

УДК 591.582:599.537

ПОДХОДЫ К КЛАССИФИКАЦИИ ВОКАЛЬНЫХ РЕПЕРТУАРОВ НА ПРИМЕРЕ БИФОНИЧЕСКИХ СТЕРЕОТИПНЫХ ЗВУКОВ РЫБОЯДНЫХ КОСАТОК (*ORCINUS ORCA*) ЮГО-ВОСТОЧНОЙ КАМЧАТКИ

© 2009 г. О. А. Филатова¹, И. Д. Федутин², А. М. Бурдин^{3,4}, Э. Хойт⁵

¹Биологический факультет Московского государственного университета, Москва 119992, Россия
e-mail: alazor@rambler.ru

²Центрально-Лесной Государственный Природный Биосферный Заповедник,
Тверская обл., Нелидовский район 172513, Россия

³Камчатский филиал Тихоокеанского института географии ДВО РАН,
Петропавловск-Камчатский 683024, Россия

⁴Центр по изучению жизни моря, Сьюард 99664, Аляска, США

⁵Общество охраны китов и дельфинов, Норз Бервик EH39 4BE, Великобритания
Поступила в редакцию 22.05.2008 г.

Сформирована основа для стандартизации и сравнения классификаций, создаваемых разными авторами. Категории звуков разных уровней выделены методом ручного разбора, по результатам которого построена дендрограмма. Кластеры дендрограммы сравнивали по частотным параметрам входящих в них звуков. Предложена схема для типологизации бифонических звуков новых групп рыбающих косаток из акватории восточной Камчатки и сопредельных районов.

Китообразные – одни из немногих представителей млекопитающих, для которых характерно вокальное обучение (Janik, Slater, 1997, 2000). Вокальное обучение распространено среди птиц (Kroodsma, Miller, 1996), но редко встречается у млекопитающих. Географические вариации в акустических репертуарах, характерные для многих наземных млекопитающих, являются, как правило, следствием географической изоляции и передаются из поколения в поколение генетически, а не посредством вокального обучения (Никольский, 1980). Специфические вокальные традиции симпатрических групп или субпопуляций, передающиеся посредством вокального обучения, называют диалектами (Conner, 1982). Форд (Ford, 1991) показал, что для рыбающих косаток северо-восточной части Тихого океана характерна система диалектов, уникальных для каждой семейной группы.

Семейная группа (“rod”) рыбающих косаток состоит из одной или нескольких семей, являющихся родственниками по материнской линии (Bigg et al., 1990). Все семьи одной семейной группы имеют общий репертуар стереотипных типов звуков, который составляет диалект данной группы. Некоторые типы звуков могут быть сходными у нескольких семейных групп, другие характерны лишь для одной группы. Чем ближе родство двух групп, то есть чем меньше времени прошло с момента их разделения, тем больше у

них общих типов звуков и, следовательно, выше сходство диалектов (Ford, 1991). Семейные группы, имеющие сходные типы звуков, относят к одному клану; группы, не имеющие общих типов, относят к разным кланам (Ford, 1991). Таким образом, многие ключевые понятия в структуре сообщества косаток (разделение на кланы, разделение на семейные группы с общим диалектом, степень родства семейных групп) опираются на типологию стереотипных звуков.

Однако до сих пор не существует единого критерия того, что считать типом звуков в классификации стереотипных звуков косаток. Большинство существующих классификаций опираются на “характерные, легко различимые особенности” звуков или сонограмм (Ford, 1991; Yurk et al., 2002), но такой подход крайне субъективен. Некоторые авторы склонны создавать более дробные классификации с большим количеством типов, другие, напротив, формируют максимально упрощенную типологию. Например, при классификации стереотипных звуков косаток Авачинского залива было выделено 19 типов и 10 подтипов звуков (Филатова и др., 2004), а в другом исследовании в акватории всей восточной Камчатки от мыса Олюторского до бухты Асача было выделено 11 типов звуков, причем восемь из них оказались общими с другими регионами (Шулежко, Бурканов, 2008). Противоречия обусловлены применением различных способов и методов классифика-

ции, использованием разнородного материала разного объема. Принципы выделения типов звуков косаток не однозначны, так как типы звуков косаток не абсолютно дискретны, они непрерывно изменяются с течением времени (Deeske et al., 2000). Новые типы, видимо, образуются постепенно вследствие дивергенции старых (Bigg et al., 1990; Ford, 1991).

Этот процесс сходен с видообразованием, а в систематике проблему категоризации решают путем создания множества уровней классификации – от царства до подвида. Однако в классификации стереотипных звуков косаток принято выделять только два уровня классификации – тип и подтип (Ford, 1984; Yurk, 2002), но до сих пор нет четкого определения типа звука. Цель данной работы – разработка иерархической многоуровневой системы классификации бифонических стереотипных звуков рыбацких косаток юго-восточной Камчатки. Такая система необходима для стандартизации и сравнения классификаций, создаваемых разными авторами. Мы использовали только бифонические звуки (содержащие низкочастотную и накладывающуюся на нее высокочастотную составляющие), так как они более стереотипны, чем монофонические звуки, и легче поддаются типологизации.

МЕТОДЫ

Материал собран в 2000–2006 гг. в центральной части Авачинского залива п-ва Камчатка. Звуки записывали с надувной моторной лодки на цифровой магнитофон Sony DAT TCD-D100 с моногидрофоном “Offshore Acoustics” с диапазоном частот от 10 Гц до 40 кГц или с мобильной стереосистемой гидрофонов (Filatova et al., 2006). Запись производилась с частотой дискретизации 44.1 или 48.0 кГц. Параллельно животных фотографировали для индивидуального распознавания методом фотоидентификации (Bigg et al., 1983).

Обозначения типов звуков в данной работе приведены согласно каталогу стереотипных звуков (Филатова и др., 2004), дополненному несколькими новыми типами и подтипами, описанными в последние годы. В анализ вошел 31 тип и подтип звуков.

Выделение разных уровней категорий звуков проводили с помощью метода ручного разбора (Janik, 1999; Terry et al., 2001). При этом независимым наблюдателям предлагается разделить набор звуков на типы. Для упрощения доступа к файлам звуков и сонограмм наблюдателям предлагалось классифицировать звуки через Интернет, для чего авторами была разработана специальная программа (http://www.russianorca.com/sounds/classify/classify_files_old/enter.php). Мы последовательно предлагали каждому на-

блюдателю 10 листов, на каждом из которых было расположено по 12 звуков (наблюдатель видел сонограммы и мог прослушать любой звук). Наблюдатель должен был определить, какие из этих 12 звуков принадлежат к одинаковым типам, а какие к разным (также он мог предложить вариант, по которому все 12 звуков относились к разным типам). При анализе для каждой пары звуков мы вычисляли, сколько раз они были отнесены к одному типу, и делили это значение на число наблюдателей, прошедших страницу. Так как на 10 листах, каждый из которых содержал по 12 звуков, мы могли разместить 660 парных сочетаний звуков, а из 31 категории можно получить всего 465 парных сочетаний, то некоторые парные сочетания типов и подтипов неизбежно повторялись. Коэффициент сходства для каждой пары типов и подтипов звуков мы вычисляли путем усреднения полученных вышеописанным способом значений по всем парным сочетаниям этого типа и подтипа. По полученным значениям коэффициентов сходства была построена дендрограмма методом взвешенного попарного среднего.

В классификации звуков косаток приняли участие 11 человек, из которых двое имели опыт работы со звуками косаток, один имел опыт работы со звуками других китообразных (белух), двое имели опыт работ со звуками других животных (наземных млекопитающих и птиц), а шесть человек не имели опыта работы со звуками животных.

На следующем этапе анализа мы сравнивали кластеры дендрограммы по частотным параметрам входящих в них звуков. Для измерений мы выбрали 320 бифонических стереотипных звуков хорошего качества. Измеряли частоту высокочастотной (*hfc*) и низкочастотной (*lfc*) составляющей в шести равномерно отстоящих друг от друга точках (*hfc1-hfc6* и *lfc1-lfc6*, соответственно). Измерения производили с помощью модуля “автоматическое измерение параметров” в программе AviSoft SASLab Pro. Сравнение кластеров проводили с помощью теста Манна-Уитни и дискриминантного анализа. Случайный процент правильного причисления при дискриминантном анализе вычисляли методом рандомизации (Solow, 1990). Для этого исходную выборку случайным образом разбивали на число групп, равное числу классификационных групп при дискриминантном анализе, и затем проводили дискриминантный анализ на вероятность правильного причисления к этим рандомизационным группам. Полученная в результате этой процедуры вероятность правильного причисления к рандомизационным группам считалась величиной случайного причисления при анализе данной выборки (Volodina et al., 2006).

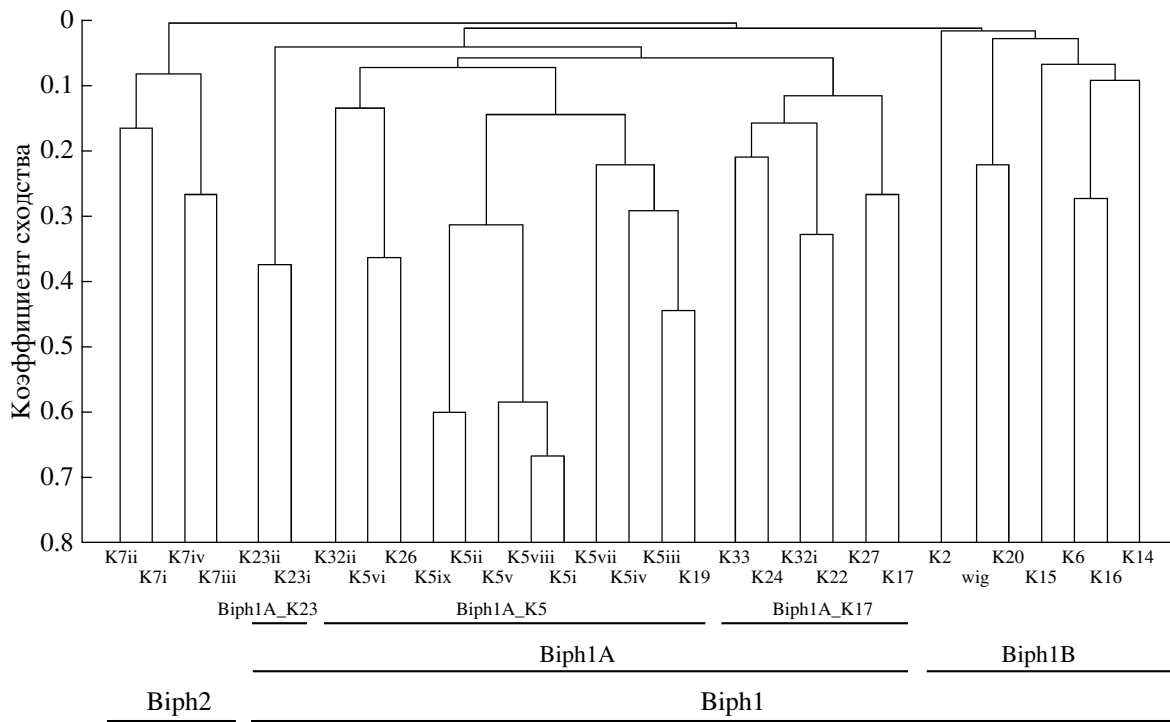


Рис. 1. Дендрограмма, построенная по коэффициентам сходства типов звуков, вычисленным в результате ручного разбора. Под дендрограммой горизонтальными линиями обозначены основные кластеры.

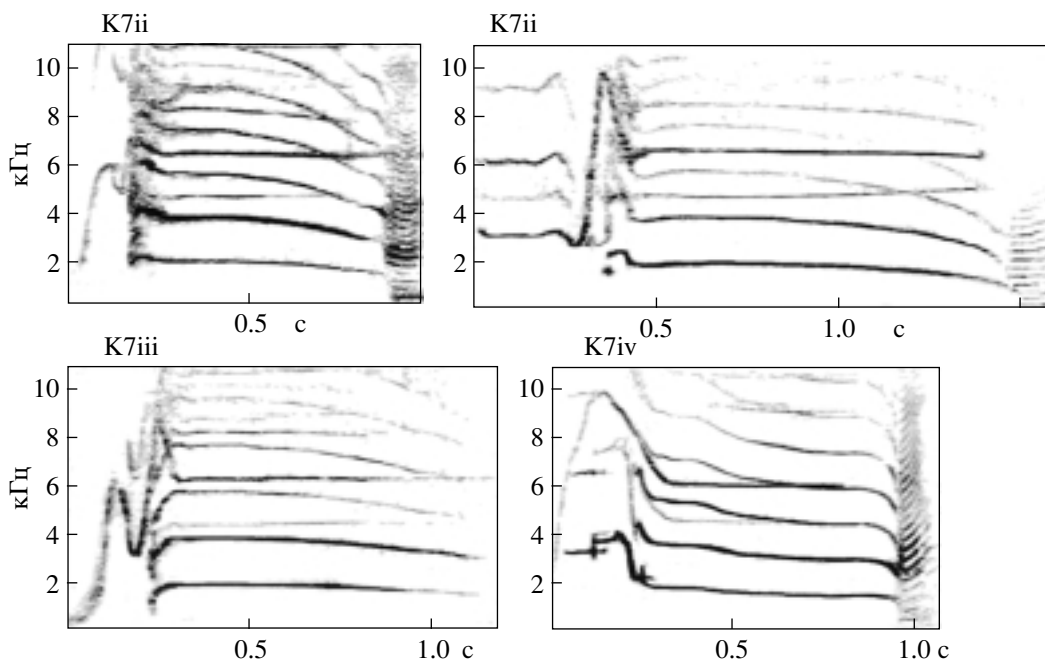


Рис. 2. Сонограммы звуков кластера Biph2.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Дендрограмма (рис. 1), построенная по вычисленной из результатов ручного разбора матрице индексов сходства, позволяет выделить несколько

четких кластеров бифонических звуков рыбоядных косаток юго-восточной Камчатки. Прежде всего, дендрограмма распадается на два кластера Biph2 (рис. 2) и Biph1, к одному из которых относятся все подтипы типа K7, а к другому – все

Таблица 1. Процент правильного причисления звуков косаток при дискриминантном анализе по кластерам Vip1A, Vip1B и Vip2

Кластер	Причисление к предсказанному кластеру			
	% правильного причисления	Vip1A	Vip1B	Vip2
Vip1A	96.65	173	6	0
Vip1B	80.43	9	37	0
Vip2	100.00	0	0	95
Всего	95.31	182	43	95

остальные звуки. Эти кластеры различаются частотой как высокочастотной, так и низкочастотной составляющей (табл. 1). Тест Манн-Уитни показал статистически значимые различия между этими кластерами во всех соответствующих измерениях (для всех $p < 0.001$).

Прямой пошаговый дискриминантный анализ дал 100% правильное причисление к этим кластерам (средняя величина случайного причисления 56.9%). Наибольший вклад в дискриминацию внесли переменные *lfc2* и *hfc4*. Диаграмма рассеивания, построенная по этим переменным, наглядно демонстрирует различия в этих переменных между двумя кластерами (рис. 3). Диапазон изменчивости звуков кластера Vip1 шире, чем кла-

стера Vip2, но оба кластера очевидным образом отделены друг от друга.

Кластер Vip1 распадается на два кластера Vip1A (рис. 4) и Vip1B (рис. 5), однако структурные различия между этими кластерами выражены слабее, чем между кластерами Vip2 и Vip1. Тест Манн-Уитни показал статистически значимые различия во всех соответствующих измерениях между этими кластерами (для всех $p < 0.01$), кроме *lfc3*. Средний процент правильного причисления в дискриминантном анализе по трем кластерам Vip1A, Vip1B и Vip2 составил 95.3% (средняя величина случайного причисления 36.3%), при этом к кластеру Vip2 было правильно причислено 100% звуков, а к кластерам Vip1A и Vip1B – 96.6% и 80.4% соответственно (табл. 1). Диаграмма рассеивания, построенная по двум первым дискриминантным функциям, иллюстрирует сходства и различия между этими тремя кластерами (рис. 6).

На более детальном уровне разделение на выраженные кластеры наблюдается внутри самого обширного кластера Vip1A. Прежде всего, из него выделяются звуки типа K23. Оставшиеся звуки распадаются на два больших кластера, в первый из которых входят звуки всех подтипов типа K5, а также звуки типов K19, K26 и K32ii, а во второй звуки типов K17, K22, K24, K27, K32i и K33. Если посмотреть на сонограммы звуков этих двух кластеров, становится очевидным принцип, по кото-

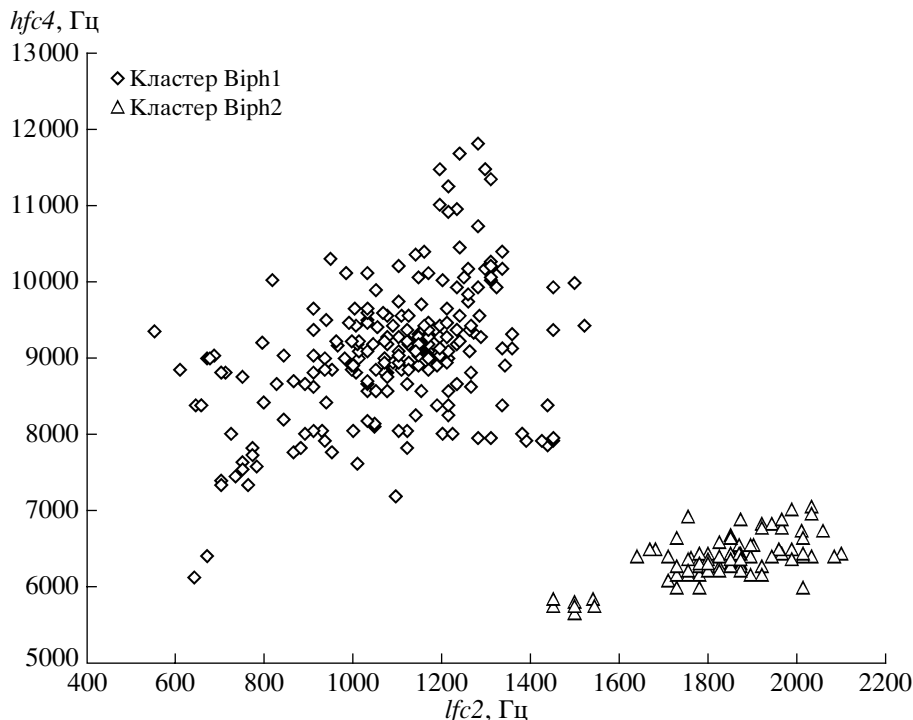


Рис. 3. Диаграмма рассеивания, построенная по переменным *lfc2* (частота низкочастотной составляющей во второй точке) и *hfc4* (частота высокочастотной составляющей в четвертой точке) кластеров Vip1 и Vip2.

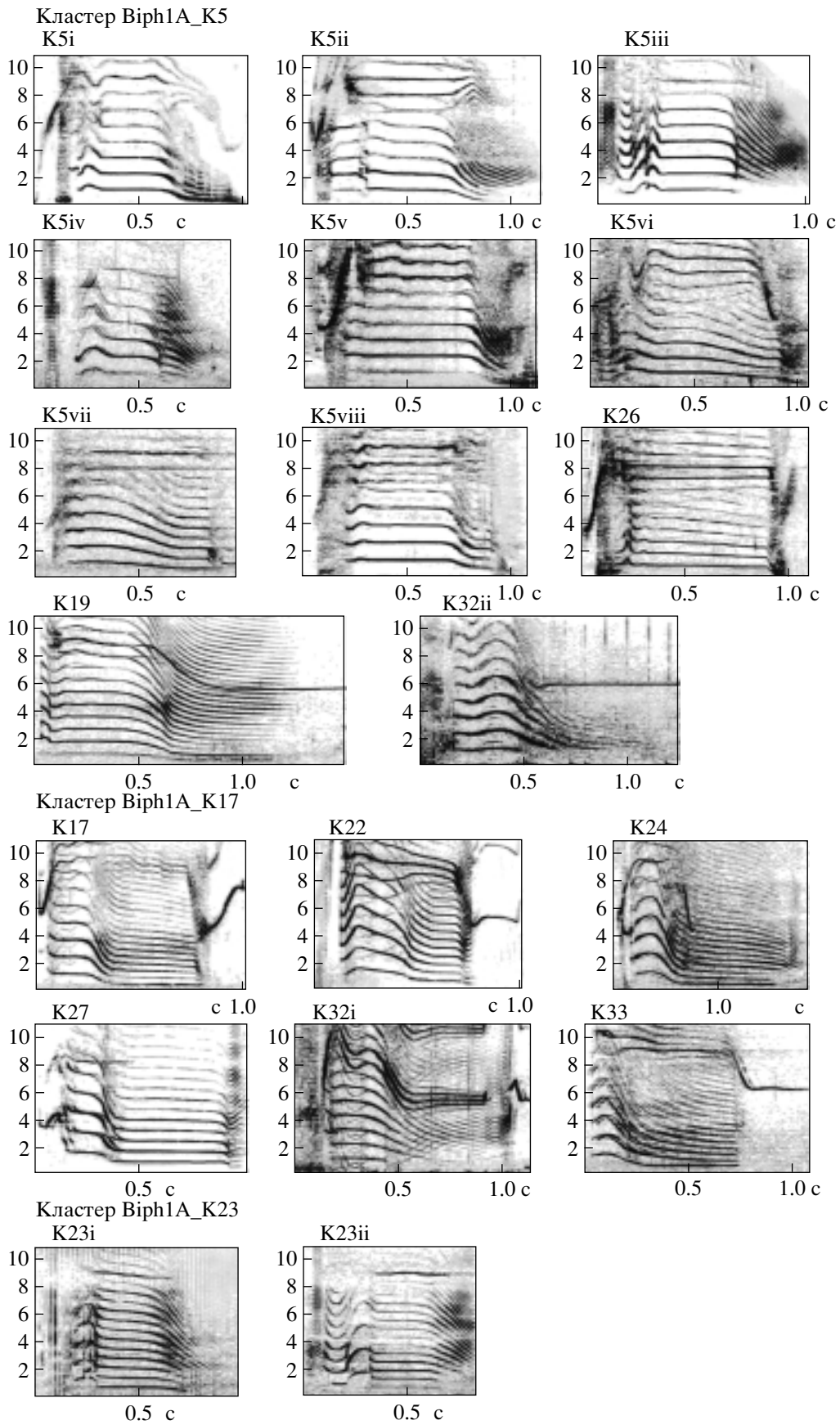


Рис. 4. Сонограммы звуков кластера Viph1A.

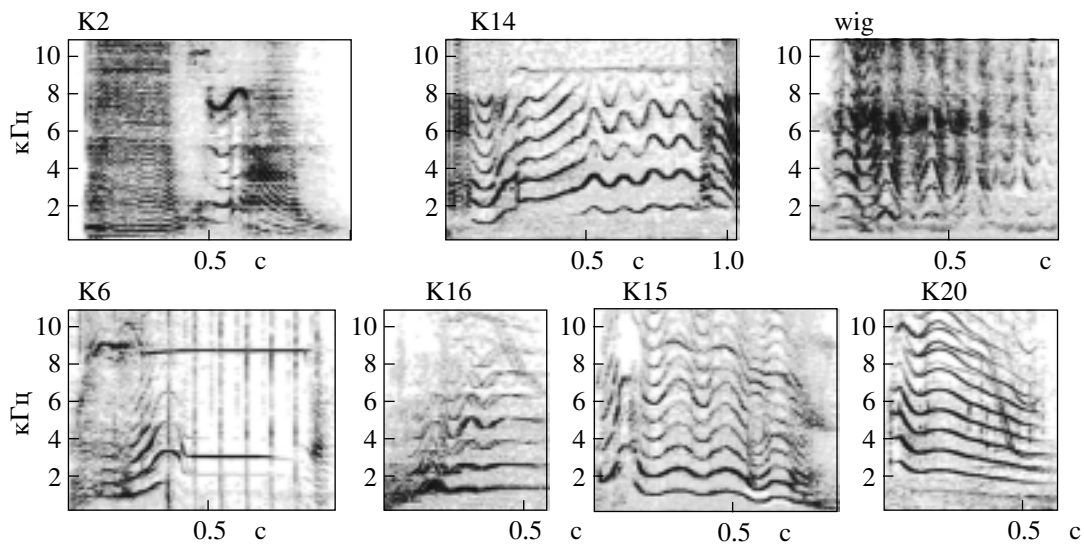


Рис. 5. Сонограммы звуков кластера Bip1B.

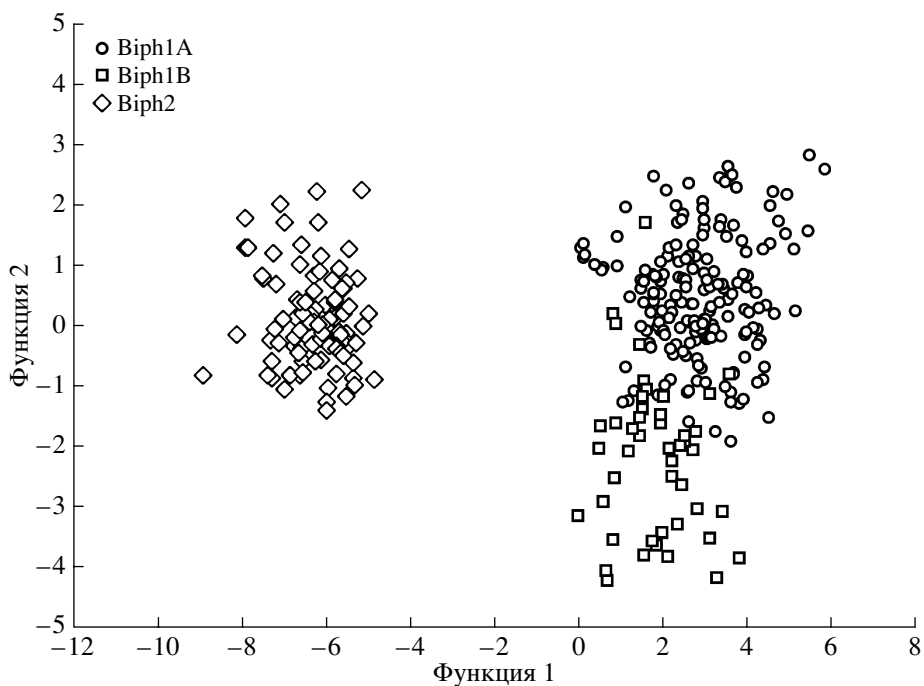


Рис. 6. Диаграмма рассеивания кластеров Bip1A, Bip1B и Bip12, построенная по двум первым дискриминантным функциям.

рому было проведено разделение при ручном разборе: у звуков первого кластера более длинная начальная высокочастотная часть, в то время как у звуков второго кластера эта часть укорочена, а следующая за ней часть с понижающейся частотой удлинена (рис. 4). Тест Манна-Уитни показал статистически значимые различия во всех соответствующих измерениях между кластерами Bip1A_K5 и Bip1A_K17 (для всех $p < 0.01$),

кроме lfc2, hfc5 и hfc6. При дискриминантном анализе процент правильного причисления к кластеру Bip1A_K23 составил 76.9%, к кластеру Bip1A_K5 – 98.3%, а к кластеру Bip1A_K17 – 83.7% (средняя величина случайного причисления 43.6%). Неправильно классифицированные звуки кластера Bip1A_K17 разделились поровну между другими двумя кластерами, но кластеры Bip1A_K5 и Bip1A_K23 оказались четко отгра-

Таблица 2. Процент правильного причисления звуков косаток при дискриминантном анализе по кластерам Biph1A_K5, Biph1A_K17 и Biph1A_K23

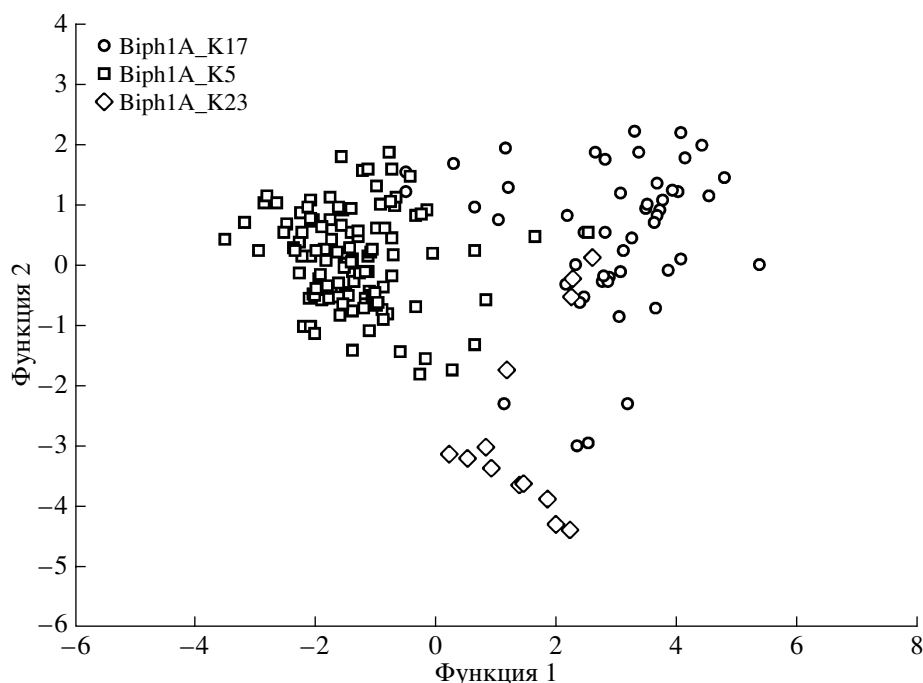
Кластер	Причисление к предсказанному кластеру			
	% правильного причисления	Biph1A_K5	Biph1A_K17	Biph1A_K23
Biph1A_K5	98.29	115	2	0
Biph1A_K17	83.67	4	41	4
Biph1A_K23	76.92	0	3	10
Всего	92.74	119	46	14

ничены друг от друга (табл. 2, рис. 7). Тест Манна-Уитни показал статистически значимые различия во всех соответствующих измерениях между кластерами Biph1A_K5 и Biph1A_K23 (для всех $p < 0.05$), кроме *lfc5*, *hfc2* и *hfc6*. Между кластерами Biph1A_K17 и Biph1A_K23 различия были значимы только по шести измерениям (*lfc2* $p < 0.001$, *lfc6* $p < 0.001$, *hfc2* $p < 0.05$, *hfc3* $p < 0.01$, *hfc4* $p < 0.001$, *hfc5* $p < 0.05$). Таким образом, по частотным параметрам кластеры Biph1A_K17 и Biph1A_K23 оказались ближе друг к другу, чем кластеры Biph1A_K23 и Biph1A_K5.

ОБСУЖДЕНИЕ

Дендрограмма, построенная по результатам ручного разбора (рис. 1), показала, что репертуар стереотипных звуков косаток юго-восточной

Камчатки крайне неоднороден. Некоторые типы звуков настолько схожи, что в некоторых случаях в одном кластере оказались перемешаны подтипы одного типа и звуки другого типа (например, звук типа K19 оказался ближе к подтипу K5iii, чем все остальные подтипы типа K5). С другой стороны, некоторые типы звуков достаточно сильно отличались от всех других. Такой результат вполне ожидаем, так как репертуар стереотипных звуков косаток не врожденный, а заучивается в процессе вокального обучения, и стереотипные звуки, хоть и достаточно стабильные на протяжении десятков лет, все же медленно изменяются (Deecke et al., 2000). В разных типах звуков изменения могут происходить с разной скоростью (Deecke et al., 2000), и, по-видимому, в результате этого процесса некоторые категории звуков у разных групп окажутся более сходными, чем дру-

**Рис. 7.** Диаграмма рассеивания кластеров Biph1A_K5, Biph1A_K17 и Biph1A_K23, построенная по двум первым дискриминантным функциям.

гие. В этой ситуации, однако, возникает вопрос, как же классифицировать стереотипные звуки косаток? Так как четкие критерии типа отсутствуют, то разделение между ними в принципе можно провести на любом уровне. Например, определив границей на нашей дендрограмме коэффициент сходства 0.1, мы получим одиннадцать типов звуков, а при пороговом коэффициенте сходства 0.5 наша классификация будет насчитывать уже 29 типов. Более того, изначально использованная нами классификация (Филатова и др., 2004) не всегда совпадает с результатами классификации звуков независимыми наблюдателями. Например, звуки, отнесенные нами к различным подтипам одного типа K5, в некоторых случаях объединяются в кластеры со звуками других типов (K19, K26, K32).

Сравнивая результаты нашего анализа с типологией звуков, представленной в работе Шулежко и Бурканова (2008), можно найти соответствия между категориями звуков в этих классификациях. Например, описанный этими авторами тип I соответствует нашему кластеру *Viph1A_K5*, типы II и III относятся к кластеру *Viph1A_K17*, а типы IV и KE3 – к кластеру *Viph2*. Тип VIII соответствует нашему типу K15, который выделяется в отдельный кластер практически на том же уровне, что кластеры *Viph1A_K5* и *Viph1A_K17* (рис. 1). Остальные звуки в классификации Шулежко и Бурканова (2008) монофонические, за исключением типа V, к которому были отнесены как бифонические, так и монофонические типы звуков. Разделение на бифонические и монофонические звуки в нашей классификации является ключевым, и в этой работе мы рассматриваем только бифонические звуки, поэтому мы не можем найти соответствия типу V в нашей классификации. Следует отметить, что в ранее описанных репертуарах стереотипных звуков косаток (Ford, 1991; Yurk et al., 2002) наличие или отсутствие накладывающейся высокочастотной составляющей было определяющим, т.е. она либо присутствовала у всех звуков данного типа, либо у всех отсутствовала. Более того, недавнее исследование (Miller, 2006) показывает, что бифонические и монофонические стереотипные звуки различаются по громкости и дальности распространения. Вполне возможно, что они выполняют разные функции в коммуникации косаток. С этой точки зрения, причисление к одному типу монофонических и бифонических звуков представляется не оправданным.

Результаты ручного разбора представляют определенный интерес и с точки зрения данных о структуре сообщества косаток юго-восточной Камчатки. К настоящему времени в этом районе зарегистрировано три акустических клана рыбацких косаток (Filatova et al., 2006). Для ручного разбора использовали звуки всех трех кланов:

звуки типов K19, K22 и K33 характерны для репертуара косаток клана K19, звуки типов K16 и K20 – для косаток клана K20 (Filatova et al., 2007). Все остальные звуки относятся к репертуару косаток Авачинского клана. На дендрограмме (рис. 1) звуки клана K19 попали в кластеры *Viph1A_K5* и *Viph1A_K17*, причем сходство звуков типа K19 со звуками подтипа K5iii оказалось выше, чем сходство звуков подтипа K5iii с другими подтипами этого типа. Сходство звуков клана K20 со звуками Авачинского клана оказалось в среднем ниже; звуки клана K20 были отнесены к кластеру *Viph1B*, но не сформировали выраженных кластеров более высокого уровня со звуками Авачинского клана. По-видимому, все три клана имеют общее происхождение, но клан K20 отделился раньше, чем разделились Авачинский клан и клан K19. Не исключено также, что сходство звуков в группах косаток может не только снижаться по мере уменьшения частоты контактов между ними, как это предполагается традиционной моделью (Ford, 1991; Bigg et al., 1990), но и может увеличиваться за счет заимствований. Считается, что детеныши выучивают звуки от своей матери, игнорируя постоянно слышимые звуки других диалектов (Bowles et al., 1988). Однако взрослые косатки, по-видимому, вполне способны выучить звуки чужого диалекта. Это показано при совместном содержании носителей разных диалектов в неволе (Bain, 1986). Было высказано предположение, что косатки могут научиться имитировать звуки других групп в природе (Ford, 1991). Таким образом, сходство звуков Авачинского клана и клана K19 мы можем объяснить с точки зрения двух альтернативных гипотез: либо это признак близкого родства, либо результат заимствований при контактах.

Таким образом, для создания единой классификации при типологизации бифонических звуков новых групп рыбацких косаток из акватории восточной Камчатки и сопредельных районов мы предлагаем пользоваться следующей схемой. Прежде всего, следует установить, является ли звук монофоническим или бифоническим. Для всех бифонических звуков очевидно разделение на два больших класса – *Viph1* и *Viph2*, которые различаются частотой как высокочастотной, так и низкочастотной составляющей. Стереотипных звуков, переходных между этими двумя классами, в репертуаре камчатских косаток мы не обнаружили. В случае, если бифонические звуки нельзя отнести ни к одному из этих классов, можно предполагать, что группа относится к другому сообществу косаток, так как эти классы, по-видимому, являются маркерами описанного сообщества (Filatova et al., 2007). Затем для поиска соответствий на следующем уровне сходства можно попытаться соотнести новый тип звука с одним из выделенных нами кластеров бо-

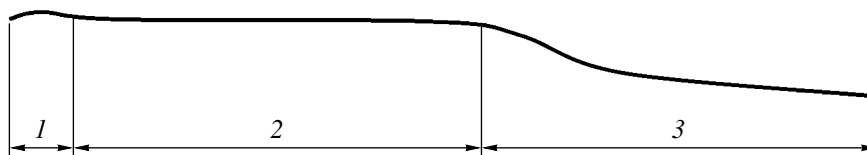


Рис. 8. Схематическое изображение формы модуляции основной частоты звуков кластера Biph1A.

лее высокого уровня. Например, звуки кластера Biph1A имеют характерный рисунок частотной модуляции низкочастотной составляющей, который можно условно разбить на 3 фрагмента: модулированное по частоте начало, стабильная средняя часть и заключительная часть с понижающейся частотой (рис. 8). Фрагменты могут иметь различную форму и длительность, также к ним могут добавляться дополнительные фрагменты в начале и конце звука, но в целом эти звуки легко узнаются на сонограммах (рис. 4). Звуки с укороченным фрагментом 3 относятся к кластеру Biph1A_K5, с укороченным фрагментом 2 – к кластеру Biph1A_K17, а у звуков кластера Biph1A_K23 фрагмент 2 вообще практически отсутствует, и фрагмент 1 сразу переходит в удлиненный фрагмент 3 (рис. 4). Однако дискриминантный анализ показал, что разделение по частотным параметрам между этими кластерами не абсолютное, поэтому возможно наличие промежуточных звуков. Кроме того, описанный нами репертуар бифонических стереотипных звуков сообщества рыбающих косаток восточной Камчатки далеко не полон, и в будущем, на основе новых данных, можно будет выделить новые кластеры этих звуков.

БЛАГОДАРНОСТИ

Мы благодарим наших коллег по экспедиции за помощь в организации этой работы, а также всех независимых наблюдателей, принявших участие в ручном разборе звуков. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (08-04-00198-а), Общества охраны китов и дельфинов (Whale and Dolphin Conservation Society), Американского Гуманистического Общества (The Humane Society of the United States) и Rufford Maurice Laing Foundation.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Никольский А.А., 1980. Локальные диалекты, географическая изменчивость и наследование признаков звуковых сигналов потомством млекопитающих // Экологические основы управления поведением животных. М.: Наука. С. 158–167.
- Филатова О.А., Бурдин А.М., Хойт Э., Сато Х., 2004. Каталог дискретных типов звуков, издаваемых резидентными косатками (*Orcinus orca*) Авачинского залива п-ова Камчатка // Зоол. журн. Т. 83. № 9. С. 1169–1180.
- Шулежко Т.С., Бурканов В.Н., 2008. Стереотипные акустические сигналы косатки *Orcinus orca* (Cetacea: Delphinidae) из северо-западной части Тихого океана // Биология моря. Т. 34. № 2. С. 132–138.
- Bain D.E., 1986. Acoustic behavior of *Orcinus*: sequences, periodicity, behavioral correlates and an automated technique for call classification // Behavioral Biology of Killer Whales, N.Y.: A. R. Liss. P. 335–371.
- Bigg M.A., MacAskie I., Ellis G., 1983. Photo-identification of individual killer whales // Whalewatcher. V. 17. P. 3–5.
- Bigg M.A., Olesiuk P.F., Ellis C.M., Ford J.K.B., Balcomb K.C., 1990. Social organization and genealogy of resident killer whales (*Orcinus orca*) in the coastal waters of British Columbia and Washington State // Rep. Int. Whaling Comm., Spec. Issue №. 12. P. 383–405.
- Bowles A.E., Young W.G., Asper E.D., 1988. Ontogeny of stereotyped calling of a killer whale calf, *Orcinus orca*, during her first year // Rit Fiskideidar. V. 11. P. 251–275.
- Conner D.A., 1982. Dialects versus geographic variation in mammalian vocalizations // Anim. Behav. V. 30. P. 297–298.
- Deecke V.B., Ford J.K.B., Spong P., 2000. Dialect change in resident killer whales: implications for vocal learning and cultural transmission // Anim. Behav. V. 60. P. 629–638.
- Filatova O.A., Burdin A.M., Hoyt E., 2006. Estimating the status and population structure of killer whales (*Orcinus orca*) from Avacha Gulf, Kamchatka using vocal dialects. Proceedings of the 4th Biennial Conference “Marine Mammals of Holarctic”, St. Petersburg, Russia, P. 538–540.
- Filatova O.A., Fedutin I.D., Burdin A.M., Hoyt E., 2006. Using a mobile hydrophone stereo system for real-time acoustic localization of killer whales (*Orcinus orca*) // Applied Acoustics. V. 67. P. 1243–1248. – 2007. The structure of the discrete call repertoire of killer whales *Orcinus orca* from Southeast Kamchatka // Bioacoustics. V. 16. № 3. P. 261–280.
- Ford J.K.B., 1984. Call traditions and dialects of killer whales (*Orcinus orca*) in British Columbia. Ph.D. thesis. Univ. British Columbia, Vancouver. – 1991. Vocal traditions among resident killer whales (*Orcinus orca*) in coastal waters of British Columbia // Can. J. Zool. V. 69. P. 1454–1483.
- Janik V.M., 1999. Pitfalls in the categorization of behaviour: a comparison of dolphin whistle classification methods // Anim. Behav. V. 57. P. 133–143.
- Janik V.M., Slater P.J.B., 1997. Vocal learning in mammals // Advances in the Study of Behavior. V. 26. P. 59–99. – 2000. The different roles of social learning in vocal communication // Anim. Behav. V. 60. P. 1–11.

- Kroodsma D.E., Miller E.H.*, 1996. Ecology and evolution of acoustic communication in birds. N.Y.: Cornell Univ. Press.
- Miller P.J.O.*, 2006. Diversity in sound pressure levels and estimated active space of resident killer whale vocalizations // *J. of Comparative Physiology A*. V. 192. № 5. P. 449–459.
- Solow A.R.*, 1990. A randomization test for misclassification probability in discriminant analysis // *Ecology*. V. 71. P. 2379–2382.
- Terry A.M.R., McGregor P.K., Peake T.M.*, 2001. A comparison of some techniques used to assess vocal individuality // *Bioacoustics*. V. 11. P. 169–188.
- Volodina E.V., Volodin I.A., Isaeva I.V., Unck C.*, 2006. Biphonation may function to enhance individual recognition in the dhole, *Cuon alpinus* // *Ethology*. V. 112. P. 815–825.
- Yurk H., Barrett-Lennard L., Ford J.K.B., Matkin C.O.*, 2002. Cultural transmission within maternal lineages: vocal clans in resident killer whales in Southern Alaska // *Anim. Behav.* V. 63. P. 1103–1119.

APPROACHES TO CLASSIFICATION OF VOCAL REPERTOIRES: STEREOTYPED CALLS OF FISH-EATING KILLER WHALES FROM EASTERN KAMCHATKA

O. A. Filatova¹, I. D. Fedutin², A. M. Burdin^{3,4}, E. Hoyt⁵

¹*Faculty of Biology, Moscow State University, Moscow 119992, Russia*
e-mail: alazor@rambler.ru

²*Central Forest State Nature Reserve, Tver region 172513, Russia*

³*Kamchatka Branch, Pacific Institute of Geography, Far East Division, Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky 683024, Russia*

⁴*Alaska SeaLife Center, Seward 99664, Alaska, USA*

⁵*Whale and Dolphin Conservation Society, North Berwick EH39 4BE, Scotland, UK*

In zoological systematics, the problem of categorization is solved traditionally by creating several levels of categories, such as class, order, family, genus, and species. In this paper, the same approach to classification of biphonic stereotyped calls of fish-eating killer whales from the eastern Kamchatka was used. The main goal of the paper is to create the basis for standardization and comparison of classifications made by different authors. To discern the levels of call categories, at the first step, 11 independent observers we asked to perform “hand classification” of calls and sonograms. A dendrogram was made on the basis of this classification. The second step was a comparison of the clusters of this dendrogram by their frequency parameters. As a result, a scheme for the classification of biphonic calls of the new groups of killer whales off the eastern Kamchatka and adjacent areas was proposed.