

УДК 599.53:59.087

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРЕДПОЛАГАЕМЫХ ИДЕНТИФИКАЦИОННЫХ “КОНТАКТНЫХ СИГНАЛОВ” БЕЛУХ *DELPHINAPTERUS LEUCAS* ДЛЯ МОНИТОРИНГА ИХ СЕЗОННЫХ ЛОКАЛЬНЫХ СКОПЛЕНИЙ: ПИЛОТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

© 2024 г. Е. М. Панова^{1, *}, А. В. Агафонов^{1, 2}¹ Институт океанологии им. П.П. Шишова РАН, Москва, Россия² Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН – филиал ФГБУН ФИЦ
Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН, Феодосия, пгт. Курортное, Россия

* e-mail: baralginsp@yandex.ru

Поступила в редакцию 02.08.23 г.

После доработки 22.08.2023 г.

Принята к публикации 09.11.2023 г.

С недавних пор при исследовании афалин *Tursiops truncatus* применяется метод индивидуальной акустической идентификации, основанный на распознавании дельфинов по уникальным для каждой особи сигналам – “свистам-автографам”. Некоторые другие виды зубатых китообразных, возможно, также обладают индивидуально-специфичными сигналами: например, у белух *Delphinapterus leucas* это так называемые контактные сигналы. В данном пилотном исследовании мы оценили возможность использования предполагаемых контактных сигналов белух для получения сведений о посещаемости, численности и индивидуальном составе их локальных скоплений в естественной среде. Показано, что разнообразие контактных сигналов может служить приемлемым показателем численности особей, присутствующих на акватории; кроме того, эти сигналы потенциально применимы для индивидуальной акустической идентификации у белух.

Ключевые слова: китообразные, белуха *Delphinapterus leucas*, акустическая коммуникация, контактные сигналы, индивидуальная акустическая идентификация

DOI: 10.31857/S0030157424040082, EDN: PRKREI

ВВЕДЕНИЕ

Китообразные – уникальная группа млекопитающих, перешедших к полностью водному образу жизни. Ведущее значение в их жизнедеятельности приобретает акустическая сигнализация: китообразные используют звук для коммуникации, ориентации, навигации, а также при поиске и поимке добычи [30, 67]. Акустические сигналы китообразных могут содержать идентификационную информацию различного рода, на основе которой потенциально возможно акустическое распознавание видов [9, 12, 13, 50], популяций [10, 54] и даже отдельных особей [34].

Ярким примером сигналов с выраженной индивидуально-специфичной структурой являются свисты-автографы афалин *Tursiops truncatus* [15]. Эти сигналы имеют уникальный для каждой особи характер частотной модуляции (“частотный контур”, видимый на спектрограмме), который играет ключевую роль в индивидуальном рас-

познавании дельфинов [17, 34, 61, 66]. Полагают, что свисты-автографы служат для поддержания контакта и координации между членами группы, при этом их доля может составлять более 90% от всех сигналов, издаваемых дельфином [17, 35, 77]. Свисты-автографы формируются в течение первого года жизни особи, постепенно приобретая стереотипность (т. е. стабильность частотно-временных параметров) частотного контура [16], после чего могут оставаться неизменными на протяжении 12–25 лет [39, 60].

Благодаря стереотипной структуре и продуцированию в виде серий свисты-автографы могут быть идентифицированы в аудиозаписях, полученных в естественной среде, когда невозможно изолировать дельфина от группы или локализовать источник звука [33], а высокая индивидуальная специфичность частотного контура позволяет распознавать сигналы разных особей при визуальном анализе спектрограмм [32, 59]. Таким

образом, свисты-автографы могут быть использованы для выявления и отслеживания отдельных особей аналогично фотоидентификации — методу, основанному на индивидуальном распознавании животных по естественным маркерам на теле, который применяется в исследованиях китообразных с начала 1970-х гг. [78]. Метод индивидуальной акустической идентификации был апробирован в нескольких популяциях афалин [3, 11, 43], позволив получить данные о численности, структуре групп и пространственно-временном распределении особей. В будущем он, возможно, может быть распространен и на другие виды зубатых китообразных. Так, на сегодняшний день получены прямые или косвенные свидетельства наличия сигналов с индивидуально-специфичной структурой у других видов дельфинов [24, 28, 42, 69], а также представителей семейства нарваловых — нарвала *Monodon monoceros* [7, 62] и белухи *Delphinapterus leucas* [47, 49, 53].

Белухи населяют арктические и субарктические воды Северной Америки и Евразии и наряду с некоторыми другими видами морских млекопитающих признаны одним из ключевых видов-индикаторов состояния арктических экосистем [68]. Благодаря высокой вокальной активности белух акустический мониторинг в настоящее время является эффективным инструментом при проведении долгосрочных исследований их встречаемости, сезонного распределения и миграций [18, 21, 26, 40]. Хотя функции большинства типов вокализаций белух остаются малопонятными [5, 64], исследования последних лет позволили выявить так называемые контактные сигналы — стереотипные, многократно повторяющиеся звуки, которые эти китообразные издают в ситуациях изменения состава группы, рождения или смерти детеныша, при стрессовых условиях, а также в вокальных обменах между животными [47–49, 53, 72, 73]. Эти сигналы представляют собой серии широкополосных импульсов, иногда содержащие дополнительный узкополосный компонент, в соответствии с чем обозначаются как “простые” и “комплексные” контактные сигналы [74]. Стереотипная структура контактных сигналов позволяет подразделять их на отдельные типы, различимые визуально (по спектрограммам) и на слух [53, 73, 74]. Исследования в неволе показывают, что индивидуальные вокальные репертуары белух могут содержать от одного до 2–4 вариантов контактных сигналов, которые уникальны для особи или небольшой социальной группы — обычно матери и ее потомства [8, 47, 49, 53, 73]. У свободноживущих белух также были обнаружены похо-

жие по структуре и возможной функции сигналы [70, 73–75]. Их типовое разнообразие напрямую связано с количеством особей, присутствующих в период проведения записи, что согласуется с тем, что дикие белухи, так же как содержащиеся в неволе, обладают индивидуально- и/или семейно-специфичными сигналами [52, 74]. Предполагают, что в сообществах этих китообразных индивидуально-специфичные сигналы могут быть необходимы для поддержания индивидуализированных связей, тогда как общие семейные типы сигналов — служить для взаимного распознавания матери и потомства в больших скоплениях животных [73, 74].

Таким образом, подобно свистам-автографам афалин, контактные сигналы белух представляются хорошим кандидатом в качестве “акустических маркеров” отдельных особей или социальных групп, что позволяет использовать их как идентификационный инструмент при проведении исследований белух в естественной среде. Например, для популяции белух из эстуария р. Св. Лаврентия уже инициированы работы по сопоставлению конкретных типов сигналов с особями, идентифицированными по фотографиям [74]. Наше исследование осеннего скопления белух в устье р. Варзуга (Белое море, Россия) показало, что возможные контактные сигналы, среди которых удалось выделить несколько десятков типов, могут составлять более половины вокальной продукции белух [52]. Хотя условия записи не позволяли установить конкретных продуцентов сигналов, анализ вокальных последовательностей, основанный на измерениях интервалов между соседними звуками, показал, что сигналы разных типов, по-видимому, принадлежали разным особям (т. е. были индивидуально-специфичны), а характер их продуцирования был сходен с вокальными обменами [52]. В данном пилотном исследовании мы оценили возможность использования предполагаемых контактных сигналов (без их привязки к конкретным особям) в дополнение к количественным показателям вокальной активности белух для мониторинга их встречаемости и численности в местах сезонных локальных скоплений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Сбор данных

Полевые работы были проведены в устье р. Варзуга (66° 16' N, 36° 56' E), расположенном на южном побережье Кольского полуострова (Кандалакшский залив Белого моря, Россия),

с 30 августа по 25 сентября 2019 г. Появление белух в районе устья приурочено к осенней нерестовой миграции атлантического лосося (семги) *Salmo salar*, пик которой приходится на конец сентября – ноябрь [76]. Группы белух, посещающих устье в это время, состоят преимущественно из взрослых самцов, что подтверждают результаты генетического анализа проб, полученных методом биопсии: показано, что все отобранные в октябре 2010–2012 гг. образцы ($N = 21$) принадлежали самцам [63]. По-видимому, такое смещение выборки в сторону самцов является результатом поло-возрастной сегрегации стад [63], характерной для этих социальных китообразных [46].

Подводные акустические сигналы белух записывали с помощью сферического гидрофона, установленного у дна реки приблизительно в 150 м от устья и соединенного кабелем с регистрирующей аппаратурой, расположенной на берегу. Для записи использовали цифровой рекордер Tascam DR-60D MK2 (40 Гц – 40 кГц $\pm 0.5/-3$ дБ, 16 бит, частота дискретизации 96 кГц). Расположение гидрофона вблизи устья позволяло записывать звуки как от зашедших в реку белух, так и от животных, находящихся в море напротив устья. Однако в последнем случае часть сигналов могла быть акустически изолирована расположенной здесь песчаной косой (рис. 1).

Продолжительные круглосуточные аудиозаписи, сохраняемые в файлы объемом по 500 Мб, были сделаны с 1 по 25 сентября 2019 г. (за исключением двух технических перерывов: в течение 3 ч 5 сентября и 16 ч – в ночь с 21 на 22 сентября). Параллельные визуальные наблюдения осуществлялись в светлое время суток (с 6:00 до 19:00–20:00) невооруженным глазом или с помощью биноклей (7×50) с берега на высоте около 2 м над уровнем моря (рис. 1). Численность белух оценивалась приблизительно по количеству животных, наблюдаемых в момент всплытия для вдоха, и может рассматриваться как минимальное число животных, реально присутствующих на акватории.

Формирование каталога потенциальных контактных сигналов белух

Анализ полученных аудиозаписей проводили в программе Adobe Audition 3.0 (1992–2007 Adobe Systems Inc.). Аудиофайлы, не содержащие сигналов белух, были удалены, а все обнаруженные сигналы или их серии (за исключением эхолокационных сигналов) были сохранены в виде отдельных файлов с указанием даты и времени записи. Среди сигналов были выбраны стереотипные повторяющиеся звуки – сигналы со стабильными частотно-временными параметрами, встреченные в записях два или более раз. На основе

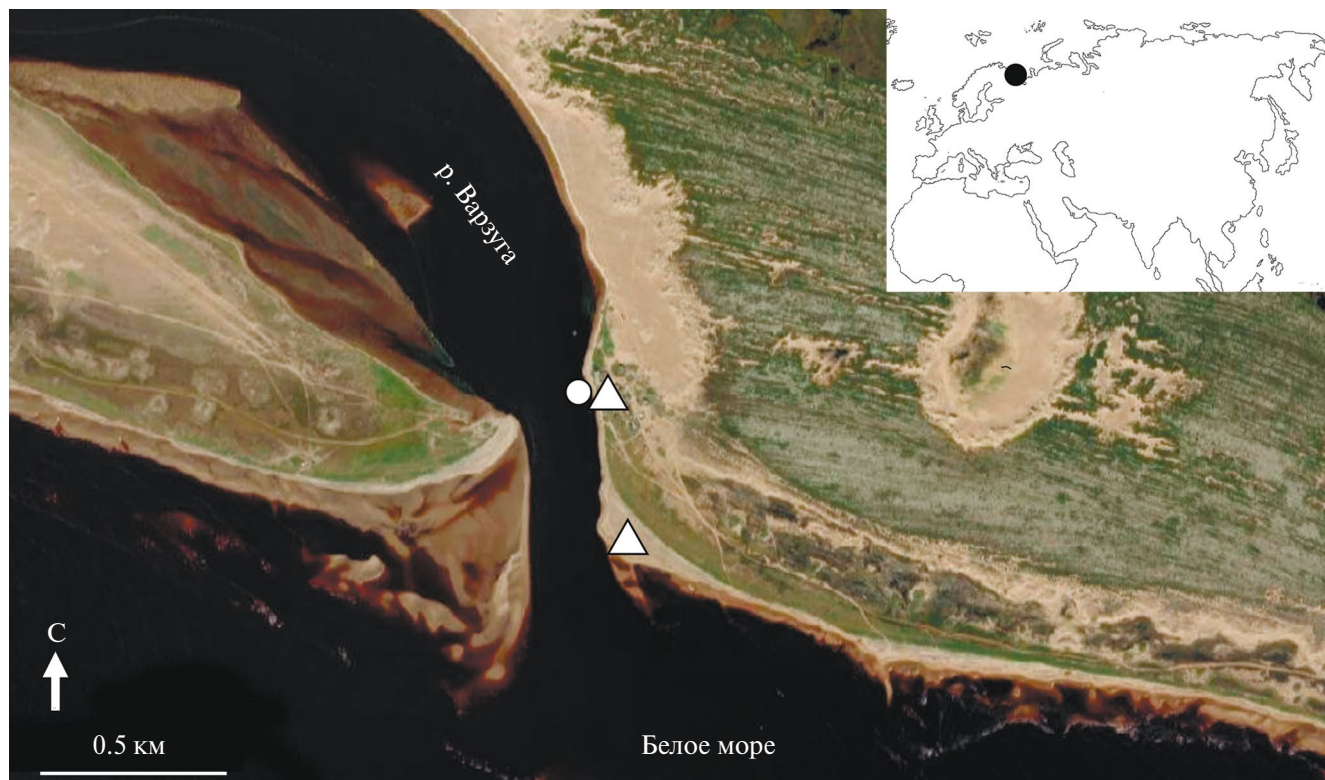


Рис. 1. Схема района проведения работ (источник изображения: www.arcgis.com). Кругом обозначено место установки гидрофона, треугольниками — точки береговых визуальных наблюдений.

визуального сходства спектрограмм и звучания эти сигналы были разделены на отдельные типы, которым были присвоены порядковые номера. Данный подход, основанный на субъективном визуальном и аудиторном анализе звуков, широко используется при классификации вокализаций зубатых китообразных [32, 37, 42, 55, 58, 59], в том числе белух [48, 74]. Потенциальные контактные сигналы среди выделенных типов звуков были идентифицированы по критериям, сформулированным в ранее опубликованных работах [74, 75]: это стереотипные широкополосные простые импульсные или комплексные двухкомпонентные сигналы длительностью не менее 0.4 с, которые хотя бы раз были обнаружены в виде серии из двух или более однотипных сигналов, следующих друг за другом с интервалом не более 10 с. Из отобранных типов сигналов был сформирован каталог потенциальных контактных сигналов (которые далее будем обозначать как “контактные сигналы”).

Анализ данных

Для каждого дня наблюдений были получены два показателя вокальной активности белух: точное количество акустических сигналов, косвенно определенное как суммарная продолжительность отобранных аудиофайлов со звуками белух (выражено в секундах), и количество идентифицированных типов контактных сигналов. Для более детального анализа было сформировано десять одночасовых аудиофрагментов (не более одного за сутки), соответствующих периодам, когда белухи наблюдались непосредственно в реке в районе места установки гидрофона, но отсутствовали в море напротив устья. Для каждого часового фрагмента были получены три показателя вокальной активности белух: частота сигнализации (сигналов/час), рассчитанная для всех сигналов и только для контактных сигналов, и количество идентифицированных типов контактных сигналов. Для оценки взаимосвязи между показателями вокальной активности белух и их численностью была использована ранговая корреляция Спирмена. Поскольку аудиозаписи за 5, 21, 22 и 25 сентября не охватывали полные сутки, они не были включены в анализ суточных данных. Статистический анализ проведен в ППП Statistica 8.0 (1984–2008 StatSoft Inc.).

РЕЗУЛЬТАТЫ

За 25 дней проведения аудиозаписей акустические сигналы белух регистрировались 22 дня, из которых 19 дней животные также наблюдались

визуально. Количество единовременно наблюдаемых белух, входящих в реку или покидающих ее, варьировало от 1 до 19 особей, и в целом было выше во второй половине сентября (рис. 2). В группах были отмечены только взрослые (белые) белухи, и только однажды (23 сентября) была замечена особь с детенышем. Все случаи, когда животные не наблюдались визуально, но были зарегистрированы акустически, приходились на темное время суток.

Всего было получено 172 ч 46 мин аудиозаписей, содержащих, по оценке, более 10 тыс. звуков белух. Среди них было выделено >200 типов стереотипных сигналов, из которых 121 тип соответствовал критериям контактных сигналов и вошел в каталог. 61 тип контактных сигналов, будучи зарегистрирован впервые, был встречен в последующие дни (рис. 3, 4). Некоторые типы отмечались ежедневно с момента первой регистрации или с промежутками в 1–2 дня. Количество типов контактных сигналов, обнаруженных за сутки, варьировало от 1 до 41. Наибольшее количество типов регистрировалось начиная с 18 сентября, при этом 18–20 сентября наблюдался максимальный прирост новых типов сигналов (рис. 2, 3).

Показана сильная положительная корреляция между максимальным количеством белух, зарегистрированным в течение дня, и суточным количеством акустических сигналов ($r_s = 0.91$, $p < 0.001$, $N = 21$), а также количеством идентифицированных типов контактных сигналов ($r_s = 0.93$, $p < 0.001$, $N = 21$). Анализ часовых записей также показал сильную корреляцию между количеством белух и частотой сигнализации, рассчитанной для всех сигналов ($r_s = 0.90$, $p < 0.001$, $N = 10$), рассчитанной только для контактных сигналов ($r_s = 0.89$, $p < 0.001$, $N = 10$), а также количеством идентифицированных типов контактных сигналов ($r_s = 0.97$, $p < 0.001$, $N = 10$) (рис. 5).

ОБСУЖДЕНИЕ

Данная работа продемонстрировала, что показатели вокальной активности белух могут служить удобным индикатором их присутствия и относительной численности в местах локальных скоплений. Переход от акустических данных к оценке абсолютного числа животных в зоне приема гидрофона является актуальной и не до конца решенной задачей. Достаточно простой и доступный способ расчета может быть основан на показателях частоты сигнализации — количестве сигналов, зарегистрированных за единицу времени [71]. Однако частота сигнализации

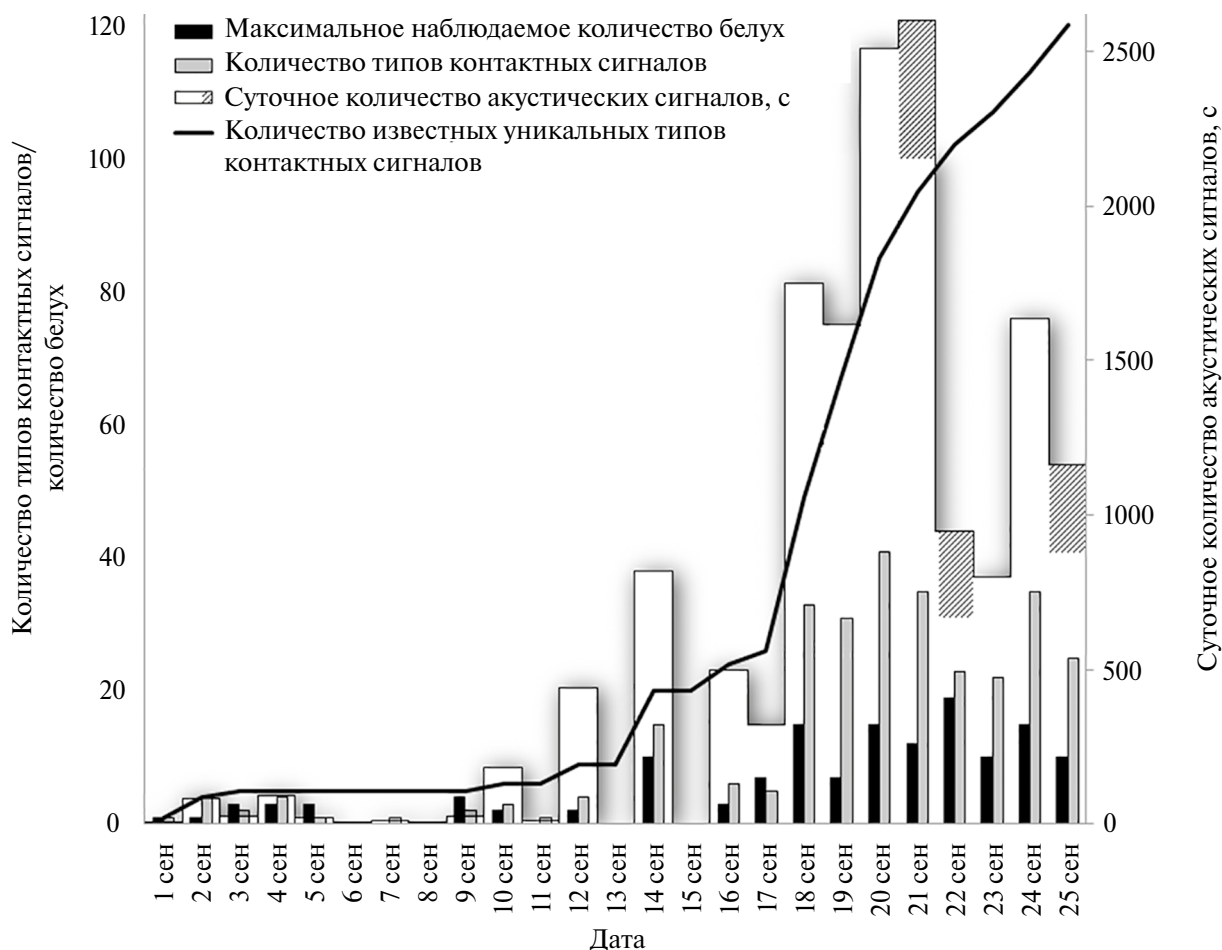


Рис. 2. Динамика вокальной активности (суточное количество акустических сигналов и количество типов контактных сигналов) и максимальной численности белух, единовременно наблюдавшихся на акватории, в период с 1 по 25 сентября 2019 г. Линией отображено накопление известных типов контактных сигналов. Данные за 5, 20, 21 и 25 сентября охватывают неполные сутки; для этих дней введена пропорциональная поправка к суточному количеству акустических сигналов, учитывающая недостающее количество часов (обозначена штриховкой).

не всегда служит надежным признаком размера групп китообразных, поскольку может варьировать в зависимости от типа их активности и состава [19, 25, 36, 56], времени суток [20, 27] и других факторов [14, 41], а также в разных популяциях [36]. Так, в смешанных скоплениях беломорских белух, состоящих преимущественно из самок и неполовозрелых особей, частота сигнализации была на порядок выше, чем в группах взрослых животных из Варзуги, и варьировала в зависимости от типа их активности [2, 5, 52]. При этом она могла не зависеть от общей численности присутствующих животных, а в расчете на особь даже могла уменьшаться с увеличением числа животных [Панова, неопubl. данные] — так же, как у афалин [22, 56]. Для белух характерны как вспышки акустической активности — например, при социальных взаимодействиях [2] или тревоге [1], так и необычайная молчаливость — возможно, как стратегия затаивания [38]. Интен-

сивность продуцирования белухами контактных сигналов также зависит от пола, возраста или ситуации [47, 48, 51, 73]. Например, в естественной среде контактные сигналы чаще встречались в стадах с детенышами (11.8% от всех сигналов), чем в группах более взрослых животных (6%), и чаще в контексте изоляции (61%), чем во время свободного плавания (10%) [74, 75]. Таким образом, для белух, как и для некоторых других видов морских млекопитающих [44, 57, 71], частота сигнализации может использоваться для расчетов численности групп, однако требует предварительного решения ряда проблем, связанных с контекстной изменчивостью данного параметра: например, коррекции для каждого места, времени и текущих условий [44, 45].

Мы предполагаем, что альтернативным показателем численности групп белух может служить количество типов издаваемых ими контактных сигналов — по крайней мере, в тех случаях, когда

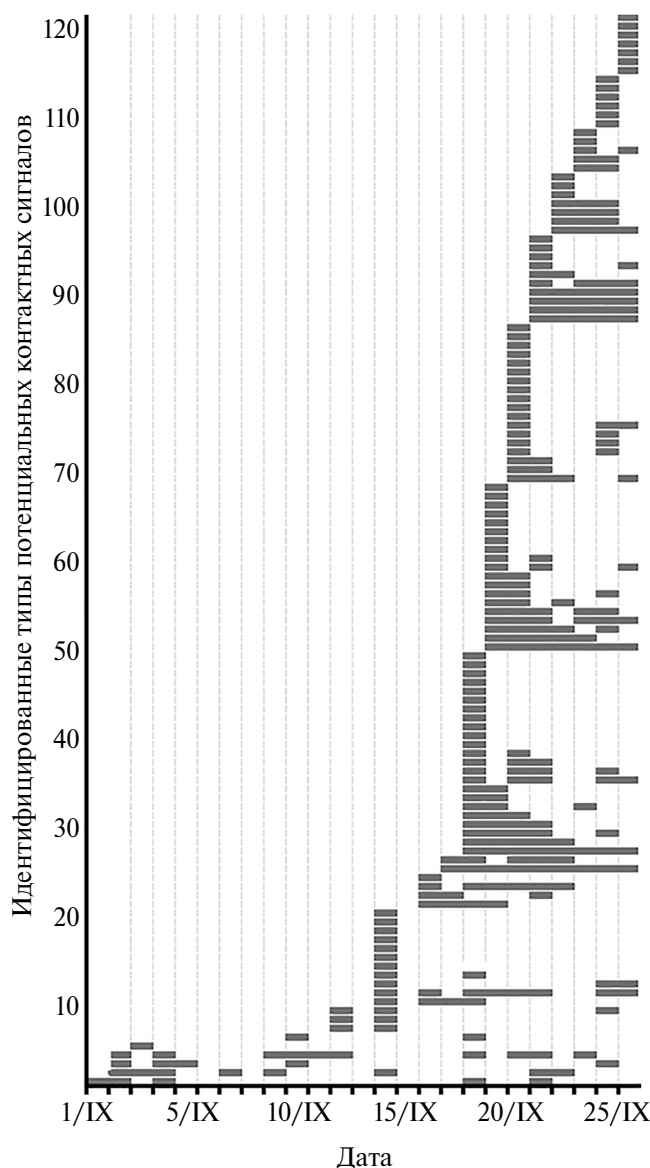


Рис. 3. Встречи 121 типа потенциальных контактных сигналов в каждый день наблюдений с 1 по 25 сентября 2019 г.

эти сигналы составляют существенную долю их вокализаций. Так, в исследовании [74], где авторы имели возможность записывать белух, изолированных в период отлива в одном из дельтовых рукавов р. Каннингэм (зал. Каннингэм, Канада), взаимосвязь между числом особей (без учета детенышей) и разнообразием их контактных сигналов (учитывались только комплексные типы) была очень сильной (линейная регрессия: $R^2 = 0.91$, $N = 14$). При этом количество типов контактных сигналов никогда не превышало число особей, точный подсчет которых был возможен благодаря надводной фотосъемке. Доля контактных сигналов в данной ситуации была достаточно высока, составляя 61% [74]. У варзугских белух

контактные сигналы составляли около 58% вокализаций [52], а их разнообразие также выражено коррелировало с количеством наблюдаемых животных. Таким образом, оценка численности белух в зоне приема гидрофона, основанная на количестве типов контактных сигналов, обнаруженных в аудиозаписях, потенциально может быть реализована с использованием простого регрессионного подхода.

Как и в предшествующих работах [74, 75], в настоящем исследовании предполагаемые контактные сигналы были идентифицированы на основании их стереотипной структуры и серийного характера излучения; при этом конкретные особи – продуценты сигналов не могли быть установлены. Подобный подход, получивший название SIGID – “SIGnature IDentification”, – разработан [33] и используется [31, 43] для выделения свистов-автографов у свободноживущих афалин; однако он нашел применение для выявления возможных индивидуально-специфичных вокализаций и у других видов зубатых китообразных [7, 24]. Мы полагаем, что SIGID-метод может быть адаптирован также для контактных сигналов белух.

Разработка SIGID-метода сделала возможным применение свистов-автографов афалин в рамках метода “мечение – повторный отлов” (“mark – recapture” или “capture – recapture”) [23, 43]. Ключевым моментом данного метода, изначально основанного на мечении и повторном отлове особей из популяции, является способность распознавать животное и определять, обнаружено ли оно повторно или впервые [29]. Помимо данных о численности популяции, на основе индивидуального учета возможно получение других важных популяционных параметров, таких как использование среды обитания, индивидуальные перемещения и связи, выживаемость, расселение и др. [29, 65]. Важными характеристиками свистов-автографов, которые позволяют использовать эти сигналы как индивидуальные акустические маркеры дельфинов, являются высокая частота продуцирования, выраженная индивидуальная специфичность, распространение на дальние расстояния и долгосрочная стабильность [23].

Для апробации подобного подхода в отношении белух в качестве первого шага мы показали возможность отследить отдельные типы потенциальных контактных сигналов на протяжении 25 дней исследования. Основываясь на допущении, что каждый тип сигнала индивидуально-специфичен и соответствуют конкретной

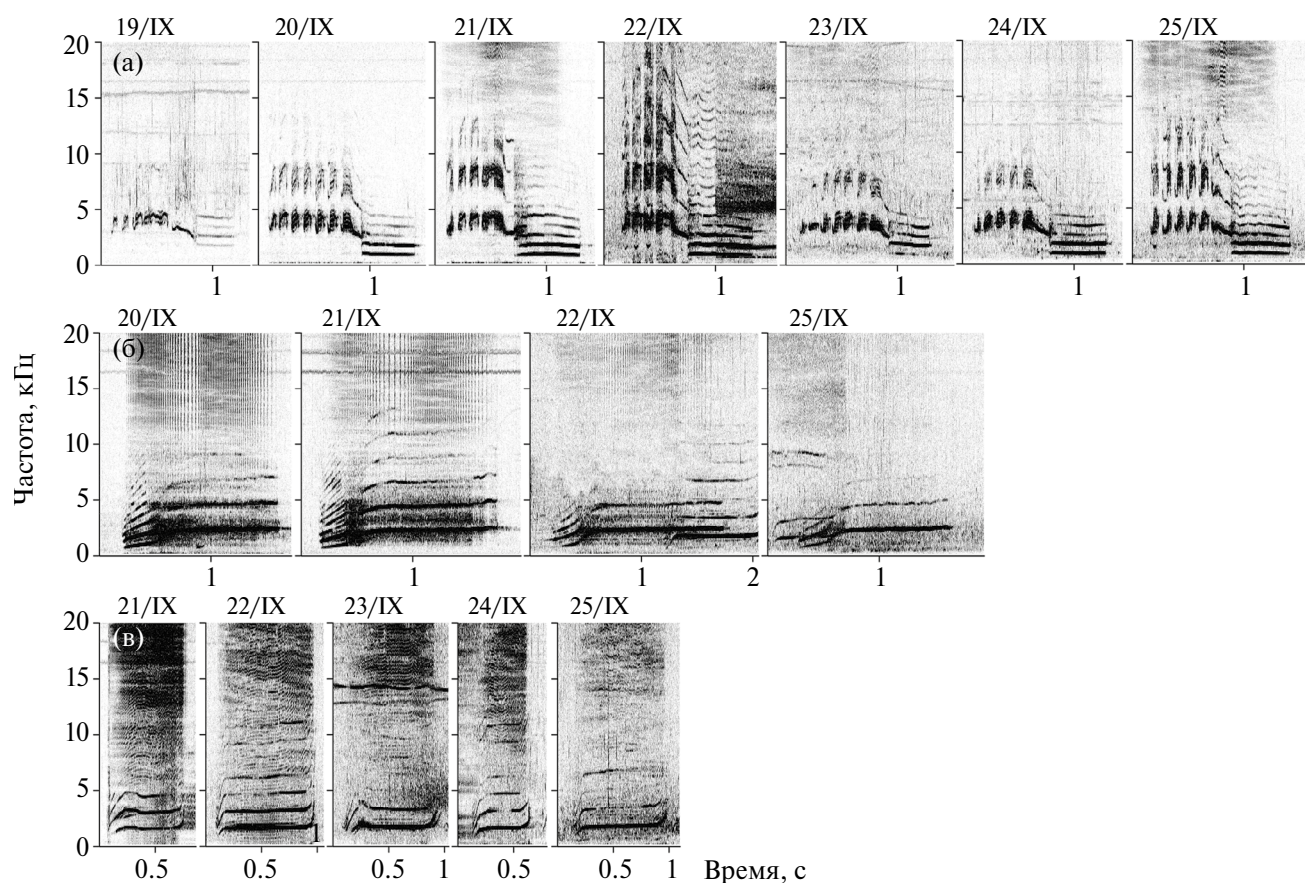


Рис. 4. Примеры потенциальных контактных сигналов белух из устья р. Варзуга. Указаны даты их встреч в аудиозаписях.

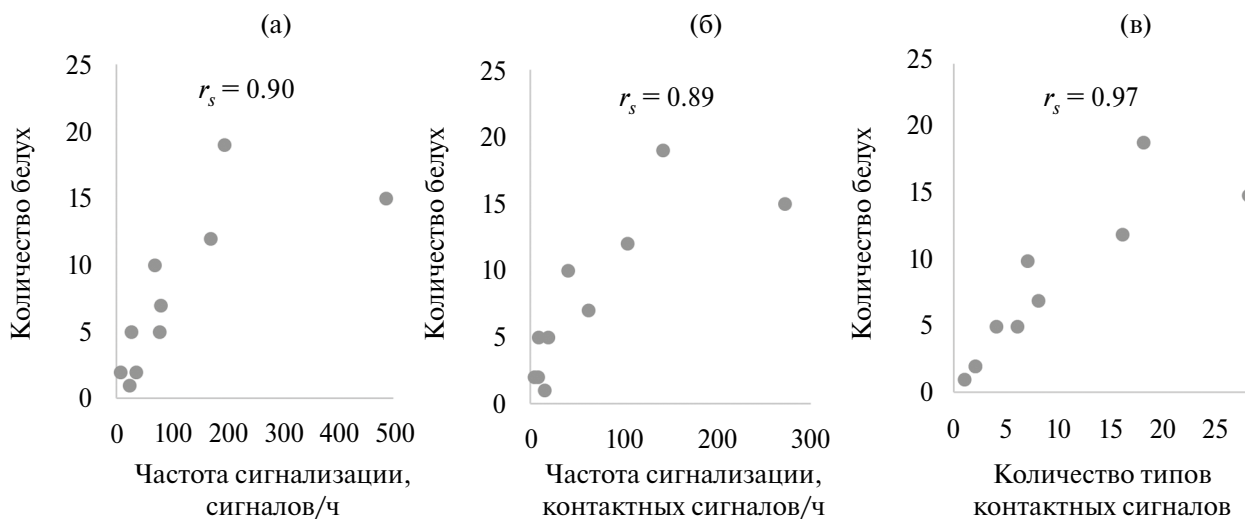


Рис. 5. Взаимосвязь между количеством наблюдаемых белух и частотой сигнализации, рассчитанной для всех сигналов (а), рассчитанной только для контактных сигналов (б), а также количеством идентифицированных типов контактных сигналов (в) в десяти одночасовых аудиозаписях.

особи (косвенные основания для этого были получены ранее: [52]), можно представить следующую гипотетическую картину посещения белухами устья р. Варзуга в сентябре 2019 г. За сутки количество зарегистрированных типов контактных сигналов (до 41) практически всегда превышало максимальное число одновремен-

но наблюдаемых белух (не более 20), что, помимо возможного визуального недоучета, может объясняться сменой индивидуального состава групп, заходящих в устье. Максимальный прирост новых типов сигналов, совпадающий с увеличением числа наблюдаемых животных и суточным количеством их вокализаций, вероятно, мог

быть связан с появлением в данном районе новых особей, приуроченным к началу нерестового хода семги в реку. Всего за период исследования был идентифицирован 121 тип контактных сигналов, что, учитывая обозначенное выше допущение, можно считать минимальной оценкой реального количества особей, посетивших устье за это время. Похожая картина была выявлена в ходе многолетних наблюдений летнего скопления белух у о. Соловецкий в Белом море: хотя в течение суток на акватории может насчитываться 20–30, максимум около 100 белух, по данным фотоидентификации фактическая численность скопления может составлять около 200 особей, обладающих разной степенью привязанности к данной акватории [6].

Несмотря на высокие потенциальные возможности использования контактных сигналов белух для индивидуального акустического учета, их практическое применение по аналогии со свистами-автографами афалин [3, 4, 11, 43] встречает ряд затруднений. Во-первых, белухи реже, чем афалины, издают свои контактные сигналы: у последних на долю свистов-автографов может приходиться более 50% вокализаций в ситуации свободного плавания [19], тогда как у белух она составляет 6–12% [74, 75]. Судя по наблюдениям в неволе, белухи не издают свои контактные сигналы постоянно [47, 51]. Это может привести к неоднородности акустических встреч среди особей, что, впрочем, можно наблюдать и у афалин [43]. Во-вторых, в отличие от “контурных” свистов-автографов, контактные сигналы белух имеют широкополосную импульсную структуру, что осложняет их классификацию, основанную на визуальном анализе спектрограмм. Особенно это касается контактных сигналов, не имеющих узкополосного компонента. В этом случае для выделения индивидуальных типов могут потребоваться инструментальные методы (напр., [47]). Наконец, контактные сигналы белух остаются недостаточно изученными: неизвестно, например, насколько использование общих типов сигналов несколькими особями или наличие нескольких вариаций в индивидуальном репертуаре особи, показанные в неволе [53, 73], распространены среди диких белух; также отсутствуют данные о долгосрочной стабильности контактных сигналов.

На данный момент свисты-автографы афалин являются единственным примером успешного использования идентификационных, индивидуально-специфичных акустических сигналов для изучения сообществ китообразных. В данной

работе мы оценили перспективность использования таких сигналов для получения сведений о посещаемости, численности и индивидуальном составе локальных скоплений белух. Мы полагаем, что разнообразие контактных сигналов может служить приемлемым показателем численности особей, присутствующих на акватории; кроме того, эти сигналы потенциально применимы для индивидуальной акустической идентификации. Для дальнейшего развития исследований в данном направлении необходима разработка критериев, позволяющих надежно идентифицировать контактные сигналы без локализации их источника (аналог SIGID-метода, применяемого для афалин), и накопление необходимых сведений об их индивидуальной специфичности и долгосрочной стабильности. В перспективе возможность выявить и отследить контактные сигналы в аудиозаписях белух делает акустический мониторинг — самостоятельно или в дополнение к традиционным методам исследования (визуальные наблюдения и фотоидентификация) — полезным инструментом для изучения локальных скоплений этих китообразных.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Полевые исследования были основаны на наблюдении животных в естественной среде и не приводили к их беспокойству.

Источник финансирования. Работа выполнена при поддержке РНФ в рамках проекта № 23-24-00181.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беликов Р.А., Белькович В.М. Влияние антропогенного воздействия на акустическую сигнализацию и поведение белух (*Delphinapterus leucas*) // Морские млекопитающие Голарктики. Тезисы докладов Второй международной конференции. 2002. С. 25–26.
2. Беликов Р.А., Белькович В.М. Подводная акустическая сигнализация белух (*Delphinapterus leucas*) в репродуктивном скоплении при различных поведенческих ситуациях // Океанология. 2003. Т. 43. С. 118–126.
3. Логоминова И.В., Агафонов А.В. Локальное сообщество афалин (*Tursiops truncatus ponticus* Barabash, 1940) в акватории юго-восточного Крыма: численность и формирование ассоциаций особей в группах // Океанология. 2021. Т. 61. С. 769–779.
4. Логоминова И.В., Агафонов А.В., Горбунов Р.В. Пространственно-временная динамика локальной популяции черноморской афалины (*Tursiops truncatus ponticus* Barabash, 1940): визуальные и акустические методы описания // Океанология. 2019. Т. 59. С. 108–115.

5. Панова Е.М., Беликов Р.А., Агафонов А.В., Белькович В.М. Зависимость акустической сигнализации белух (*Delphinapterus leucas*) от поведенческого контекста // Океанология. 2012. Т. 52. С. 85–94.
6. Чернецкий А.Д., Краснова В.В. Структура репродуктивного скопления белухи *Delphinapterus leucas* (Pallas, 1776) у острова Соловецкий (Белое море) по результатам фотоидентификации 2007–2013 гг. // Биология моря. 2018. Т. 44. С. 337–346.
7. Ames A.E., Blackwell S.B., Tervo O.M., Heide-Jørgensen M.P. Evidence of stereotyped contact call use in narwhal (*Monodon monoceros*) mother-calf communication // PLoS One. 2021. V. 16. P. e0254393.
8. Ames A.E., Vergara V. Trajectories of vocal repertoire development in beluga (*Delphinapterus leucas*) calves: Insights from studies a decade apart // Aquat. Mamm. 2020. V. 46. P. 344–366.
9. Azzolin M., Gannier A., Lammers M.O. et al. Combining whistle acoustic parameters to discriminate Mediterranean odontocetes during passive acoustic monitoring // J. Acoust. Soc. Am. 2014. V. 135. P. 502–512.
10. Azzolin M., Gannier A., Papale E. et al. Whistle variability of the Mediterranean short beak common dolphin // Aquat. Conserv. Mar. Freshw. Ecosyst. 2021. V. 31. P. 36–50.
11. Bailey H., Fandel A.D., Silva K. et al. Identifying and predicting occurrence and abundance of a vocal animal species based on individually specific calls // Ecosphere. 2021. V. 12. P. e03685.
12. Baumann-Pickering S., McDonald M.A., Simonis A.E. et al. Species-specific beaked whale echolocation signals // J. Acoust. Soc. Am. 2013. V. 134. P. 2293–2301.
13. Berg Soto A., Marsh H., Everingham Y. et al. Discriminating between the vocalizations of Indo-Pacific humpback and Australian snubfin dolphins in Queensland, Australia // J. Acoust. Soc. Am. 2014. V. 136. P. 930–938.
14. Buckstaff K.C. Effects of watercraft noise on the acoustic behavior of bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*, in Sarasota Bay, Florida // Mar. Mammal Sci. 2004. V. 20. P. 709–725.
15. Caldwell M.C., Caldwell D.K. Individualized whistle contours in bottle-nosed dolphins (*Tursiops truncatus*) // Nature. 1965. V. 207. P. 434–435.
16. Caldwell M.C., Caldwell D.K. The whistle of the Atlantic bottlenosed dolphin (*Tursiops truncatus*) – Ontogeny // Behavior of Marine Animals / Ed. Winn H.E. New York: Plenum Press, 1979. P. 369–401.
17. Caldwell M.C., Caldwell D.K., Tyack P.L. Review of the signature-whistle hypothesis for the atlantic bottlenose dolphin // The Bottlenose Dolphin / Eds. Leatherwood S., Reeves R.R. San Diego, California: Academic Press, 1990. P. 199–234.
18. Castellote M., Small R., Lammers M. et al. Seasonal distribution and foraging occurrence of Cook Inlet beluga whales based on passive acoustic monitoring // Endanger. Species Res. 2020. V. 41. P. 225–243.
19. Cook M.L.H., Sayigh L.S., Blum J.E., Wells R.S. Signature-whistle production in undisturbed free-ranging bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) // Proc. Biol. Sci. 2004. V. 271. P. 1043–1049.
20. Deconto L.S., Monteiro-Filho E.L.A. Day and night sounds of the Guiana dolphin, *Sotalia guianensis* (Cetacea: Delphinidae) in southeastern Brazil // Acta Ethol. 2016. V. 19. P. 61–68.
21. Delarue J., Laurinolli M., Martin B. Acoustic detections of beluga whales in the northeastern Chukchi sea, July 2007 to July 2008 // Arctic. 2011. V. 64. P. 15–24.
22. dos Santos M.E., Louro S., Couchinho M., Brito C. Whistles of bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in the Sado Estuary, Portugal: Characteristics, production rates, and long-term contour stability // Aquat. Mamm. 2005. V. 31. P. 453–462.
23. Fearey J., Elwen S.H., Distiller G., Gridley T. Improving detectability of dolphin signature whistles for capture-recapture analysis: an examination of array configuration using real-world data // Mar. Mammal Sci. 2022. V. 38. P. 1489–1507.
24. Fearey J., Elwen S.H., James B.S., Gridley T. Identification of potential signature whistles from free-ranging common dolphins (*Delphinus delphis*) in South Africa // Anim. Cogn. 2019. V. 22. P. 777–789.
25. Fripp D., Tyack P. Postpartum whistle production in bottlenose dolphins // Mar. Mammal Sci. 2008. V. 24. P. 479–502.
26. Garland E.C., Berchok C.L., Castellote M. Temporal peaks in beluga whale (*Delphinapterus leucas*) acoustic detections in the northern Bering, northeastern Chukchi, and western Beaufort Seas: 2010–2011 // Polar Biol. 2015. V. 38. P. 747–754.
27. Goold J.C. A diel pattern in vocal activity of short-beaked common dolphins, *Delphinus delphis* // Mar. Mammal Sci. 2000. V. 16. P. 240–244.
28. Gridley T., Cockcroft V.G., Hawkins E.R. et al. Signature whistles in free-ranging populations of Indo-Pacific bottlenose dolphins, *Tursiops aduncus* // Mar. Mammal Sci. 2014. V. 30. P. 512–527.
29. Hammond P.S. Mark–Recapture // Encyclopedia of marine mammals, 2nd edn. / Eds. Perrin W.F. et al. Academic Press, 2009. P. 705–709.
30. Herman L.M., Tavalga W.N. The communication systems of cetaceans // Cetacean Behavior. Mechanisms and Functions / Ed. Herman L.M. New York: Wiley and Sons, 1980. P. 149–210.
31. Hiley H.M., Perry S., Hartley S., King S.L. What's occurring? Ultrasonic signature whistle use in Welsh bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) // Bioacoustics. 2017. V. 26. P. 25–35.
32. Janik V. Pitfalls in the categorization of behaviour: a comparison of dolphin whistle classification methods // Anim. Behav. 1999. V. 57. P. 133–143.
33. Janik V.M., King S.L., Sayigh L.S., Wells R.S. Identifying signature whistles from recordings of groups of unrestrained bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) // Mar. Mammal Sci. 2013. V. 29. P. 109–122.

34. Janik V.M., Sayigh L.S., Wells R.S. Signature whistle shape conveys identity information to bottlenose dolphins // Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. 2006. V. 103. P. 8293–8297.
35. Janik V.M., Slater P.J.B. Context-specific use suggests that bottlenose dolphin signature whistles are cohesion calls // Anim. Behav. 1998. V. 56. P. 829–838.
36. Jones G.J., Sayigh L.S. Geographic variation in rates of vocal production of free-ranging bottlenose dolphins // Mar. Mammal Sci. 2002. V. 18. P. 374–393.
37. Kaplan M.B., Mooney T.A., Sayigh L.S., Baird R.W. Repeated call types in Hawaiian melon-headed whales (*Peponocephala electra*) // J. Acoust. Soc. Am. 2014. V. 136. P. 1394–1401.
38. Karlsen J.D., Bisther A., Lydersen C. et al. Summer vocalisations of adult male white whales (*Delphinapterus leucas*) in Svalbard, Norway // Polar Biol. 2002. V. 25. P. 808–817.
39. King S.L., Friedman W.R., Allen S.J. et al. Bottlenose dolphins retain individual vocal labels in multi-level alliances // Curr. Biol. 2018. V. 28. P. 1993–1999.
40. Lammers M.O., Castellote M., Small R.J. et al. Passive acoustic monitoring of Cook Inlet beluga whales (*Delphinapterus leucas*) // J. Acoust. Soc. Am. 2013. V. 134. P. 2497–2504.
41. Lesage V., Barrette C., Kingsley M.C.S., Sjare B. The effect of vessel noise on the vocal behavior of belugas in the St. Lawrence River estuary, Canada // Mar. Mammal Sci. 1999. V. 15. P. 65–84.
42. Lima A., Le Pendu Y. Evidence for signature whistles in Guiana dolphins (*Sotalia guianensis*) in Ilhéus, northeastern Brazil // J. Acoust. Soc. Am. 2014. V. 136. P. 3178–3185.
43. Longden E.G., Elwen S.H., McGovern B. et al. Mark-recapture of individually distinctive calls – a case study with signature whistles of bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) // J. Mammal. 2020. V. 101. P. 1289–1301.
44. Marcoux M., Auger-Méthé M., Chmelnitsky E.G. et al. Local passive acoustic monitoring of Narwhal presence in the Canadian Arctic: A pilot project // Arctic. 2011. V. 64. P. 307–316.
45. Marques T.A., Thomas L., Martin S.W. Estimating animal population density using passive acoustics // Biol. Rev. 2013. V. 88. P. 287–309.
46. Michaud R. Sociality and ecology of the odontocetes // Sexual Segregation in Vertebrates: Ecology of the Two Sexes / Eds. Ruckstuhl K.E., Neuhaus P. New York: Cambridge University Press, 2005. P. 303–326.
47. Mishima Y., Morisaka T., Itoh M. et al. Individuality embedded in the isolation calls of captive beluga whales (*Delphinapterus leucas*) // Zool. Lett. 2015. V. 1. P. 27.
48. Mishima Y., Morisaka T., Mishima Y. et al. Redefinition and sexual difference of contact calls in belugas (*Delphinapterus leucas*) // Aquat. Mamm. 2018. V. 43. P. 538–554.
49. Morisaka T., Yoshida Y., Akune Y. et al. Exchange of “signature” calls in captive belugas (*Delphinapterus leucas*) // J. Ethol. 2013. V. 31. P. 141–149.
50. Oswald J.N., Rankin S., Barlow J., Lammers M.O. A tool for real-time acoustic species identification of delphinid whistles // J. Acoust. Soc. Am. 2007. V. 122. P. 587–595.
51. Panova E.M., Agafonov A.V. A beluga whale socialized with bottlenose dolphins imitates their whistles // Anim. Cogn. 2017. V. 20. P. 1153–1160.
52. Panova E., Agafonov A. Possible occurrence of contact calls in all-male groups of free-ranging beluga whales // J. Zool. 2023. V. 320. P. 29–41.
53. Panova E., Agafonov A., Belikov R., Melnikova F. Vocalizations of captive beluga whales, *Delphinapterus leucas*: Additional evidence for contact signature “mixed” calls in belugas // Mar. Mammal Sci. 2017. V. 33. P. 889–903.
54. Papale E., Azzolin M., Cascão I. et al. Macro- and micro-geographic variation of short-beaked common dolphin's whistles in the Mediterranean Sea and Atlantic Ocean // Ethol. Ecol. Evol. 2013. V. 26. P. 392–404.
55. Quick N., Callahan H., Read A.J. Two-component calls in short-finned pilot whales (*Globicephala macrorhynchus*) // Mar. Mammal Sci. 2018. V. 34. P. 155–168.
56. Quick N.J., Janik V.M. Whistle rates of wild bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*): Influences of group size and behavior // J. Comp. Psychol. 2008. V. 122. P. 305–311.
57. Rycyk A.M., Berchem C., Marques T.A. Estimating Florida manatee (*Trichechus manatus latirostris*) abundance using passive acoustic methods // JASA Express Lett. 2022. V. 2. P. 051202.
58. Sayigh L., Quick N., Hastie G., Tyack P. Repeated call types in short-finned pilot whales, *Globicephala macrorhynchus* // Mar. Mammal Sci. 2013. V. 29. P. 312–324.
59. Sayigh L.S., Esch H.C., Wells R.S., Janik V.M. Facts about signature whistles of bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus* // Anim. Behav. 2007. V. 74. P. 1631–1642.
60. Sayigh L.S., Tyack P.L., Wells R.S., Scott M.D. Signature whistles of free-ranging bottlenose dolphins *Tursiops truncatus*: stability and mother-offspring comparisons // Behav. Ecol. Sociobiol. 1990. V. 26. P. 247–260.
61. Sayigh L.S., Wells R.S., Janik V.M. What's in a voice? Dolphins do not use voice cues for individual recognition // Anim. Cogn. 2017. V. 20. P. 1067–1079.
62. Shapiro A.D. Preliminary evidence for signature vocalizations among free-ranging narwhals (*Monodon monoceros*) // J. Acoust. Soc. Am. 2006. V. 120. P. 1695–1705.
63. Shpak O.V., Krasnova V.V., Meshchersky I.G. Annex 18: White Sea (Russia) beluga stock for the global review of Monodontids // Report of the NAMMCO Global Review of Monodontids. NAMMCO, Copenhagen, 2017. P. 163–173.
64. Sjare B.L., Smith T.G. The relationship between behavioral activity and underwater vocalizations of the white

- whale, *Delphinapterus leucas* // Can. J. Zool. 1986. V. 64. P. 2824–2831.
65. Smith H.C., Pollock K., Waples K. et al. Use of the robust design to estimate seasonal abundance and demographic parameters of a coastal bottlenose dolphin (*Tursiops aduncus*) population // PLoS One. 2013. V. 8. P. 2–11.
 66. Tyack P.L. Dolphins whistle a signature tune. Science. 2000. V. 289. P. 1310–1311.
 67. Tyack P.L., Miller E.H. Vocal anatomy, acoustic communication and echolocation // Marine Mammal Biology: An Evolutionary Approach / Ed. Hoelzel, A.R. Oxford: Blackwell Science, 2002. P. 142–184.
 68. Tynan C.T., DeMaster D.P. Observations and predictions of Arctic climatic change: Potential effects on marine mammals // Arctic. 1997. V. 50. P. 308–322.
 69. Van Parijs S.M., Corkeron P.J. Evidence for signature whistle production by a Pacific humpback dolphin, *Sousa chinensis* // Mar. Mammal Sci. 2001. V. 17. P. 944–949.
 70. Van Parijs S.M., Lydersen C., Kovacs K.M. Sounds produced by individual white whales, *Delphinapterus leucas*, from Svalbard during capture // J. Acoust. Soc. Am. 2003. V. 113. P. 57–60.
 71. Van Parijs S.M., Smith J., Corkeron P.J. Using calls to estimate the abundance of inshore dolphins: A case study with Pacific humpback dolphins *Sousa chinensis* // J. Appl. Ecol. 2002. V. 39. P. 853–864.
 72. Vergara V., Barrett-Lennard L.G. Vocal development in a beluga calf (*Delphinapterus leucas*) // Aquat. Mamm. 2008. V. 34. P. 123–143.
 73. Vergara V., Michaud R., Barrett-Lennard L. What can captive whales tell us about their wild counterparts? Identification, usage, and ontogeny of contact calls in belugas (*Delphinapterus leucas*) // Int. J. Comp. Psychol. 2010. V. 23. P. 278–309.
 74. Vergara V., Mikus M.-A. Contact call diversity in natural beluga entrapments in an Arctic estuary: Preliminary evidence of vocal signatures in wild belugas // Mar. Mammal Sci. 2019. V. 35. P. 434–465.
 75. Vergara V., Wood, J., Lesage V. et al. Can you hear me? Impacts of underwater noise on communication space of adult, sub-adult and calf contact calls of endangered St. Lawrence belugas (*Delphinapterus leucas*) // Polar Res. 2021. V. 40. P. 5521.
 76. Veselov A., Primmer C.R., Zubchenko A. et al. Diversity of spawning migration and genetic population structuring of Atlantic salmon, *Salmo salar* in the Varzuga River // Лососевидные Рыбы Восточной Финляндии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2005. P. 211–221.
 77. 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. 2005. V. 69. P. 1373–1386.
 78. Würsig B., Jefferson T.A. Methods of photo-identification for small cetaceans // Report of the International Whaling Commission (Special Issue 12) / Eds. Hammond P.S., Mizroch S.A., Donovan G.P. Cambridge, 1990. P. 43–55.

USING PRESUMED IDENTIFICATION “CONTACT CALLS” OF BELUGA WHALES *DELPHINAPTERUS LEUCAS* TO MONITOR THEIR SEASONAL LOCAL AGGREGATIONS: A PILOT STUDY

E. M. Panova^{a, *}, A. V. Agafonov^{a, b}

^a Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

^b T.I. Vyazemsky Karadag Scientific Station – Nature Reserve of RAS –

Branch of A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Feodosia, Kurortnoye, Russia

* e-mail: baralginsp@yandex.ru

Recently, an acoustic individual identification approach based on the recognition of dolphins by individually distinctive calls – “signature whistles” – has been applied to bottlenose dolphins *Tursiops truncatus*. Some other Odontoceti species may also have individually specific calls: for example, in beluga whales *Delphinapterus leucas*, these are so-called “contact calls”. In this pilot study, we tested the possibility of using the presumed contact calls of belugas to obtain information about the occurrence, number, and individual composition of their local aggregations in the natural environment. We conclude that the diversity of contact calls can serve as an acceptable indicator of the number of individuals in the research area; in addition, these calls are potentially applicable for individual acoustic identification in belugas.

Keywords: cetaceans, beluga whale *Delphinapterus leucas*, acoustic communication, contact calls, individual acoustic identification