

Рабочая группа по гусеобразным Северной Евразии
Институт проблем экологии и эволюции Российской Академии наук

КАЗАРКА
№ 10

***БЮЛЛЕТЕНЬ РАБОЧЕЙ ГРУППЫ ПО
ГУСЕОБРАЗНЫМ СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ***

CASARCA
№ 10

***BULLETIN OF THE GOOSE, SWAN AND DUCK
STUDY GROUP OF NORTHERN EURASIA***

Москва 2004

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ВИЗУАЛЬНОЙ КЛАССИФИКАЦИИ И ДИСКРИМИНАНТНОГО АНАЛИЗА В ПРИМЕНЕНИИ К КРИКАМ БЕЛОЛИЦЫХ СВИСТЯЩИХ УТОК

И. А. Володин ^{1,2}, Е. В. Володина ², А. В. Кленова ¹

¹ Биологический ф-т МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва, Россия

² Московский зоопарк, г. Москва, Россия

ВВЕДЕНИЕ

Крики многих видов позвоночных животных несут легко различимые индивидуальные признаки, что позволяет использовать их для учета и мониторинга популяций (к примеру, May, 1994, 1998; Baptista, Gaunt, 1997; Reby et al, 1998; Wessling, 2000; Delpont et al., 2002; McComb et al., 2003). При проведении таких исследований применяются различные методы оценки индивидуальной специфичности криков, которые можно подразделить на две главные категории: качественные и количественные. Качественные оценки основаны на визуальной классификации звуков (обычно – спектрограмм, реже – энергетических спектров) наблюдателями, которые могут иметь либо не иметь образцы для сортировки (Janik, Slater, 1998; Wessling, 2000). Количественные методы основаны на измерении параметров звуков и применении различных статистических процедур. В настоящее время используется по меньшей мере пять различных методов количественной оценки индивидуальности криков: дискриминантный анализ (к примеру, Tooze et al., 1990; Nikol'skii, Suchanova, 1994; Durbin, 1998; Delpont et al., 2002; Frommolt et al., 2003), кластерный анализ (Zimmermann, Lerch, 1993; McCowan, 1995), кросс-корреляция (Lessells et al., 1995), искусственные невральные сети (May, 1998; Reby et al., 1998) и полиномиальные модели (Никольский, 2003; Sturtivant, Datta, 1997), которые часто комбинируются тем или иным способом. Выбор метода обычно определяется как задачами исследования (кратковременные учеты или многолетний мониторинг), так и особенностями структуры звуков и условиями записи (соотношением гармонической и шумовой энергии в спектре звука, сложностью хода частотной модуляции, наличием дополнительных шумов и т.п.) (Terry et al., 2001). Наиболее обычным методом для описания и количественной оценки изменчивости звуков является дискриминантный анализ, часто дополняемый дисперсионным и кроссвалидационным анализами (к примеру, Durbin, 1998; Frommolt et al., 2003).

Очевидно, что выбор той или иной процедуры для оценки индивидуальной специфичности криков может самым непосредственным образом влиять на полученные результаты и сделанные на их основании выводы. К примеру, резкие различия в трактовке степени стереотипности так называе-

мых «сигнатурных свистов» дельфинов Б. Мак-Кован (McCowan, 1995) и В. Яником (Janik, 1999) во многом основаны на различиях в использованных методах классификации криков (McCowan, Reiss, 2001). Вместе с тем, как правило, в большинстве исследований применяется только один метод оценки индивидуальной изменчивости звуков, часто без всякого обоснования сделанного выбора. Только в небольшом числе работ проведено сравнение результатов, полученных различными методами на одном материале (May, 1998; Janik, 1999; McCowan, Reiss, 2001; Terry et al., 2001).

Целью нашего исследования было сравнение двух способов классификации звуков: количественного (дискриминантного анализа) и качественно (ручной разборки), проведенного на одной и той же выборке громких свистовых криков белолицых свистящих уток (*Dendrocygna viduata*). У этого вида уток нет никаких различий между полами в окраске оперения, размерах и двигательном поведении (Johnsgard, 1965; Petrie, Rogers, 1997), однако громкие свистовые крики самок гораздо выше по частоте, чем крики самцов, причем различия настолько значительны, что идентификация пола возможна даже на слух (Volodin et al., 2003). Индивидуальные различия в криках белолицых свистящих уток выражены гораздо слабее, чем межполовые, и проявляются в деталях хода частотной модуляции – положениях частотных максимумов, относительной длительности частей крика и т.п. (Volodin et al., in press.) В данной работе мы последовательно сравнили результаты количественной и качественной классификации криков на (а) половую принадлежность; (б) причисление криков птицы неизвестного пола к сформированным выборкам самцов и самок (при выборе по образцу); (в) индивидуальную принадлежность (только для самцов, чтобы исключить влияние половых различий).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

СБОР И ПЕРВИЧНАЯ ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛА

Записи громких свистовых криков от 11 (9 самцов и 2 самок) взрослых, индивидуально помеченных цветными ножными кольцами белолицых свистящих уток были сделаны с 10 июня по 17 сентября 2001 г. в Московском зоопарке (суммарно 615 мин.), а также от одной взрослой птицы неизвестного пола из стаи (3 самца и 2 самки) 4 августа 2002 г. в зоопарке г. Мюнстера (Германия). Пол птиц из группы Московского зоопарка был определен заранее с помощью инспекции клоаки. Для записи были использованы магнитофоны Агидель-302С и Sony-WM-D6С с динамическим микрофоном Tesla-AMD-411N.

Для анализа были отобраны записи криков только хорошего качества и известной принадлежности. Для каждой птицы из группы Московского зоопарка случайным образом было отобрано от 18 до 22 криков, за исключением двух самцов, от которых было взято только по 5 точно идентифици-

рованных криков (суммарно – 150 криков самцов и 42 крика самок). Для птицы зоопарка г. Мюнстера было отобрано 11 криков.

Для спектрографического анализа звуков использовали компьютерную программу Avisoft-SASLab Pro, v. 4.2 (© R. Specht). Анализ звуков был проведен с частотой дискретизации 22 кГц. Для расчета спектрограмм использовали следующие параметры: окно Хэмминга; длина Быстрого Преобразования Фурье (FFT-length) 512 точек; перекрытие по частотной оси (frame) 50 %; перекрытие по временной оси (overlap) 87,5 %. Соответственно, ширина частотного фильтра составляла 111 Гц, временное разрешение – 2,9 мс, частотное – 43 Гц. Спектрограммы всех криков были распечатаны в одинаковом формате.

ФОРМИРОВАНИЕ ВЫБОРОК И ТЕСТОВАЯ ПРОЦЕДУРА

Все 192 крика птиц из Московского зоопарка были сгруппированы в две выборки. Для анализа половой изменчивости от каждого из 9 самцов случайным образом было выбрано по 5 криков, а от двух самок – 20 и 22 крика (суммарно – 87 криков, 45 от самцов и 42 от самок, выборка 1). В анализ на индивидуальную изменчивость были включены 7 самцов, от которых было записано от 18 до 22 криков (суммарно – 140 криков, выборка 3). Одиннадцать криков птицы из зоопарка г. Мюнстера представляли самостоятельную выборку 2.

Тестовая процедура включала три последовательных этапа:

Тест 1. Подразделение выборки 1 на две группы (классификация криков на половую принадлежность);

Тест 2. Причисление криков выборки 2 к одной из двух или к обеим группам выборки 1 (выбор по образцу);

Тест 3. Подразделение выборки 3 на семь групп (классификация криков на индивидуальную принадлежность).

ДИСКРИМИНАНТНЫЙ АНАЛИЗ

Громкие свистовые крики белолицых свистящих уток имеют характерную трехчастную структуру (рис. 1). На протяжении крика хорошо выделяются три максимума и два минимума основной частоты. Для каждого крика были измерены 7 частотных и 5 временных параметров (рис. 1), на основании которых был проведен пошаговый дискриминантный анализ выборок 1 и 3 с разделением их на 2 и 7 групп, соответственно (тесты 1 и 3). Для проведения теста 2 была применена процедура кроссвалидации, при которой дискриминационные ключи, рассчитанные на основе выборки 1, были использованы для классификации выборки 2. Вся статистическая обработка была проведена в пакете программ STATISTICA, v. 5.5.

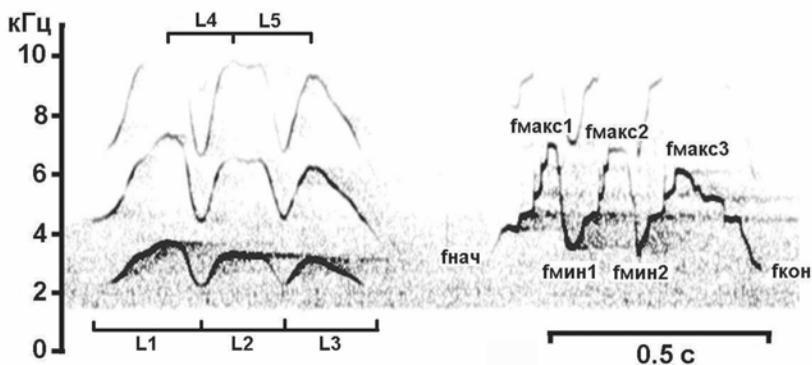


Рис. 1. Спектрограммы громких свистовых криков самца (слева) и самки (справа) белолобых свистящих уток. Указаны точки измерений начальной частоты ($f_{нач}$), конечной частоты ($f_{кон}$), трех максимумов ($f_{макс1}$, $f_{макс2}$, $f_{макс3}$) и двух минимумов основной частоты ($f_{мин1}$, $f_{мин2}$). Отрезками показаны измерения временных параметров: длительности первой, второй и третьей частей крика (L1, L2 и L3, соответственно), длительности между первым и вторым (L4) и вторым и третьим (L5) частотными максимумами.

Fig. 1. The spectrograms of male (left) and female (right) loud whistles of white-faced whistling ducks. The points of measurement of initial frequency ($f_{нач}$), end frequency ($f_{кон}$), three maxima ($f_{макс1}$, $f_{макс2}$, $f_{макс3}$) and two minima of fundamental frequency ($f_{мин1}$, $f_{мин2}$) are shown. Segments show measurements of temporal parameters: duration of first, second and third call parts (L1, L2 and L3, respectively), duration between the first and second (L4) and the second and third (L5) frequency maxima.

РУЧНАЯ РАЗБОРКА

Ручная разборка спектрограмм криков была осуществлена семью добровольцами, каждый из которых до этого проводил самостоятельные биоакустические исследования, но был совершенно незнаком с криками тестируемого вида. Тестовые выборки представляли собой карточки с распечатками спектрограмм криков, которые тщательно перемешивались перед каждым разбором. Каждый из добровольцев последовательно осуществлял тестовую процедуру от теста 1 к тесту 3. Добровольцы могли пользоваться только линейкой и не получали никаких инструкций, кроме указаний о количестве групп, на которые необходимо разобрать тестовую выборку (тесты 1 и 3), и необходимости причислить крики тестовой выборки к двум уже сформированным группам криков (тест 2).

Для каждого из тестов рассчитывали процент правильно классифицированных криков каждым из добровольцев. Кроме этого, для получения результатов, усредненных для всей процедуры ручной разборки, мы считали,

что крик правильно классифицирован, если 4 или более добровольцев отнесли его к правильной группе (в соответствии с Janik, 1999).

РЕЗУЛЬТАТЫ ДИСКРИМИНАНТНЫЙ АНАЛИЗ

Результаты классификации криков на половую принадлежность (тест 1) на основе дискриминантного анализа приведены в таблице 1. Все без исключения крики были правильно причислены к соответствующему полу. Рассчитанные на основе этого анализа дискриминационные ключи были использованы для классификации выборки криков от птицы неизвестного пола (тест 2). Все 11 криков выборки 2 были причислены к группе самцовых криков, что позволяет утверждать, что птица, крики которой были записаны, являлась самцом.

Таблица 1

Причисление громких свистовых криков к соответствующему полу у беллицых свистящих уток на основе дискриминантного анализа и ручной разборки (тест 1)

Table 1

Assignment of loud whistles to a correct sex by discriminant analysis and visual inspection in the white-faced whistling duck

Пол Sex	Всего Total	Дискриминантный анализ Discriminant analysis		Ручная разборка Visual inspection		
		Причисление к предсказанной группе Assignment to a predicted group		Процент правильно- го причисления Percentage of correct assignment	Причисление к предсказанной группе Assignment to a predicted group	Процент правильного причисления Percentage of correct assignment
		Самцы Males	Самки Females			
Самцы Males	45	45		100,0	45	100,0
Самки Females	42		42	100,0	42	100,0
Всего Total	87	45	42	100,0	87	100,0

Средняя величина правильного причисления криков к соответствующей особи (тест 3) на основе дискриминантного анализа составила 97,9 % (табл. 2), что значительно выше случайной для 7 особей (14,3 %). Из всей выборки в 140 криков только 3 (по одному от самцов 1, 3 и 4) были отнесены к неверным группам. Оценки правильного причисления для отдельных птиц варьировали в пределах от 94,4 до 100 %, что указывает на то, что все без исключения особи хорошо дискриминировались из общей выборки (табл. 2). Пошаговый дискриминантный анализ показал, что наибольший вклад в дискриминацию, в порядке убывания, вносили частота второго минимума (f_{min2}) и три временных параметра: L3, L4 и L1.

Таблица 2

Причисление громких свистовых криков к соответствующей особи у белолицых свистящих уток на основе дискриминантного анализа и ручной разборки (тест 3)

Table 2

Assignment of loud whistles to a correct individual by discriminant analysis and visual inspection in the white-faced whistling duck

Особь Individual	Всего Total	Дискриминантный анализ Discriminant analysis						Ручная разборка Visual inspection			
		Причисление к предсказанной группе Assignment to a predicted group						Процент правильного причисления Percentage of correct assignment	Причисление к предсказанной группе Assignment to a predicted group	Процент правильного причисления Percentage of correct assignment	
		1	3	4	5	6	7				8
Самец 1 Male 1	21	20				1		95,2	18	85,7	
Самец 3 Male 3	20		19				1	95,0	18	90,0	
Самец 4 Male 4	18	1		17				94,4	3	16,7	
Самец 5 Male 5	21				21			100,0	16	76,2	
Самец 6 Male 6	22					22		100,0	16	72,7	
Самец 7 Male 7	18						18	100,0	14	77,8	
Самец 8 Male 8	20						20	100,0	19	95,0	
Всего Total	140	21	19	17	21	23	19	20	97,9	104	74,3

РУЧНАЯ РАЗБОРКА

Усредненные результаты ручной разборки криков из выборки 1 на половую принадлежность (тест 1) не отличались от результатов дискриминантного анализа (табл. 1). Шесть из семи добровольцев провели классификацию криков по полу абсолютно правильно, и лишь один ошибся в классификации 3 криков и показал только 96,6 % правильного причисления к соответствующему полу.

Похожие результаты были получены и при проведении теста 2, при причислении криков птицы неизвестного пола к группам криков самцов и самок. Шесть добровольцев причислили все крики выборки 2 к крикам самцов (100 % корректного причисления), а один классифицировал два крика этой выборки как самоцхи и 9 – как самцовые (81,8 % корректного причисления). Общие для всех добровольцев результаты ручной разборки выборки 2 составили 100 % правильной классификации и не отличались от результатов дискриминантного анализа.

Однако при проведении классификации криков на индивидуальную принадлежность (тест 3) результаты ручной разборки резко контрастировали с результатами дискриминантного анализа (табл. 2). Только 104 крика из 140 (74,3 %) были правильно классифицированы. Для 6 птиц величина правильного причисления варьировала от 72,5 до 95,0 %, однако для самца 4 только 3 крика из 18 (16,7 %) были правильно определены, что не превышало случайной величины (14,3 %). Кроме этого, между добровольцами наблюдался очень большой разброс в проценте правильно классифицированных криков – от 39,3 до 95,0 %.

ОБСУЖДЕНИЕ

Наше исследование показало, что результаты причисления криков к соответствующему полу не различались при классификации вручную опытными добровольцами и при компьютерном дискриминантном анализе. И в том и в другом случае достигалась 100 % верная классификация по полу, причем разброс в успешности классификации для разных людей был минимален. Аналогичные данные были получены и при причислении криков птицы неизвестного пола к категориям криков самцов и самок – и ручная сортировка, и дискриминантный анализ показали одинаково высокий результат.

Совсем иная картина была получена, когда ручная разборка и дискриминантный анализ применялись для классификации различий между особями. В этом случае количественный дискриминантный анализ оказался гораздо более надежным инструментом для классификации. Только в некоторых случаях уровень корректного причисления при ручной классификации приближался к результатам количественной дискриминации, однако всегда был ниже, чем при дискриминантном анализе. Очевидно также, что при ручной разборке огромное значение имеет субъективный фактор, поскольку разброс между добровольцами в корректности классификации оказался очень велик, несмотря на то, что все они обладали значительным опытом в биоакустических исследованиях. Хотя мы постарались исключить влияние опытности добровольца, возможно, этот фактор не играет особенной роли. Как показало исследование А. Терри с соавторами (Terry et al., 2001), опыт мало влиял на аккуратность ручной сортировки криков, и разброс в корректности классификации между опытными и неопытными людьми не различался.

Однако точность классификации и степень расхождения данных ручной разборки с данными количественного компьютерного анализа в значительной степени зависят от уровня изменчивости криков (McCowan, Reiss, 2001; Terry et al., 2001). Полученные нами результаты мы можем объяснить, прежде всего, качественными и количественными различиями в выраженности и в уровне изменчивости межполовых и межиндивидуальных ключей в громких криках белолицых свистящих уток, а также особенностями человеческого восприятия этих признаков. Половая принадлежность громких кри-

ков у этого вида может быть установлена с очень высокой надежностью на основании всего лишь одного единственного признака, а именно: максимальной основной частоты крика (рис. 1). Различия между полами по максимальной основной частоте очень велики и стабильны; выборки для самцов и самок по этому признаку не перекрываются (Volodin et al., 2003). Для достижения стопроцентной правильной классификации добровольцу достаточно уловить этот признак в качестве надежного маркера дихотомической классификации. Единственный признак легко удержать в памяти, и его достаточно при разборе выборки всего на две категории.

Гораздо более сложная задача встает перед добровольцем при приписании крика к соответствующей особи. Индивидуальные различия в криках белых свистящих уток проявляются в деталях хода частотной модуляции – относительной высоте частотных максимумов и минимумов, относительной длительности частей крика и т.п. (рис. 2). Поэтому индивидуальная принадлежность крика может быть установлена не на основании одного-двух признаков-маркеров, а только посредством анализа целого комплекса признаков, причем учет каждого дополнительного признака прогрессивно повышает надежность классификации. По всей видимости, человеческий мозг не анализирует каждый из этих признаков независимо и не удерживает их в памяти одновременно, а проводит классификацию на основании создания определенного «образа», характеризующего соответствующую группу криков. Каждый доброволец, по всей вероятности, создает такие образы на основании различного сочетания признаков, в зависимости от личных предпочтений. За счет этого классификация по сложному комплексу признаков оказывается чрезвычайно субъективной (Clark et al., 1987; Terry et al., 2001).

Таким образом, наши данные показывают, что ручная разборка спектрограмм вполне может поспорить по точности с дискриминантным анализом в тех случаях, когда сортировка может основываться на немногочисленных, очень ярко выраженных дискриминационных ключах и при классификации на малое число групп. Для полноты картины очень желательно было бы также провести в дальнейшем исследования, где бы сравнивались возможности качественного и количественного способов анализа при классификации на большое число групп при сохранении условия наличия ярко выраженных дискриминационных ключей для каждой группы. К примеру, это может быть вид с очень четко выраженными индивидуальными особенностями криков, определяемыми существенными количественными различиями по одному-двум признакам. В этой связи, однако, интересны результаты А. Терри с соавторами (Terry et al., 2001), показавших, что успешность ручной сортировки криков большой выпи (*Botaurus stellaris*) и веерохвостой цистиколы (*Cisticola juncidis*) не различалась для группы из малого ($n = 5$) и большого ($n = 10$) числа особей.

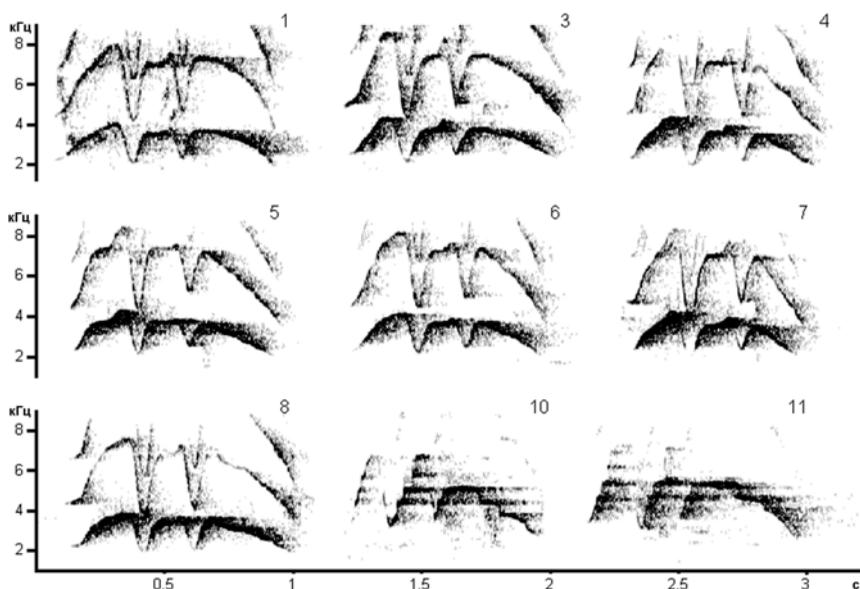


Рис. 2. Спектрограммы громких свистовых криков (по одному крику на особь) от семи самцов (1, 3, 4, 5, 6, 7, 8) и двух самок (10, 11) белолыдых свистящих уток. Обратите внимание на изменчивость характеристик частотной модуляции и временных параметров криков между особями.

Fig. 2. The spectrograms of loud whistles, one call per individual, from seven male (1, 3, 4, 5, 6, 7, 8) and two female (10, 11) white-faced whistling ducks. Note the interindividual variability in frequency modulation pattern and temporal parameters of calls.

Несмотря на, казалось бы, явное преимущество количественных методов, применение визуальной сортировки всё равно в той или иной степени остается обязательной для большинства биоакустических исследований, хотя бы из-за необходимости задать параметры для компьютерного анализа. Однако, помимо этого, визуальный анализ имеет ряд преимуществ и ещё долго не сможет быть полностью заменен компьютерным анализом. Так, минус кросс-корреляции – сильная зависимость от уровня фонового шума, а дискриминантный анализ показывает очень хорошие результаты для конкретной выборки, однако при введении в выборку новых членов может сгруппировать их звуки в единую группу (Terry et al., 2001). Возможно также, что широта понятия «категории» может лучше оцениваться именно на взгляд, на основании оценки зрительных образов. К примеру, было показано, что дельфины воспринимают и имитируют свисты, основываясь на относительном, а не стереотипном свистовом контуре, и сжатые или растянутые по отношению к частотной и временной оси контуры воспринимаются как сходные (см. обсуждение проблемы в McCowan, Reiss, 2001). Таким образом, категоризирование на основании стереотипности может

оказаться проблематичным, и предварительная визуальная оценка общей изменчивости звуков может и здесь оказаться полезной.

Однако при визуальной сортировке криков, особенно в полевых условиях, возможно явное или неявное использование для классификации дополнительных признаков, не относящихся к структуре крика, таких как направление прихода крика во время записи, временная задержка между криками, относительная громкость криков, пришедших с одного направления, и т.п. Учет одних этих признаков, даже без анализа спектрограмм, достаточен для подсчета количества животных вокруг наблюдателя. Этот метод, предложенный А. А. Никольским (Никольский и др., 1975; Никольский, Поярков, 1976) как метод пространственно-временных координат, в настоящее время широко используется для мониторинга природных популяций (Baptista, Gaunt, 1997; Mills et al., 2001). Именно использование таких дополнительных признаков для классификации криков может приводить к полному отсутствию ошибок при ручной сортировке (к примеру, Wessling, 2000), тогда как ограничение или отсутствие дополнительной информации резко снижает правильность классификации тех же самых образцов звуков (наши неопубликованные данные).

Таким образом, не отрицая полезности визуальной сортировки криков, необходимо подчеркнуть, что методы качественной классификации могут использоваться только как предварительные, поскольку сильно зависят как от субъективизма добровольца (особенно при анализе криков сложной структуры), так и от имеющейся в его распоряжении дополнительной информации. Во всех случаях ручная сортировка в дальнейшем должна быть дополнена методами количественного анализа звуков.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы искренне благодарны И. Р. Беме, М. В. Войнилович, М. Я. Горечкой, В. И. Грабовскому, М. В. Рutowской, О. А. Филатовой и Е. В. Чаадаевой, потратившим много усилий на ручную сортировку криков.

ЛИТЕРАТУРА

- Никольский А. А. 2003. Полиномиальные модели звуковых сигналов животных. – Докл. акад. наук, 388: 568–570.
- Никольский А. А., Новикова О. Б., Наумов Н. П. 1975. Пространственно-временная характеристика биологического сигнального поля (на примере рева бухарского оленя). – Экология, 1: 100–102.
- Никольский А. А., Поярков А. Д. 1976. Пространственные координаты звуковой сигнализации шакалов (*Canis aureus*). – Вест. МГУ, сер. 16. Биология, почвоведение, 2: 3–6.
- Baptista L. F., Gaunt S. L. L. 1997. Bioacoustics as a tool in conservation studies. – Behavioral Approaches to Conservation in the Wild (eds. Clemmons J. R., Buchholtz R.). Cambridge, Cambridge Univ. Press: 212–224.

- Clark C. W., Marler P., Beeman K. 1987. Quantitative analysis of animal vocal phonology: an application to swamp sparrow song. – *Ethology*, 76: 105–115.
- Delport W., Kemp A. C., Ferguson W. H. 2002. Vocal identification of individual African Wood owls *Strix woodfordii*: a technique to monitor long-term adult turnover and residency. – *Ibis*, 144: 30–39.
- Durbin L. S. 1998. Individuality in the whistle call of the Asiatic wild dog *Cuon alpinus*. – *Bioacoustics*, 9: 197–206.
- Frommolt K.-H., Goltsman M. E., Macdonald D. W. 2003. Barking foxes, *Alopex lagopus*: field experiments in individual recognition in territorial mammal. – *Animal Behaviour*, 65: 509–518.
- Janik V. M. 1999. Pitfalls in the categorization of behaviour: a comparison of dolphin whistle classification methods. – *Animal Behaviour*, 57: 133–143.
- Janik V. M., Slater P. J. B. 1998. Context-specific use suggests that bottlenose dolphin signature whistles are cohesion calls. – *Animal Behaviour*, 56: 829–838.
- Johnsgard P. A. 1965. Handbook of Waterfowl Behaviour. – London, Constable & Co. Ltd.: 1–378.
- Lessells C. M., Rowe C. L., McGregor P. K. 1995. Individual and sex differences in the provisioning calls of European bee-eaters. – *Animal Behaviour*, 49: 244–247.
- May L. 1994. Individually distinctive corncrake *Crex crex* calls: a pilot study. – *Bioacoustics*, 6: 25–32.
- May L. 1998. Individually distinctive corncrake *Crex crex* calls: a further study. – *Bioacoustics*, 9: 135–148.
- McComb K., Reby D., Baker L., Moss C., Sayialel S. 2003. Long-distance communication of acoustic cues to social identity in African elephants. – *Animal Behaviour*, 65: 317–329.
- McCowan B. 1995. A new quantitative technique for categorising whistles using simulated signals and whistles from captive bottlenose dolphins (*Delphinidae Tursiops truncatus*). – *Ethology*, 100: 177–193.
- McCowan B., Reiss D. 2001. The vallycy of “signature whistles” in bottlenose dolphins: a comparative perspective of “signature information” in animal vocalizations. – *Animal Behaviour*, 62: 1151–1162.
- Mills M. G., Juritz J. M., Zuccini W. 2001. Estimating the size of spotted hyaena (*Crocuta crocuta*) populations through playback recordings allowing for non-response. – *Animal Conservation*, 4: 335–343.
- Nikol'skii A. A., Suchanova M. V. 1994. Individual variability of alarm call in steppe marmot (*Marmota bobac* Mull., 1776). – Actual Problems of Marmots Investigation (ed. Rumiantsev V. Yu.). Moscow, ABF Publishing House: 169–181.
- Petrie S. A., Rogers K. H. 1997. Ecology, Nutrient Reserve Dynamics and Movements of White-faced ducks in South Africa. – Pretoria, Department of environmental affairs and tourism: 1–107.
- Reby D., Joachim J., Lauga J., Lek S., Aulagnier S. 1998. Individuality in the groans of fallow deer (*Dama dama*) backs. – *J. Zool.*, 245: 79–84.

- Sturtivant C., Datta S. 1997. Automatic dolphin whistle detection, extraction, encoding, and classification. – Proceeding Inst. of Acoustics, vol. 19: 259–266.
- Terry A. M. R., McGregor P. K., Peake T. M. 2001. A comparison of some techniques used to assess vocal individuality. – Bioacoustics, 11: 169–188.
- Tooze Z. J., Harrington F. H., Fentress J. C. 1990. Individually distinct vocalizations in timber wolves, *Canis lupus*. – Animal Behaviour, 40: 723–730.
- Volodin I. A., Volodina E. V., Klenova A. V. 2003. Non-invasive sex recognition in the white-faced whistling duck. – Int. Zoo News, 50: 160–167.
- Wessling B. 2000. Individual recognition of cranes, monitoring and vocal communication analysis by sonography. – Proceeding IV European workshop on cranes, Verdun. <http://home.nikocity.de/craneworld/>
- Zimmermann E., Lerch C. 1993. The complex acoustic design of an advertisement call in male mouse lemurs (*Microcebus murinus*, Prosimii, Primates) and sources of its variation. – Ethology, 93: 211–224.

COMPARISON BETWEEN VISUAL CLASSIFICATION AND DISCRIMINANT FUNCTION ANALYSIS APPLIED TO THE CALLS OF WHITE-FACED WHISTLING DUCKS

I. A. Volodin ^{1,2}, E. V. Volodina ², A. V. Klenova ¹

¹ Moscow State University, Moscow, Russia

² Moscow Zoo, Moscow, Russia; volodinsvoc@mail.ru

SUMMARY

Quantitative (discriminant function analysis) and qualitative (inspection of spectrograms by the experts in sound analysis) methods for classification of vocalisations were applied to a sample of loud calls produced by the White-faced Whistling Ducks (*Dendrocygna viduata*) and compared. This species shows prominent intersexual differences in calls, with fundamental frequency always significantly higher in female calls than in male ones. Individual differences in calls are much less expressed and can be found only in the details of frequency modulation run. Categorization for intersexual differences did not differ between the quantitative and qualitative analyses (100 % in the both cases), with negligible variation between the human experts. However, the assignment of calls to a certain individual was much more reliable when discriminant analysis was used, than when the spectrograms were visually examined. In the latter case, the experts showed great variation in accuracy of assignment, in spite the fact that all of them were experienced in bioacoustic research. Reliability and applicability of quantitative and qualitative methods for classification of the calls in dependence of degree of variation of their characteristics and the number of established groups for categorisation are discussed.