 456 с.
18. Краснова В. В., Чернецкий А. Д. Родительское поведение белух в естественных условиях // Изв. РАН. № 4. 2014. С. 365 - 373.
19. Краснова В.В., Чернецкий А.Д. Динамика численности, возрастного и полового состава белухи (*Delphinapterus leucas*) в Соловецком репродуктивном скоплении (Онежский залив, Белое море) // Биология моря. Т. 38. № 3. 2012. С. 203-209.
20. Лукин Л.Р., Адрианов В.В. Белуха (*Delphinapterus leucas*), или белый кит, как вид-индикатор экологического состояния Белого моря // Arctic Environmental Research. Биология. Вып. № 3. 2013. С. 46 – 55.
21. Очаковский Ю.Е., Копелевич О.В. Свет в море. М.: «Наука», 1970. 176 с.
22. Прайор К. Несущие ветер. «Селена +», 1995. 159 с.
23. Сергеев Б.А. Живые локаторы океана. Л.: Ленинград Гидрометтеиздат, 1980. 141 с.
24. Серджент Д.Е. Экологическая изоляция некоторых китообразных // Новое в изучении китообразных и ластоногих. М.: «Наука», 1978. С. 20-33.
25. Супин А.Я. Этот обыкновенный загадочный дельфин. М.: Армада-пресс, 2002. 273 с.
26. Томилин А.Г. В мире китов и дельфинов. М.: Знание, 1974. 207 с.
27. Хлебникова А.П. Основные механизмы излучения звуков в животном мире: реф. СПб.: ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургская государственная академия ветеринарной медицины, 2011. 16 с.
28. Alekseeva Ya I., Panova E.M., Bel'kovich V.M. Behavioral and Acoustical Characteristics of the Reproductive Gathering of Beluga Whales (*Delphinapterus leucas*) in the

Vicinity of Myagostrov, Golyi Sosnovets and Roganka Islands (Onega Bay, White sea) // *Biology Bulletin*. Vol. 40. № 3. Pleiades publishing, Inc., 2013. P. 307 – 317.

29. Aubin D.J. Smith T.G., Geraci J.R.. Seasonal epidermal moult in beluga whales, *Delphinapterus leucas* // *Can.J. Zool.* Vol. 68. 1990. P. 359-367.

30. Bacon C., Smultea M. Mixed-Species Associations of Marine Mammals in the Southern California Bight, with Emphasis on Risso's Dolphins (*Grampus griseus*) // *Aquatic Mammals*. Vol. 43 (2). 2017. P. 177-184.

31. Bel'kovich, V.M. Beluga whale of the European north: the latest research // *Rybn. Khoz.* (2). 2004. P. 32–34

32. Bel'kovich, V.M., Investigation of the structure of the White Sea beluga population // *Proceedings of the International Conference on Study and Conservation of Marine Mammals*. Moscow: MMC, 1995. P. 10–11.

33. Belikov R.A., Bel'kovich V.M. Summer vocal behavior of the White Sea beluga whales (*Delphinapterus leucas*) foraging in the open sea // *ESC2005, La Rochelle, 2-7 April, 2005*. P. 39

34. Caldwell M.C., Caldwell D.K. Vocalizations of naïve captive dolphins in small groups // *Science*. Vol. 159. 1968. P. 1121-1123.

35. Castellote M., Leeny R. Monitoring white whales (*Delphinapterus leucas*) with echolocation loggers // *Polar Biol.* Vol. 36. 2013. P. 493–50.

36. Castellote M., Tregenza N. Habitat use of beluga whales revealed by acoustic loggers // *The Journal of the Acoustical Society of America*. Vol. 125(4). 2009. P. 493-509.

37. Crandall L.S. *The Management of Wild Mammals in Captivity*. Chicago: University of Chicago Press, 1964. 761 p.

38. Cranford T. W., Wesley R. and others. Observation and analysis of sonar signal generation in the bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*): Evidence for two sonar sources // *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. Vol. 407 (1). 2011. P. 81-96.

39. Cranford T.W., Amundin M., Norris K.S. Functional morphology and homology in the odontocete nasal complex: implications for sound generation // *J. Morphol.* V. 228. 1996. P. 223-285.

40. Dagmar Fertl. *The Question of Animal Culture*. Harvard University Press, 2009. 409 p.

41. Dagmar Fertl. *Whales, Dolphins, and Other Marine Mammals of the World*. Princeton: Princeton University Press, 2006. 289 p.

42. Deakos M., Branstetter B. Two Unusual Interactions Between a Bottlenose Dolphin (*Tursiops truncatus*) and a Humpback Whale (*Megaptera novaeangliae*) in Hawaiian Waters // *Aquatic Mammals*. Vol. 36 (2). 2010. P. 121-128.

43. Doty R.L. Mammalian Olfaction, Reproductive Processes and Behavior. New York: Academic Press, 1976. 343 p.
44. Eisenberg J.F. The evolution of the reproductive unit in the class -Mammalia. In: Reproductive Behavior and Evolution. New York: Plenum Publishing Co., 1977. P. 39-71.
45. Faucher A. The vocal repertoire of the St. Lawrence Estuary population of beluga whale (*Delphinapterus leucas*) and its behavioral, social and environmental contexts // MSc Thesis. Dalhousie University, 1988. P. 102.
46. Finneran J.J., Carder D.A., Schlundt C.E. Temporary threshold shift in a bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) exposed to intermittent tones // Journal of the acoustical society of America. Vol. 127. 2010. P. 3267–3272.
47. Garland E.C., Castellote M. Beluga whale (*Delphinapterus leucas*) vocalizations and call classification from the eastern Beaufort Sea population // Journal of the acoustical society of America. Vol. 164. 2015. P. 245-251.
48. Gonzalez-Hernandez R., Sanchez-Fernandez L. and others. Marine mammal sound classification based on a parallel recognition model and octave analysis // Applied Acoustics. Vol. 119. 2017. P. 17-28.
49. Hauser D.D., Laidre K.L. and others. Habitat selection by two beluga whale populations in the Chukchi and Beaufort seas// PLoS One. 2017. Vol. 12(2). e0172755
50. Hediger H. Man and Animal in the Zoo. New York: Delacorte Press, 1969. 189 p.
51. Hediger H. Psychology and Behaviour of Captive Animals in Zoos and Circuses. London: Butterworth's and Co., Ltd., 1955. 173 p.
52. Hediger H. Wild Animals in Captivity. London: Butterworth's and Co., Ltd., 1950. 231 p.
53. Herman L.M., Tavolga W.N. The communication systems of cetaceans // Cetacean Behavior: Mechanisms and Functions. NY.: In Ed. L.M. Herman, John Wiley & Co, 1980. P. 149-209.
54. Karena K., Gilev A., Visual Laterality of Calf–Mother Interactions in Wild Whales// PLoS One. 2010. V. 5 (11). e13787.
55. Karlsen J.D., Bisther A., Lyndersen C. et al. Summer vocalizations of adult male white whales (*Delphinapterus leucas* in Svalbard, Norway // Polar. Biol. 2002. Vol. 25. P. 808–817
56. Kleiman D.G. Monogamy in mammals // Quart. Rev. Biol. Vol. 52. 1977. P. 39-69.
57. Krasnova V. V., Bel'kovich V.M. Formation of behavior in the White Sea beluga calf, *Delphinapterus leucas*, during early postnatal ontogenesis // Russian Journal of Marine Biology. Vol. 35. 2009. P. 53 – 59.

58. Krasnova V. V., Bel'kovich V.M. Mother-infant spatial relations in wild Beluga (Delphinapterus leucas) during postnatal development under natural conditions // *Biology Bulletin*. Vol. 33. № 1. Pleiades Publishing, Inc., 2006. P. 53–58.
59. Krasnova V., Belkovich V., Chernetsky A. Dynamics of belugas (Delphinapterus leucas) behavior in reproduction gathering // 17th Conference of the European Cetacean society. Las Palmas de gran Canaria, 2003. P. 130-139.
60. Krasnova V.V., Belkovich V.M., Baranov V.S. Belikov R.A., Chernetsky A.D., Kirillova O.I. Reproductive Gathering of beluga whales (Delphinapterus leucas) off Solovetsky Island the white sea Russia // 1th International workshop on Beluga Whale research, Husbandry and Management in wild and captive environments. Spain, Valencia, 2007. P.22.
61. Krasnova V.V., Chernetsky. Parental behavior of the beluga whale (Delphinapterus leucas) in natural environment // *Biology Bulletin*. Vol. 41(4). 2014. P. 349 – 356.
62. Krasnova V.V., Chernetsky. The relationship between the behavioral activity and the underwater vocalization of the beluga whale (Delphinapterus leucas) // *Oceanology*. Vol. 52. № 1. 2012. P. 79-87.
63. Lomac-MacNair S., Smultea M.A. Socio-sexual and Probable Mating Behavior of Cook Inlet Beluga Whales, Delphinapterus leucas, Observed From an Aircraft // *Marine Fisheries Review*. Vol. 77 (2). 2016. P. 32-39
64. Lucke K., Popper A.N. Auditory sensitivity in aquatic animals // *The Journal of the Acoustical Society of America*. Vol. 139. King City: Canada and Marine Acoustics Inc., 2011. P. 207.
65. Macaulay J.D.J., Gordon J.C.D., Gillespie D.M., Malinka C.E. Passive acoustic methods for fine-scale tracking of harbour porpoises in tidal rapids // *Journal of the acoustical society of America*. Vol. 141 (2). 2017. P. 1120-1132.
66. Mann J., Whitehead H., Connor R., Tyack P. L. Cetacean societies. Field studies of dolphins and whales. CG.: The University of Chicago press, 2000. 433 p.
67. Matthews J.N., Rendell L.E., Gordon J.C.D., Macdonald D.W. A review of frequency and time parameters of cetacean tonal calls // *Bioacoustics*. Vol. 10. 1999. P. 47-71.
68. Michaud, R. Sociality and ecology of the Odontocetes // *Sexual Segregation in Vertebrates: Ecology of the Two Sexes*. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2005. P. 303–326.
69. Mooney A., Manuel Castellote. Say what? Hearing abilities and subsequent variability for a wild population of Beluga Whales (Delphinapterus leucas) // *The Journal of the Acoustical Society of America*. Vol. 140 (4). 2016. P. 3299-3299.

70. Panova E. M., Belikov R.A. The Relationship between the Behavioral Activity and the Underwater Vocalization of the Beluga Whale (*Delphinapterus leucas*) // *Oceanology*. Vol. 52. № 1. Pleiades Publishing, Inc., 2012. P. 79–87.

71. Panova, E.M., Belikov, R.A., Agafonov, A.V., and Bel'kovich, V.M. Tonal signals of the beluga whale (*Delphinapterus leucas*) of the Myagostrov school (White Sea, Onega Bay) // *Zool. Zh.* Vol. 91. № 6. 2012. P. 721–733.

72. Panova, E.M., Belikov, R.A., Agafonov, A.V., Bel'kovich, V.M. The Relationship between the behavioral activity and the underwater vocalization of the beluga whale (*Delphinapterus leucas*) // *Okeanologiya*. Vol. 52. № 1. 2012. P. 79–87.

73. Pourhomayoun M., Dugan P., Popescu M., Clark C. Bioacoustic signal classification based on continuous region processing, grid masking and artificial neural network // *ICML. Proceedings: workshop on machine learning for bioacoustics, Atlanta, GA 2013, 2013*. P. 61–66.

74. Rendell L.E., Whitehead H. Culture in whales and dolphins // *Behavioral and Brain Sciences*. Vol. 24. № 2. 2001. P. 309-382.

75. Rose N. *Research in Zoos and Aquariums*. Washington, D.C: Institute of Laboratory Animal Resources, National Academy of Sciences, 1975. 254 p.

76. Rose N. *The case against Marine Mammals in captivity*. Washington, D.C: Institute of Laboratory Animal Resources, National Academy of Science, 2006. 184 p.

77. Simon M., Stafford K.M. Singing behavior of fin whales in the Davis Strait with implications for mating, migration and foraging // *Journal of the acoustical society of America*. Vol. 128. № 5. 2010. P. 3200 – 3210.

78. Small R.J., Brost B. Potential for spatial displacement of Cook Inlet beluga whales by anthropogenic noise in critical habitat // *Endangered Species Research*. Vol. 32(1). 2017. P. 43-57.

79. Smith T.G., Hammil M.O., Martin A.R. Herd composition and behavior of white whales (*Delphinapterus leucas*) in two Canadian arctic estuaries // *Medd. Gron. Bioscience*. Vol. 39. 1994. P. 175-184.

80. Smultea M., Dagmar F. Cetacean Mother-calf Behavior Observed from a Small Aircraft off Southern California // *Animal Behavior and Cognition*. Vol. 4(1). 2017. P. 1-23.

81. Walter M. X. Zimmer. *Passive Acoustic Monitoring of Cetaceans*. Cambridge University Press, 2014. 368 p.

82. Watkins W.A., Wartzok D. Sensory biophysics of marine mammals // *Marine Mammal Science*. Vol. 1. 1985. P. 219-260.

83. Watwood, S.L., Owen, E.C.G., Tyack, P.L., Wells, R.S. Signature whistle use by temporarily restrained and free-swimming bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus* // *Anim. Behav.* Vol. 69. 2005. P. 1373–1386.

84. Whitt A., Jefferson T. A review of marine mammal records of Cuba. // *Latin American Journal of Aquatic Mammals.* 2011. Vol. 9 No. 2.

85. Wilson E.O. *Sociobiology: The New Synthesis.* Cambridge: Harvard University Press, 1975. 720 p.

Электронные ресурсы

1. The IUCN Red List of Threatened Species // *Delphinapterus leucas*, 2012. URL: <http://www.iucnredlist.org/details/6335/0>

(дата обращения: 12.11.2016).

2. Kamogawa Seaworld // *Vision and Research Activities*, 2017. URL.: <http://www.kamogawa-seaworld.jp/english/research/>

(дата обращения: 15. 04. 2017).

3. BBC Earth // *Can any animals talk like humans*, 2007. URL.: <http://www.bbc.com/earth/story/20150216-can-any-animals-talk-like-humans>

(дата обращения: 14.03.2017).

4. Scarica // *Белухотерапия в Сочи*, 2016. URL.: <http://dizi-izle.xyz/watch/a3syZAIImnaU/->
.html

(дата обращения: 03.05.2017).