

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
Институт проблем экологии и эволюции  
им. А.Н. Северцова

**Актуальные проблемы  
экологии и эволюции  
в исследованиях  
молодых ученых**

Материалы Конференции молодых сотрудников  
и аспирантов Института проблем экологии  
и эволюции им. А.Н. Северцова  
8-9 апреля 2010 г.



Москва • 2010

**Актуальные проблемы экологии и эволюции в исследованиях молодых ученых.** Материалы конференции молодых сотрудников и аспирантов ИПЭЭ РАН. Москва: Т-во научных изданий КМК. 2010. 388 с.

**Current problems of ecology and evolution in the studies of young scientists.** Proceedings of the Conference of PhD students and young scientists of A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Sciences. Moscow: KMK Scientific Press. 2010. 388 pp.

В сборнике представлены материалы докладов, заслушанных на Конференции молодых сотрудников и аспирантов Института проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова (Москва, 8-9 апреля 2010 г.), Работа конференции проходила по следующим направлениям: морфология и экология наземных позвоночных; морфология и экология водных позвоночных и беспозвоночных; почвенная биология и энтомология; поведение животных; состояние экосистем; экологическая физиология. Для зоологов, этологов, экологов.

Редколлегия сборника:

д.б.н. В.В. Рожнов (ответственный редактор),  
д.б.н. А.В. Суров, д.б.н. М.В. Холодова, д.б.н. Н.Ю. Феоктистова, к.б.н. Ж.В. Антипушина, к.б.н. К.Б. Гонгальский, Г.Н. Фесенко, д.б.н. А.Н. Соловьев.

*Конференция проведена при поддержке Отделения биологических наук РАН и Программы Президиума РАН  
«Поддержка молодых ученых»*

# СТРУКТУРНОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ЗВУКОВ ДЕТЁНЫШЕЙ ДЖЕЙРАНА (*GAZELLA SUBGUTTUROSA*) И ИЗМЕНЕНИЕ ИХ ВСТРЕЧАЕМОСТИ ПО МЕРЕ ВЗРОСЛЕНИЯ

К.О. Ефремова<sup>1</sup>, Е.Н. Лапшина<sup>1</sup>, И.А. Володин<sup>1,2</sup>,  
Н.В. Солдатова<sup>3</sup>

<sup>1</sup>МГУ имени М.В. Ломоносова

<sup>2</sup>Московский зоопарк

<sup>3</sup>Экоцентр «Джейран», Узбекистан

*E-mail: x.efremova@gmail.com*

Источником звука у млекопитающих являются голосовые связки гортани. Перед тем как попасть во внешнюю среду звук обязательно проходит через вокальный тракт, который включает в себя глотку, носовую и ротовую полости. Таким образом, итоговый звук является результатом работы как голосовых связок, так и вокального тракта. Частота колебаний голосовых связок соответствует основной частоте издаваемого звука и в первую очередь зависит от их длины и массы (Titze, 1994; Fitch, Hauser, 2002). Основная акустическая роль вокального тракта заключается в фильтрации звукового сигнала, созданного источником, т.е. перераспределении звуковой энергии в частотном спектре в соответствии с собственными резонансными и антирезонансными частотами (Фант, 1964; Сорокин, 1985; Fitch, 2000). Области усиления звуковой энергии в спектре, возникающие в результате работы вокального тракта, носят название формант, и их значения зависят от длины и конфигурации вокального тракта (Фант, 1964; Fitch, 2000). В соответствии с принятой в современной биоакустике теорией источника-фильтра, основная частота звуков млекопитающих зависит от частоты колебаний расположенных в гортани голосовых связок и не зависит от изменений резонансных характеристик голосового тракта (Фант, 1964; Сорокин, 1985; Fitch, Hauser, 2002). Современные методы анализа звуков позволяют независимо анализировать параметры звуков, связанные как с источником звука, так и с вокальным трактом (Owren, Linker, 1995).

Описание структурного разнообразия звуков - необходимый этап исследования акустической коммуникации животных. Целью данного исследования было описание структуры звуковых сигналов разных типов у детёнышей джейрана и оценка встречаемости этих типов по мере взросления от 2-недельного до 6-месячного возраста.

Материал был собран от находящихся на искусственном вскармливании индивидуально помеченных детенышей джейрана с 1 мая по 28 августа г. (10 самцов и 13 самок), с 17 по 29 октября 2008 г. (7 самцов, 11 самок) и с 22 мая по 18 июня 2009 г. (9 самцов, 11 самок) на территории Экоцентра «Джейран» (Бухарская обл., Узбекистан). Звуки записывали на цифровые рекордеры Zoom-H4 и Marantz-PMD-660 с микрофоном Sennheiser K6-ME66, с частотой дискретизации 48 кГц и разрешением 16 бит в ситуациях перед и во время кормления и непродолжительной изоляции от группы. Всего было собрано около 130 часов записей. Спектрографический анализ звуков был проведен в программе Avisoft SASLab Pro 4.33 со следующими установками: окно Хэмминга; длина Быстрого Преобразования Фурье 1024 точки; перекрывание по частотной оси 50%, перекрывание по временной оси 93,75%. Формантные частоты измеряли в программе Praat v. 4.3.21 с помощью алгоритма линейного предсказательного кодирования (LPC) со следующими установками: ковариантный анализ Бурга, временное окно 40 мс, максимальное число формант 4-5, анализируемый частотный диапазон 4000-5000 Гц. Формантную дисперсию рассчитывали как среднюю разность значений частот соседних формант.

На основании структурных особенностей, связанных со способом звукопродукции, мы выделили три типа звуков: носовые, рото-

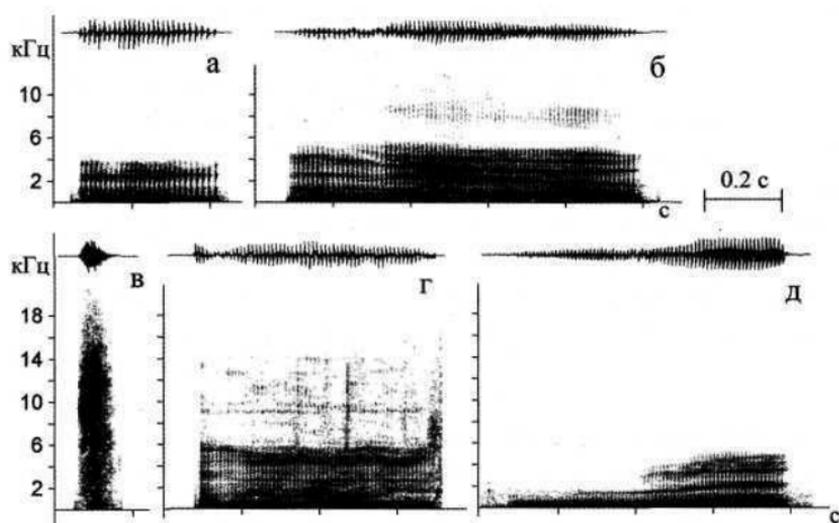


Рис. 1. Спектрограммы (внизу) и осциллограммы (вверху) звуков детенышей джейрана в возрасте 3-6 недель: а - носовой звук; б - ротовой звук; в - фыркание; г - носовой звук при сосании; д - носовой звук при бодании.

вые звуки и фырканы (рис. 1). Носовые звуки издавались в различных ситуациях, которые могли влиять на их структуру, что позволило выделить два дополнительных подтипа - носовые звуки при сосании и носовые звуки при бодании (рис. 1). Значения акустических параметров звуков детенышей в возрасте 3-6 недель приведены в таблице. От каждого из детеныша в анализ было включено от 1 до 10 звуков каждого типа и подтипа.

Носовые звуки представляют собой пульсирующие звуки с относительно равномерным периодом пульсации на всем протяжении. Частота пульсации соответствует частоте вибрации голосовых связок (то есть основной частоте звука). Носовые звуки детеныши обычно издавали при ожидании и во время кормления и при изоляции детеныша от группы. Также детеныши издавали носовые звуки во время сосания молока (или воды) из бутылочки, а также во время во время бодания. Детеныши бодаются между собой, начиная с 2-недельного возраста, такие взаимодействия, видимо, являются частью игрового, а иногда и слабого агрессивного, поведения. Структура носовых звуков трех подтипов очень близка, несмотря на различия в поведенческих контекстах.

Ротовые звуки детеныши обычно издавали при более высоком уровне возбуждения, чем носовые звуки. В подавляющем большинстве случаев ротовой звук детеныш начинал кричать с закрытым ртом и открывал рот в течение крика. Две части звука - носовая и ротовая хорошо различаются на спектрограмме (рис. 1), а также на слух. Как и в носовых звуках, в ротовых хорошо заметна пульсация, соответствующая основной частоте звука. Длительность и основная частота в ротовых звуках имели более высокие значения, чем в носовых. Частоты всех четырех формант ротовых звуков были выше, чем в носовых, что было связано с укорочением вокального тракта при открывании рта. Доминантная частота и энергетические квартилы, отражающие распределение энергии в спектре звука, также показывали более высокие значения в ротовых звуках по сравнению с носовыми.

Фырканы представляло собой короткий, шумовой, относительно тихий звук, возникающий в результате резкого выдоха через нос. Этот тип звука был связан с относительно низким уровнем возбуждения детеныша и настороженностью. Обычно детеныши фыркали в ответ на неожиданное появление человека, незнакомого животного или резкий звук. При этом детеныш замирал с вытянутой шеей и головой, ориентированной в сторону потенциальной опасности. Однако иногда данный тип звука встречался как элемент игрового поведения. Длительность фырканы была наименьшей

Таблица. Средние ( $\pm$ SE) значения параметров разных типов звуков детенышей джейрана в возрасте 3-6 недель и результаты сравнения величин параметров с помощью однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) с пост-хок тестом Туки

Параметры звуков	Носовой	Носовой при сосании	Носовой при бодании	Ротовой	Фыркanye	ANOVA
N(n)	20(100)	8(51)	7(37)	20(100)	20(81)	
Основная частота (Гц)	85 $\pm$ 1,2 <sup>a</sup>	89 $\pm$ 1,6 <sup>a</sup>	84 $\pm$ 2,7 <sup>a</sup>	101 $\pm$ 1,6 <sup>b</sup>	-	F <sub>3,285</sub> =27,2 p<0,001
Длительность (с)	0,23 $\pm$ 0,01 <sup>a</sup>	0,35 $\pm$ 0,03 <sup>b</sup>	0,63 $\pm$ 0,04 <sup>c</sup>	0,50 $\pm$ 0,01 <sup>d</sup>	0,18 $\pm$ 0,01 <sup>c</sup>	F <sub>4,365</sub> =94,7 p<0,001
Первая форманта (Гц)	464 $\pm$ 8 <sup>a</sup>	572 $\pm$ 13 <sup>b</sup>	567 $\pm$ 20 <sup>b</sup>	670 $\pm$ 12 <sup>c</sup>	-	F <sub>3,284</sub> =85,4 p<0,001
Вторая форманта (Гц)	1330 $\pm$ 16 <sup>a</sup>	1340 $\pm$ 23 <sup>a</sup>	1582 $\pm$ 80 <sup>b</sup>	1931 $\pm$ 29 <sup>c</sup>	-	F <sub>3,277</sub> =111,7 p<0,001
Третья форманта (Гц)	2671 $\pm$ 22 <sup>a</sup>	2456 $\pm$ 33 <sup>b</sup>	2851 $\pm$ 79 <sup>a</sup>	2879 $\pm$ 31 <sup>c</sup>	-	F <sub>3,273</sub> =29,4 p<0,001
Четвертая форманта (Гц)	3684 $\pm$ 21 <sup>a</sup>	3436 $\pm$ 49 <sup>b</sup>	3794 $\pm$ 89 <sup>a</sup>	4033 $\pm$ 29 <sup>c</sup>	-	F <sub>3,256</sub> =57,9 p<0,001
Формантная дисперсия (Гц)	1073 $\pm$ 6 <sup>a</sup>	964 $\pm$ 16 <sup>a</sup>	1065 $\pm$ 28 <sup>a</sup>	1111 $\pm$ 8 <sup>a</sup>	-	F <sub>3,277</sub> =29,1 p<0,001
Доминантная частота (Гц)	325 $\pm$ 8 <sup>a</sup>	407 $\pm$ 12 <sup>a</sup>	367 $\pm$ 28 <sup>a</sup>	800 $\pm$ 68 <sup>a</sup>	2985 $\pm$ 402 <sup>b</sup>	F <sub>4,363</sub> =31,7 p<0,001
Нижняя квартиль (Гц)	371 $\pm$ 8 <sup>a</sup>	470 $\pm$ 13 <sup>a</sup>	264 $\pm$ 19 <sup>a</sup>	664 $\pm$ 24 <sup>a</sup>	1795 $\pm$ 169 <sup>b</sup>	F <sub>4,363</sub> =52,8 p<0,001
Средняя квартиль (Гц)	864 $\pm$ 38 <sup>a</sup>	1133 $\pm$ 45 <sup>a</sup>	601 $\pm$ 35,7 <sup>a</sup>	1646 $\pm$ 65 <sup>b</sup>	4916 $\pm$ 276 <sup>c</sup>	F <sub>4,363</sub> =152,6 p<0,001
Верхняя квартиль (Гц)	2574 $\pm$ 82 <sup>a</sup>	3007 $\pm$ 82 <sup>a</sup>	1917 $\pm$ 187 <sup>a</sup>	3133 $\pm$ 81 <sup>b</sup>	8880 $\pm$ 268 <sup>c</sup>	F <sub>4,363</sub> =337,1 p<0,001

среди всех типов звуков, тогда как доминантная частота и энергетические квантили показывали наивысшие значения. Структура фырканья не позволяла измерить другие акустические параметры.

Для оценки изменения встречаемости звуков разных типов по мере взросления детенышей, собранный в 2008 г. массив данных был подразделен на 9 периодов, соответствующих возрастам детенышей 2, 4, 6, ... 24 недели. В каждом периоде все записанные звуки были отнесены к соответствующему типу или подтипу на основании прослушивания и визуального анализа спектрограмм в программе Avisoft. Всего было проанализировано 29984 звуков. Процент звуков каждого типа и подтипа был рассчитан для каждого возрастного периода (рис. 2).

В 2-недельном возрасте детенышей ротовые звуки составляли большинство, однако их встречаемость в ходе онтогенеза постепенно снижалась и они полностью отсутствовали у детенышей 24-недельного возраста. Доля ротовых звуков отрицательно коррелировала с возрастом детенышей (коэффициент Спирмана  $r_s = -0,83$ ,

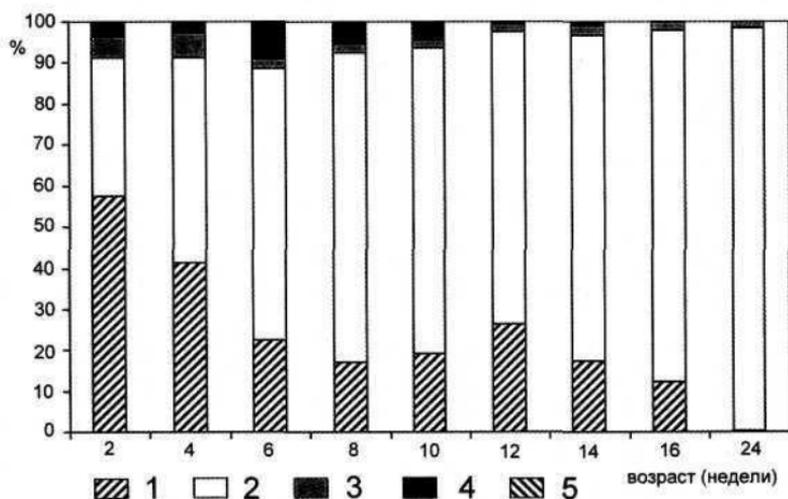


Рис. 2. Встречаемость (в процентах) звуков разных типов по мере взросления детенышей джейрана: 1 - носовой звук; 2 - ротовой звук; 3 - фырканье; 4 - носовой звук при сосании; 5- носовой звук при бодании.

В каждой строке таблицы одинаковые буквы означают отсутствие различий, разные буквы - достоверные статистические различия между значениями параметра разных типов звуков. N - число животных, n - число измеренных звуков, прочерк означает отсутствие параметра.

$p < 0,01$ ). Наоборот, доля носовых звуков постоянно увеличивалась ( $r_s = 0,93$ ,  $p < 0,001$ ), с 4-недельного возраста они составляли больше половины всех звуков и в 24-недельному возрасту это был практически единственный тип звука, который издавали детеныши. Фырканья присутствовали во всех возрастах, но их доля никогда не превышала 6%. Носовые звуки при сосании встречались значительно чаще, чем носовые звуки при бодании, но их доля никогда не была значительной и они не встречались позднее 14-недельного возраста (рис. 2).

### Литература

- Сорокин В.Н.* 1985. Теория речеобразования. М.: Радио и связь. 312 с.
- Фант Г.* 1964. Акустическая теория речеобразования. М.: Наука. 284 с.
- Fitch W.T.* 2000. The evolution of speech: a comparative review // *Trends Cogn. Sci.* V. 4. № 7. P. 258-267.
- Fitch W.T., Hauser M.D.* 2002. Unpacking "honesty": vertebrate vocal production and the evolution of acoustic signals // *Acoustic communication, Springer Handbook of auditory research.* N.Y.: Springer. P. 65-137.
- Owren M.J., Linker C.D.* 1995. Some analysis methods that may be useful to acoustic primatologists // *Current topics in primate vocal communication.* N.Y.: Plenum Press. P. 1-27.
- Titze I.R.* 1994. Principles of voice production. Englewood Cliffs: Prentice Hall. 354 p.