



Ж. И. Резникова

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ИЗУЧЕНИЮ ЯЗЫКОВОГО ПОВЕДЕНИЯ ЖИВОТНЫХ

Жанна Ильинична Резникова, доктор биологических наук (МГУ, 1990), профессор, зав. кафедрой сравнительной психологии Новосибирского гос. Университета, ведущий научный сотрудник Института систематики и экологии животных СО РАН. Специалист в области экспериментальной этологии и экологии, автор более 200 научных публикаций и нескольких учебников, в том числе, трилогии

«Экология, этология, эволюция» (2000—2001, изд-ва «Наука» и «Научный мир», М.), «Интеллект и язык животных и человека: основы когнитивной этологии» (М., Академкнига, 2005) и «Animal Intelligence: From Individual to Social Cognition» (Cambridge University Press, 2007). Сайт в Интернете: www.reznikova.net.

Ключевые слова: коммуникация, языковое поведение, животные, экспериментальные подходы, теория информации, расшифровка сигналов, языки-посредники.

В обзоре анализируются три основных современных подхода к изучению языкового поведения животных: (1) прямая расшифровка сигналов, (2) применение языков-посредников для непосредственного общения с животными и (3) применение идей и методов теории информации для исследования количественных характеристик коммуникативной системы животных. Каждый из этих методов имеет свои достоинства и недостатки. Расшифровка сигналов выявляет сложную картину естественной коммуникации в ее эволюционной перспективе. Однако на этом пути есть множество методических трудностей, связанных с улавливанием и фиксированием сигналов. Одно из основных ограничений этого метода состоит в том, что в природе крайне редко встречаются случаи, когда четко выраженным и легко фиксируемым наблюдателями сигналам животных соответствует воспроизводимая и достаточно часто повторяющаяся ситуация. Применение языков-посредников является уникальной возможностью выявить потенциал языковых способностей исследуемых видов. Однако при этом средства и возможности их естественной коммуникации остаются невыясненными. Теоретико-информационный подход к исследованию языка животных основан на количественной оценке параметров их коммуникации. Суть этого подхода в том, что в экспериментах создается ситуация, в которой животные вынуждены передать друг другу заранее известное экспериментатору количество информации. При этом измеряется время, затраченное на ее передачу, то есть оценивается скорость передачи информации. Этот подход заведомо не дает сведений о природе коммуникативных сигналов. Однако он открывает новые, ранее недоступные, возможности оценки важнейших свойств систем коммуникации, о которых ранее ничего не было известно. К ним относятся скорость передачи информации, оценка степени адаптивности коммуникативных систем животных и их

интеллектуальных способностей, непосредственно связанных с восприятием и передачей информации, в частности, способностей улавливать закономерности и использовать их для «сжатия» передаваемых сообщений.

Analytical review of temporal methodological approach to the study of animal language behaviour

Key words animal communication, language behaviour, experimental approaches, information theory, deciphering signals, intermediary languages

Abstract

In this review three main experimental approaches for studying animal language behaviour are compared: (1) direct decoding of animals' communication, (2) the use of intermediary languages to communicate with animals, and (3) application of ideas and methods of the information theory for studying quantitative characteristics of animal communication. Each of the three methodological approaches has its specific power as well as specific limitations. Deciphering animals' signals reveals a complex picture of natural communication in its evolutionary perspective but only fragmentary because of many methodological barriers, among which low repeatability of standard living situations seems to be a bottleneck. Language-training experiments are of great help for discovering potentials of animal language behaviour but leaves characteristics of their natural communications unclear. The use of the methods of information theory is based on measuring the time duration which animals spend on transmitting messages of definite information content and complexity. This approach, although does not reveal the nature of animals' signals, provides a new dimension for studying important characteristics of natural communication systems which have not been available before. First of all, this approach enables explorers of animals' language behaviour to obtain knowledge just about the ability of subjects for transferring meaningful messages. Besides, the important properties of animal communication and intelligence can be evaluated such as the rate of information transmission, and potential flexibility of communication systems.

Мысль о необходимости языка для общения при сложной совместной деятельности, пожалуй, нагляднее всего выражена в легенде о Вавилонской башне: чтобы помешать ее интернациональному строительству, бог «смешал» языки, строители перестали понимать друг друга, и совместная работа стала невозможной. Является ли язык уникальным свойством человека? Поскольку существует тенденция определять язык таким образом, что он предстает исключительной привилегией людей, это вносит в исследования определенные предубеждения. Современные психолингвисты рассматривают язык как особую и видоспецифическую вычислительную способность мозга, которая дает возможность не только строить и организовывать сложные коммуникативные сигналы, но и формировать концепты и гипотезы о характере, структуре и законах мира, а это способность, обеспечивающая функционирование знаковой

системы высокого ранга и символическое поведение [Черниговская 2007]. Несомненно, видоспецифические особенности обеспечивают особый ранг языку человека [Chomsky 1975; 1986]. Однако достижения современной когнитивной этологии позволяют обнаружить у некоторых видов животных проявление высших психических функций, которые ранее считались свойственными только нашему собственному виду. Речь идет о врожденной склонности к классификации и поиску закономерностей, способностях к абстрагированию и количественным оценкам предметного мира (подробно см. [Резникова 2004; 2005; 2006; Reznikova 2007a,b]). Оказалось также, что наиболее сложные формы коммуникации животных по некоторым характеристикам приближаются к языкам человека. Такие формы коммуникации животных этологи относят к языковому поведению. Употребляя термин «язык» при описании общения животных, будем мысленно ставить это слово в кавычки.

Изучение языка и когнитивных способностей тесно взаимосвязано. Изучение потенциальных возможностей коммуникации животных помогает раскрыть дополнительные возможности их интеллекта. В последние 30 лет изучение языкового поведения животных открыло новые перспективы для познания таких высших психических функций как использование символов и категорий. Поиск аналогий между языком человека и животных оказался плодотворным: представления о коммуникации и когнитивных способностях животных коренным образом изменились. Интересно отметить, что все значительные результаты, полученные в этой области науки, связаны с разработкой новых экспериментальных методов, таких как моделирование жизненно важных ситуаций и манипуляции с воспроизводимыми сигналами, применение языкопосредников для общения с животными, применение идей теории информации для исследования потенциальных возможностей коммуникативных систем животных.

Целью данной статьи является сравнительный анализ современных методологических подходов к изучению языка животных, выявление сильных и слабых сторон этих подходов и обзор наиболее значительных и интересных результатов в данной области.

Коммуникация, язык и речь: разграничение понятий

Описывая общение живых организмов, принято употреблять такие понятия как коммуникация, язык и речь. Интуитивно ясно, что коммуникация — понятие слишком широкое для нашего рассмотрения, а речь — слишком конкретное. Язык может рассматриваться как самая сложная из форм коммуникации, а речь — как самая сложная из форм языка. Рассмотрим эти понятия подробнее.

Коммуникация составляет сущность любого социального поведения. Трудно представить себе общественное поведение без обмена информацией или же систему передачи информации, которая не была бы в каком-то смысле общественной. Когда животное совершает некое действие, изменяющее поведение другой особи, можно говорить о том, что имеет место коммуникация. Под такое широкое определение подходят и те случаи, когда, например, спокойно кормящееся или, наоборот, тревожно насторожившееся животное только лишь своей позой воздействует на поведение других членов сообщества.

Более конкретные, определения коммуникации включают сигналы, специфические для представителей биологических видов. Одно из общепринятых в этологии определений звучит следующим образом: коммуникация состоит в обмене информацией между индивидуумами, подающими и получающими сигналы, с использованием видоспецифических кодов, которые обычно служат жизненно важным целям (репродукция, питание, защита) и обеспечивают целостность социальных группировок у общественных животных [Vauclair 1996].

У животных, ведущих общественный образ жизни, коммуникация обеспечивает выполнение целого ряда жизненно важных функций: (1) индивидуальная и (или) групповая идентификация, (2) обозначение иерархического ранга, (3) синхронизация физиологических процессов во время сезона размножения, (4) согласование совместных форм активности, таких, как миграция и фуражировка, (5) распределение информации об изменениях в окружающей среде, таких, как появление опасности или новых источников пищи (подробно см. [Резникова 2007а]).

Для того, чтобы среди разнообразия форм коммуникативного поведения выделить те, которые имеют отношение к языковому поведению, нужно разграничить ситуации, когда сигналы передаются целенаправленно, и ситуации, когда сигналы лишь отражают физиологическое и эмоциональное состояние животного. Языковое поведение животных можно рассматривать как наиболее сложную форму коммуникации, которая имеет место в тех случаях, когда индивидуумы целенаправленно передают и получают сигналы, и когда способы передачи и получения сигналов отвечают определенным критериям. Эти критерии будут рассмотрены ниже.

Речь — это одна из форм существования языка: способность использовать слова (у глухих — знаковые жесты) и складывать из них фразы, чтобы передать другим определенные понятия. Речь служит чрезвычайно эффективным средством общения, особенно — передачи абстрактных понятий. Мыслительная экономичность языка позволяет формировать достаточно сложные представления и, пользуясь ими, мыслить на таких уровнях абстрагирования, которые иначе были бы недостижимы. Любое слово (например, «отвертка» или «демо-

кратия») включает множество различных представлений, ощущений, понятий. Для развития речи необходимо умение заранее представлять и различать свои действия, создавать и классифицировать мысленные представления о предметах, событиях и связях.

Членораздельная речь считается одной из форм коммуникации, специфичной для человека как биологического вида. Фонетическое обеспечение речи у человека основано на координированных движениях различных органов (губы, язык, небо, гортань, голосовые связки) и, что особенно важно, поддерживается соответствующими структурами мозга. Перед маленьким ребенком, осваивающим язык, стоит задача воспроизвести артикуляционные модели, специфичные для его языкового окружения. Уже в первые дни после рождения ребенок отличает звуки речи от других звуков и оказывает им предпочтение. Это было продемонстрировано с помощью множественных поведенческих индикаторов (таких, например, как скорость сосания пустышки), которые у младенцев связаны с проявлением внимания и предпочтения. В 90-е годы к методам исследования лингвистических способностей младенцев добавился метод компьютерной томографии [Dehaene-Lambertz, Dehaene 1994]. Многие современные исследования показали, что вид *Homo sapiens* обладает врожденной предрасположенностью к развитию речи как специфичной формы коммуникации (подробно см. [Hauser et al. 2002; Reznikova 2007a]).

Язык, как это уже отмечалось выше, многими исследователями считается уникальным свойством человека. Близка к общепринятой точка зрения, согласно которой *Homo sapiens* — это единственный из ныне живущих биологических видов, обладающий языком. Эта точка зрения поддерживается следующим определением: язык есть коммуникативная система, приобретенная в результате социального опыта, состоящая из произвольных знаков, которые представляют внешний и внутренний мир, организованная согласно грамматическим правилам и открытая, то есть допускающая неограниченное расширение репертуара [Jürgens 1989]. С поведенческой точки зрения язык является системой самопроизвольных движений, состоящих из определенных единиц, которые могут произвольно определять объекты, события и намерения. Под это определение подходят членораздельная речь и жестовый символический язык глухих [Kimura 1979].

В общем-то, определений языка так много, что только их перечислению посвящена целая глава книги известного американского психолингвиста Н. Хомски «Язык и сознание» [Chomsky 1972]. Как отмечает в учебнике «Поведение животных» Д. МакФарленд [1988], определить понятие языка с объективной точки зрения очень нелегко, поскольку он характеризуется многими необходимыми признаками. Например, мы можем согласиться с тем, что язык — это средство коммуникации, но очевидно, что не все средства комму-

никации являются языком. Человеческий язык обычно существует в форме речи, но это далеко не всегда так (язык глухих — яркий тому пример). Язык использует символы, но символичны и некоторые аспекты коммуникации у пчел. Язык люди осваивают в течение особого чувствительного периода развития, но то же самое наблюдается у некоторых птиц, обучающихся песне своего вида. С помощью языка можно передавать информацию не только о ситуационных ситуациях, но и о таких, которые оказываются удаленными и во времени и в пространстве. Но некоторые сигналы тревоги у животных обладают теми же свойствами. Даже такие аспекты человеческого языка, которые, казалось бы, явно выделяют его из коммуникативных систем животных, как использование грамматических правил, в последнее время (как будет подробнее описано ниже), обсуждаются и применительно к животным.

Известный американский лингвист Ч. Хоккет [Hockett 1960] предложил не соревноваться во все более емких и изощренных определениях такого феномена, как язык, а использовать таблицу ключевых свойств человеческого языка в сравнении с возможностями животных. В полной таблице Хоккет приводит 16 основных свойств языка, среди которых ключевыми считают восемь, перечисленных ниже.

1. «Двойственность» (структурная двойственность), означает, что человеческий язык обладает одновременно и фонологической (звуковой) и грамматической (смысловой) организацией. Вместо того чтобы для каждого сообщения использовать отдельный сигнал, человеческая речь строится из конечного числа звуков, или фонем, которые, складываясь огромным числом различных способов, образуют смысловую структуру. Понятие двойственности родни понятию семантической.

2. «Семантическая» означает присвоение определенного значения некоторому абстрактному символу, двойственность позволяет строить конструкции из таких символов. Если у животных отсутствует способность воспринимать двойственность, то каждое сообщение, которым они обмениваются, должно заранее возникнуть в процессе филогенетического развития. Они могут обмениваться лишь ограниченным числом сообщений, данных им от природы. Тревожный крик или приветственное урчание уже как бы заранее «сформулированы». Двойственность может освободить носителей языка от необходимости оперировать только заранее сформулированными сообщениями и позволить создавать новые, собственные сообщения.

3. «Продуктивность» означает, что носители языка способны создавать и понимать практически бесконечное число сообщений, составленных из конечного числа имеющих смысл единиц. Именно этот механизм делает возможным использование аналогий. Важно, что наличие продуктивности делает язык от-

крытой системой, то есть его носители могут продуцировать неограниченное количество сообщений о чем угодно.

4. «Произвольность» означает, что сообщения состоят из произвольных единиц, а не «картинок», иллюстрирующих их смысл. В противном случае, система изображений, соответствующих конкретным сообщениям, будет называться «иконической». Примером использования иконических символов может служить письмо девочки из сказки Р. Киплинга. На кусочке коры, переданной с незнакомцем, излагалась просьба прислать новое копье взамен сломанного, но значки, призванные изображать предметы и события, так исказили смысл, что посланцу письма не поздоровилось, когда он явился с ним в чужое племя. Среди знаков, используемых в жестовом языке глухих, есть иконические (например, крокодил обозначается знаком, изображающим щелкающие челюсти, а стол — жестом, как бы разглаживающим скатерть), однако подавляющее большинство используемых знаков — произвольные, то есть они не имеют внешне ничего общего с предметом или явлением, о котором идет речь.

5. «Взаимозаменяемость» заключается в том, что любой организм, способный посылать сообщения, должен быть способен и принимать их. Например, в общении самки и самца рыбы колюшки взаимозаменяемость отсутствует: когда самка колюшки раздувает брюшко, она вызывает у самца проявление брачного ритуального поведения, а самец своей яркой окраской и специфическими позами вызывает ответную реакцию самки. Роли в этом случае поменяться не могут. А вот в сообществе гиббонов, волков, львов и многих других социальных видов все особи могут в равной мере издавать и воспринимать сигналы, связанные с перемещением в пространстве, наличием пищи, приближением врагов и т. п. Таким образом, для коммуникации некоторых видов животных характерна взаимозаменяемость.

6. «Специализация» заключается в том, что общение совершается с помощью специализированной системы коммуникации, то есть животное сообщает что-либо именно с помощью специфических сигналов, а не просто путем выполнения поведенческих актов, направленных на решение собственных жизненных проблем. Человек, по-видимому, обладает максимально специализированной системой общения. Если же вернуться к примеру с колюшкой, то самцы реагируют непосредственно на физические аспекты сообщения, посылаемого самкой — раздувание брюшка и метание икры — тогда как самка реагирует на сигнальное изменение окраски самца. Таким образом, «сообщение» самца (изменение окраски, сигнализирующее о готовности принять самку и защитить территорию) более специализированно, чем «сообщение» самки (изменение облика, связанные с ее физиологическим состоянием).

7. «Перемещаемость» означает, что предмет сообщения и его результаты могут быть удалены во времени и пространстве от источника сообщения. На базе перемещаемости, как считают лингвисты, возникла грамматика, как некая структура, способствующая поддержанию и организации процессов мышления таким образом, чтобы освободить людей от гнета сиюминутности. Для этого должна быть определена структура предложения, в котором соответствующим образом организованы такие сложные категории как определение, субъект действия, место действия, действующее лицо, объект действия.

Люди могут свободно высказываться о прошлых или будущих событиях. Многие исследователи считают, что на это способны и медоносные пчелы, использующие символический язык танцев, так как пчелы-разведчицы сообщают фуражирам в улье о местонахождении источника пищи, который находится на большом расстоянии, и найден не тотчас, а какое-то время тому назад. Исполняя свой танец, пчелы вносят поправки на перемещение Солнца за то время, которое прошло с тех пор, как источник корма был найден. Ниже эта причудливая система коммуникации будет рассмотрена подробно.

8. «Культурная преемственность» означает способность передавать договоренность о смысле сигналов в череде поколений посредством культурной, а не генетической преемственности.

Исследователи, изучающие коммуникацию животных, достаточно эффективно пользуются таблицей Хоккета, желая сопоставить степень сложности коммуникативных систем разных видов. Для того чтобы представить себе степень различия между способами общения у человека и других биологических видов, необходимо проанализировать разные методы и подходы к исследованию языкового поведения животных.

Можно выделить три основных методологических подхода к изучению языка животных: (1) попытки прямой расшифровки сигналов, (2) применение искусственных языков-посредников и (3) теоретико-информационный подход, основанный на исследовании системы коммуникации животных как средства передачи информации, то есть конкретной, количественно измеримой величины.

В поисках розеттского камня: изучение коммуникации животных путем прямой расшифровки сигналов

Розеттский камень, упомянутый в названии раздела, — это каменная плита, давшая ключ к расшифровке египетских иероглифов. Камень был найден в ходе военной экспедиции Наполеона в Египет. На нем высечен указ, относящийся ко времени правления Птолемея Эпифана (196 г. до н. э.), и записанный на трех языках: иероглифами (священными знаками, употреблявшимися жре-

цами), демотическим письмом (распространенной в ту эпоху скорописью) и по-гречески.

Демотический текст удалось довольно быстро расшифровать, сопоставив многочисленные титулы Птолемея в греческом тексте с их египетскими соответствиями. Больше трудностей доставила иероглифика. Ключ к пониманию рисуночного письма был утерян еще в римское время. Первые шаги к дешифровке иероглифической надписи на Розеттском камне были сделаны английским физиком Т. Янгом, который сумел расшифровать некоторые из знаков, вновь обратившись к различным титулам фараона и их соответствиям в греческом тексте. Полностью разгадать тексты удалось французскому ученому Шампольону, который показал, что система иероглифов в значительной мере состоит из фонетических знаков. К 1822 г. он сумел прочитать и перевести не только текст указа, но и другие иероглифические тексты, составить словарь и представить грамматику древнеегипетского языка.

Задачу этологов, пытающихся декодировать сигналы животных, можно сравнить с задачей лингвистов, которые бы приступали к расшифровке текстов, написанных на неизвестных языках, не имея при этом ключа, то есть фрагментов того же текста на одном из известных языков. Представим, например, что мы наблюдаем за общением представителей своего вида, но иной культуры — скажем, поведением и общением японцев во время чайной церемонии, и пытаемся по произносимым словам и совершаемым действиям составить русско-японский словарь. При этом наблюдатель не понимает смысла большинства действий, не знает, где начинаются и кончаются слоги и фразы, одно и то же слово, произносимое разными лицами, может воспринимать как разные слова и, наоборот, несколько слов принимать за одно. По-видимому, из таких наблюдений составить словарь невозможно. При наблюдении за животными возможности расшифровки сигналов представляются еще более ограниченными. Используемые ими сигналы разных модальностей (акустические, тактильные, визуальные, ольфакторные) часто с трудом поддаются фиксации и классификации.

Трудности, возникающие при попытках расшифровать сигналы животных, отмечались многими специалистами. Так, канадские исследователи волков пытались найти соответствие их акустических сигналов и различных социальных ситуаций в стае и понять, какую информацию волки могут передавать друг другу [Theberge, Pimlot 1969]. Несмотря на большое разнообразие зафиксированных сигналов у волков [Никольский, Фроммольт 1989], удалось определить значение только одного из них: это «сигнал одиночества», который волки издают, оказавшись в изоляции и стремясь воссоединиться с остальными членами стаи. Усилиями многих исследователей было выяснено, что акустические сигналы некоторых видов животных имеют иерархическую структуру: звуки

группируются в «слоги», «слова» и «фразы», из которых складывается определенная «песня». Это было показано для многих видов птиц [Slater 2003], некоторых видов китообразных [Марков 1993; Janik, Slater 1997], некоторых видов обезьян [Дерягина и др. 1989; Snowdon et al. 1982].

Несмотря на методические трудности, попытки прямой расшифровки сигналов животных нельзя считать безнадежными. «Ключами» к кодам, используемым разными видами, могут служить поведенческие индикаторы, то есть однотипные формы поведения, которые воспроизводятся животными в повторяющихся ситуациях. Трудность в том, чтобы найти такие повторяющиеся ситуации в контексте естественной жизни животных, выделить соответствующие формы поведения и сопутствующие им сигналы. Такое «везение» на долю исследователей выпадает редко. К настоящему времени известны два, ставшие классическими, случая успешной расшифровки систем коммуникации животных: это «язык танцев» медоносных пчел и акустические сигналы опасности у зеленых марышек. Сходные результаты были получены и на некоторых других видах животных, но в основе методического направления, связанного с прямым декодированием сигналов животных, лежат данные, полученные на пчелах и марышках. Их объединяет то обстоятельство, что были обнаружены выразительные и отчетливые сигналы, соответствующие часто повторяющимся жизненно важным ситуациям. Остановимся подробнее на основных результатах, полученных в этой области.

Дистанционное наведение и «символический язык» у общественных насекомых

Расшифровку символического «языка танцев» медоносной пчелы Карлом фон Фришем [Frisch 1923; 1967; Фриш 1980] можно считать самым выдающимся достижением в области декодирования естественных коммуникативных сигналов животных. Еще в 20-е годы XX века, изучая способность пчел различать цвета, фон Фриш обнаружил, что достаточно одной «разведчицы», которая появится на цветном блюдечке с сиропом, выставленному на открытом воздухе, чтобы вскоре после ее возвращения в улей к этому блюдечку прилетело множество пчел. Каким образом они узнали, куда им надо лететь? Этот вопрос волновал многие умы уже очень давно.

Предположение о том, что пчелы-разведчицы каким-то образом сообщают пчелам, находящимся в улье, о местах массового цветения растений, было высказано еще Аристотелем. В научной литературе гипотеза о танцах («пчелиный балет») как о средстве общения между пчелами впервые зафиксирована М. Дж. Э. Шпитцнером в 1788 г. Многие известные исследователи общественных насекомых XVIII и XIX столетий — в частности, Ф. Дюжарден и

Дж. Эмери — своими наблюдениями поддерживали предположения о том, что пчелы-разведчицы передают сообщения фуражирам в улье с помощью танцев. Известный британский ученый Дж. Леббок [Lubbock 1882] и американский исследователь Ч. Г. Тюрнер (см. [Abramson 2003]) в конце XIX века проводили эксперименты, которые, по-видимому, легли в основу будущих исследований К. фон Фриша. Трудно было объяснить, как именно пчелы кодируют такую абстрактную информацию как координаты точки в пространстве. Дело в том, что способность к дистанционной передаче информации, связанной с событиями, удаленными в пространстве и во времени, — так называемое дистанционное наведение — является у животных редчайшей. К дистанционному наведению относят только такие ситуации, когда, передавая своим сородичам сведения о событиях или объектах, удаленных в пространстве и во времени, животные лишены возможности непосредственно указать на эти объекты или же оставить какие-либо метки по пути к ним. Можно предположить, что в этих ситуациях в коммуникации используются какие-либо обозначения, возможно, символические. Феномен дистанционного наведения описан для дельфинов [Evans, Bastian 1969], шимпанзе [Menzel 1974], муравьев [Резникова 1979; 1983]. Изучение этого явления требует организации тщательных экспериментов.

Фон Фриш впервые исследовал явление дистанционного наведения у пчел с помощью систематических экспериментов. Он наблюдал поведение пчел в специально сконструированном улье со стеклянными стенками и обратил внимание на то, что возвращающиеся в улей пчелы-сборщицы совершают движения, привлекающие других пчел. Пчелы исполняют танец на вертикальных сотовых пластинах в темноте улья. Угол, составленный осью танца и вертикалью, соответствует углу между направлением на пищу и направлением на солнце. По мере того как солнце продвигается на запад, ось танца поворачивается против часовой стрелки. Скорость виляющей фазы танца соответствует расстоянию между пищей и ульем. Круговой танец — это упрощенный виляющий танец, который показывает, что пища находится настолько близко, что никакие виляния не нужны. Вернувшаяся разведчица привлекает других рабочих пчел с помощью определенной демонстрации, во время которой она вибрирует крыльями и издает «феромон привлечения». Но это происходит только в том случае, если обнаружен действительно ценный источник пищи. Ценность разведчица определяет по расстоянию от улья и по качеству пищи. Чем дальше пища от улья, тем слаще она должна быть, чтобы заставить пчелу танцевать и привлечь других пчел. Отмечены случаи, когда разведчица привлекала сборщиц к источнику корма, находящемуся на расстоянии до 12 км. Весьма обычным является полет «информированных» пчел на расстояние 3—4 км. Разведчица приносит в улей следы пахучего вещества с цветов, которые она посетила. Другие рабочие пчелы собираются вокруг танцующей пчелы и запоминают

этот запах, чтобы потом использовать память о нем, когда они окажутся вблизи того места, где находится пища. В более поздних исследованиях фон Фриша и его последователей было выяснено, что расстояние до источника корма коррелирует с 11-ю параметрами танца, например, с его продолжительностью, темпом, количеством виляний брюшком, с длительностью звуковых сигналов. Было также показано, что танец используют не только разведчицы-фуражиры при поисках пищи и воды, но и разведчицы-«квартирмейстеры» при указании подходящего места для жилья во время роения.

«Язык танцев» пчел удовлетворяет, по крайней мере, некоторым из критериев Хоккета. Так, он во многих отношениях является символическим. В частности, точное соотношение между скоростью виляющего танца и расстоянием до нужного пчелам места определяется местными «договоренностями». Различные географические расы пчел используют разные «диалекты». Один и тот же элемент виляющего танца обозначает примерно 75 м у немецкой пчелы, около 25 м у пчелы итальянской, и всего 5 м у пчелы из Египта. Если все пчелы в семье придерживаются данной «договоренности», не имеет значения, какому именно расстоянию соответствует элемент их танца. Заметим в скобках, что «договоренность» в данном случае совсем не означает, что пчелы договариваются между собой. В основе «диалектов» могут лежать генетические предрасположенности (подробно см. [Reznikova 2007a]). Танец можно рассматривать как пример произвольного соглашения, поскольку вместо солнца в качестве точки отсчета пчелы могут использовать, например, направление на север. Танцу присуще также свойство перемещаемости, так как пчелы сообщают не только об источниках, удаленных в пространстве, но и о тех, которые пчелы посетили несколько часов назад. В течение всего этого времени пчеларазведчица сохраняет психический образ траектории движения солнца и в соответствии с этим корректирует свой танец. Есть некоторые указания на то, что пчелиный танец является, хотя и в ограниченных пределах, но открытой системой, то есть обладает продуктивностью. Так, в одном из экспериментов Фриш и Линдауэр переместили улей из его обычной горизонтальной позиции в вертикальную, и при этом пчелы изменили танец таким образом, чтобы верно указать параметры точки в пространстве. Степень гибкости коммуникативной системы пчел нуждается в дальнейшем исследовании.

В результате изучения «языка танцев» пчел, по выражению автора одного из наиболее известных учебников по поведению животных, О. Меннинга [1982], «...мир вынужден признать, что передавать информацию в символической форме может не только человек — это способно сделать такое скромное создание, как пчела». Однако признание было отнюдь не безоговорочно, и споры по поводу этого открытия длились и после того, как в 1973 г. фон Фриш получил за свое открытие Нобелевскую премию [Gould 1976]. Основные вопросы были

связаны с тем, действительно ли пчелы передают информацию с помощью системы дистанционного наведения, включающей некие символы, или они могут мобилизовать сборщиц при помощи запаха, оставляя пахучие метки на своем пути. Было высказано предположение о том, что идеальным разрешением этого спора были бы результаты, полученные с помощью пчелы-робота, модели, изготовленной для выполнения танца под контролем экспериментатора.

Интересно отметить, что известный британский эволюционист Дж. Холдейн еще в 20-е годы высказал предположение о том, что можно было бы побудить пчел опылять нужные человеку растения, если использовать модель пчелы, совершающую в улье нужные движения, сопровождающиеся соответствующими звуками и запахом [Haldane 1927]. Первые попытки изготовить механическую пчелу в 1960–70-е годы не были успешными. В улей помещали разные варианты моделей, которые вибрировали и издавали звуки, как пчела-разведчица [Левченко 1976; Лопатина 1971; Esch 1964]. Фуражиры проявляли большой интерес к искусственной пчеле, но мобилизации на источник корма не получалось. Может быть, неслучайно родиной первой действующей механической пчелы стал город Оденсе, родина Ганса Христиана Андерсена, под пером которого родился механический соловей. В 1990-е годы датский инженер Б. Андерсен и руководитель Центра изучения акустической коммуникации животных А. Михельсен создали такую пчелу-робота, которая точно передавала информацию живым пчелам. Пчелы летели из улья на поляну, руководствуясь только лишь указаниями пчелы-робота, которая сама никогда не покидала искусственного улья [Michelsen et al. 1990]. В 1997 г. автору довелось быть в Оденсе и посмотреть, как модель пчелы «танцует» в стеклянном улье. Пчела-



Рис. 1. Пчела-робот и пчелы-фуражиры в искусственном улье. Фотография предоставлена А. Михельсоном (© Centre for Sound Communication, Institute of Biology, Odense University, Denmark. Courtesy of A. Michelsen).

робот сделана из латуни и покрыта тонким слоем воска. В длину она такая же, как обычная пчела (13 мм), но значительно толще, поэтому выглядит среди пчел как борец сумо среди обычных японцев. Это, однако, не смущает пчел-сборщиц, которые толпятся вокруг и наблюдают за движениями «танцовщицы». Правда, модель должна быть выдержана до опыта в улье в течение 12 часов, чтобы пропитаться запахом семьи, иначе пчелы ее атакуют. Модель описывает «восьмерки» и при этом издает звуки, генерируемые синтезатором, и совершает виляющие, вибрационные и колебательные движения. Все компоненты танца регулируются с помощью компьютерной программы. Каждые 3 мин компьютер вносит поправку в «танец» модели, с учетом изменившегося положения Солнца. Модель не реагирует на «выпрашивающие» действия окружающих ее пчел, но через каждые 10 полных «восьмерок» она выделяет из своей «головы» каплю ароматизированного сиропа. В каждом опыте, длящемся 3 часа, используются новые ароматы — тимьян, мята, апельсин и т. п. Пчелы должны отыскать на поляне контейнер с тем же ароматом. Их, однако, обманывают: поесть нельзя, так как в этом случае кто-нибудь из прилетевших на поляну пчел в свою очередь может совершать мобилизационные танцы, вернувшись в улей, а по условиям опыта это делает только робот. Многочисленные опыты предшественников, в том числе и самого фон Фриша, показали, что без «инструкций», полученных от танцовщицы, пчелы вообще не могут отыскать ароматизированную кормушку, находящуюся от улья на тех расстояниях, которые испытывались в опытах. В экспериментах же Михельсена и Андерсена в среднем 80 % пчел прилетали в том направлении, которое было указано им роботом. Эти исследования практически закрыли дискуссию по поводу того, действительно ли пчелы могут передавать информацию абстрактного характера.

«Кандидатами» на то, чтобы их «язык» был расшифрован, являются и другие общественные насекомые, прежде всего, муравьи. Природа поставила их в более сложные условия, чем пчел. Если пчела может лететь к цели подобно крошечной наведенной ракете, руководствуясь такими сравнительно простыми сведениями как «координаты района в пространстве заданы, а ближний поиск точки надо осуществлять по известному заранее запаху», то муравью, чтобы найти заданное место, придется пробираться в дремучих травах или обискивать веточки в кронах деревьев. Представим, например, повседневную задачу, с которой сталкиваются хорошо знакомые всем рыжие лесные муравьи. Для того чтобы обеспечить семью углеводной пищей, они собирают капли сладкой пади, выделяемой тлями и другими сосущими насекомыми. В лесу легко заметить тысячи муравьев, устремляющихся по стволам в кроны деревьев и спешащих обратно с наполненными брюшками, которые на солнце кажутся прозрачными. Совсем недавно удалось выяснить, что в кроне муравьи

не бродят беспорядочно по всем веткам. Каждая небольшая рабочая группа использует свой листок с колонией тлей [Резникова, Новгородова 1998]. А это уже непростая задача — найти свой листок в огромной кроне дерева, или сообщить о вновь найденной колонии тлей на новом листке.

Нельзя, конечно, говорить о «муравьях вообще», так как их около одиннадцати тысяч видов. Среди них есть муравьиные «приматы», которые строят муравейники высотой до полутора метров, с миллионным населением, и есть очень большое число видов, у которых гнездо представляет собой скромный земляной холмик, а то и вовсе норку, а численность семьи у них от нескольких десятков до нескольких сотен особей. Чтобы обеспечить небольшую семью, нет необходимости удаляться от гнезда дальше, чем на 2—3 метра, а на таком расстоянии прекрасно действует и пахучий след. У таких видов разведчики, найдя пищу, мобилизуют из гнезда целую «толпу» фуражиров, которые могут бежать к цели по пахучей тропе. Этот процесс называется массовой мобилизацией. Кроме массовой мобилизации, существуют и другие способы привлечения членов семьи к нужному месту, например, муравьиные «танделы»: один из фуражиров пристраивается «в хвост» другому и так, не теряя контакта, постоянно касаясь антеннами брюшка впереди идущего, доходит с ним до самой цели. Есть вариант одиночной фуражировки: немногочисленные активные фуражиры быстро бегают и собирают пищу с довольно большой территории вокруг гнезда. Все эти задачи требуют от муравьев разных видов различных способностей к обучению [Резникова 2007б].

В научной литературе описано множество вариантов коммуникации у муравьев [Длусский 1981; Захаров 1991]. Они отражают разнообразие экологических условий, в которых эти насекомые решают различные поисковые задачи. Однако есть ли у муравьев дистанционное наведение и «язык», как у медоносной пчелы? До недавнего времени не было ответа на эти вопросы. Были высказаны лишь предположения о том, что процесс обмена информацией у многих видов муравьев может быть связан с тактильным, или антеннальным, кодом: известно, что муравьи подолгу обмениваются ударами антенн, нижнечелюстных щупиков и передних ног. Часто антеннальные контакты сопровождаются передачей от одного муравья к другому капли жидкой пищи — такой процесс называется трофаллаксом. Еще в конце XIX века немецкий зоолог Е. Васманн [Wasmann 1899] предложил гипотезу антеннального кода — своеобразного языка жестов, основанного на быстрых движениях антенн муравьев. Первые попытки расшифровать антеннальный код муравьев принадлежат П. И. Мариновскому [1958], который описал и зарисовал 14 отдельных сигналов и дал им поведенческое обоснование. Он попытался выделить «слова», такие как «прошу дать поесть», «тревога» и т. п. Развитие техники киносъемки привело к появлению большого количества работ, главным образом,

французских и немецких исследователей, посвященных антеннальному коду. Однако попытки составить нечто вроде словаря жестового языка муравьев потерпели неудачу. К началу 1990-х годов интерес к исследованию комплексов движений муравьев во время предполагаемой передачи информации угас. Стало ясно, что если у муравьев и есть жестовый «язык», то он не содержит таких четко выраженных структурных единиц, которые бы соответствовали фиксируемым ситуациям, как это имеет место у пчел. Иными словами, прямой расшифровке «антеннальный код» муравьев не поддался.

Обратим внимание на то, что исследователи пытались расшифровать антеннальный код, не имея представления о том, могут ли вообще муравьи передавать информацию дистанционным путем. Между тем, как уже говорилось выше, муравьи в своей жизни часто сталкиваются с невозможностью использовать такие сравнительно простые способы коммуникации как пахучий след или привод фуражиров к найденному источнику пищи. Такие ситуации могут возникнуть, если источник пищи найден далеко от гнезда или находится в достаточно сложно организованной среде — например, в кроне дерева.

Существование дистанционного наведения у муравьев было впервые выявлено автором в серии лабораторных экспериментов, проведенных с муравьями-древоточцами *Camponotus herculeanus* [Резникова 1979; 1983]. Муравьи жили в искусственном гнезде на лабораторной арене, разделенной на две части: в меньшей помещалось гнездо, а в большей, скрытой от муравьев высокой загородкой, помещались 10 искусственных «деревьев». Каждое имело 12 «веток», укрепленных в горизонтальной плоскости веером. На конце каждой «ветки» помещалась кормушка, но только одна из 120 содержала сироп. Передать информацию о координатах этой единственной «правильной ветки» можно было только путем дистанционного наведения. Действие пахучего следа исключали, протирая спиртом все «ветки», которые посещали муравьи. Сначала на рабочую часть арены пропускали первую группу муравьев, а остальных не допускали, убирая мостики, соединяющие жилую и рабочую части арены. Затем к поискам допускали только тех муравьев, которые контактировали с первыми «разведчиками», но сами на установках раньше не были. Для того чтобы узнавать муравьев «в лицо», их метили с помощью капель краски. Опыты, повторенные много раз с разными муравьями и варьированием положения «ветки» с кормушкой, показали, что эти насекомые могут осуществлять дистанционное наведение. Так был продемонстрирован сам факт возможности передачи муравьями информации абстрактного характера дистанционным путем. Однако этого оказалось недостаточным для постижения потенциальных возможностей муравьиного «языка». Для этого был разработан принципиально новый подход, о котором будет сказано в последнем разделе статьи.

Функциональные семантические сигналы в акустической коммуникации животных: «слова» без языка?

Акустические сигналы животных давно привлекали внимание исследователей. Известны многократные попытки расшифровать звуки, издаваемые такими «разговорчивыми» животными как птицы, дельфины, волки и другие. Новая волна интереса к звуковой коммуникации возникла после того, как был составлен «словарь» естественных сигналов восточно-африканских верветок (зеленых мартышек).

Американский исследователь Т. Струзейкер [Struhsaker 1967], впервые составил «словарь» верветок, выделив 25 по-разному звучащих сигналов. Среди них были звуки, относящиеся к разным ситуациям и употребляемые в контексте определенных обстоятельств: встреча с особями из своей или чужой группы, территориальные или «имущественные» конфликты, призывы, обращенные к детенышам и т. п. Однако большинство сочетаний звуков оказались недостаточно четкими, не слишком часто повторяемыми, а ответы на них не отличались единообразием. Легко различимыми, часто повторяющимися и вызывающими единообразные ответы, были только крики, издаваемые мартышками в ответ на появление трех разных хищников: леопардов, орлов и змей. Сигналы, издаваемые при появлении леопарда, заставляли верветок взбираться на тонкие ветки деревьев, тревога по поводу орла — вглядываться в небо и спастись в кустах, а при звуках, означающих появление змеи, обезьяны становились на задние лапы и вглядываются в траву. Струзейкер предположил, что обезьяны используют различные знаки для обозначения разных предметов или разных видов опасности.

Существовали, однако, и скептические интерпретации: тревожные крики могут служить просто сигналами общей готовности, заставляющими животных оглядываться, и если они видят хищника, они реагируют на увиденное, а не на услышанное. Возможно и то, что крики обезьян — это не «символы», обозначающие разных хищников, а выражение относительной интенсивности испуга, вызываемого леопардами, орлами и змеями. В этом случае аналогия между криками верветок и человеческими словами оказалась бы еще более отдаленной. Эти гипотезы были проверены американскими экспериментаторами Чини и Сифартом [Cheney, Seyfarth 1990; 1997; Seyfarth, Cheney 1980]. Был использован метод, впоследствии пригодившийся многим исследователям акустической коммуникации животных: сигналы записывались и затем предъявлялись животным не только в естественном, но и в преобразованном виде. Сначала обезьянам просто транслировали различные записанные на магнитофон сигналы — естественно, в отсутствие хищников, так что животные реагировали только на услышанное, но никак не на увиденное. На следующем этапе

экспериментов проверяли, связан ли каждый сигнал с определенным значением, или он отражает только эмоциональное состояние животного, например, степень испуга или возбуждения. Для этого записи изменяли, делая их длиннее или короче, громче или тише, но оставляя неизменной их структурную, «значимую» составляющую. Реакция мартышек-слушателей не зависела от изменений, внесенных экспериментаторами. Результаты говорили о том, что крики тревоги функционируют именно как семантические сигналы.

Являются ли акустические сигналы обезьян выученными или врожденными? В принципе, эксперименты с перекрестным воспитанием разных видов приматов показывают высокую степень наследуемости вокального репертуара у исследованных видов. Детеныши, воспитанные приемными матерями других видов приматов, подрастая, издавали видоспецифические сигналы, несмотря на то, что они вырастали в чуждом им акустическом окружении. Это было продемонстрировано для шимпанзе, воспитанных с рождения людьми [Фирсов 1983; 1993], японских макак и макак-резусов [Owren et al. 1993], беличьих обезьян-саймири [Newman, Simmes 1982]. Однако, несмотря на наследственную основу самих акустических сигналов, семантической коммуникации верветок присуща и некоторая гибкость. В экспериментах выяснилось, что животные от рождения обладают некими акустическими «болванками», которые потом совершенствуются в процессе подражания взрослым. «Крик орла», о котором речь шла выше, — это уже уточненный сигнал. Сначала детеныши издают несколько другой крик, соответствующий некой опасности в небе. Такой крик юные мартышки издают при виде любых крупных птиц, парящих над головой, в том числе, и вполне безопасных. В процессе развития меняются как реакции детенышей (они начинают реагировать только на хищных опасных птиц), так и сам характер вокализации [Hauser 2000].

Впоследствии оказалось, что сигналы, обозначающие разные опасные ситуации, есть у разных видов животных. Это помогли выяснить эксперименты с использованием моделей, изображающих разных хищников. Особенно красноречивы сигналы опасности и соответствующее поведение сурикат (пустынных мангуст). Среди издаваемых ими звуков выделены сигналы, соответствующие опасности со стороны наземных млекопитающих (шакалы, кошачьи), опасности, исходящей от змей и со стороны хищных птиц, нападающих с воздуха [Manser, Bell 2004]. Как и у верветок, детеныши, обладая врожденной основой вокализации, совершенствуют и сами звуки, и адекватные реакции на опасность, обучаясь у взрослых [Hollén, Manser 2006]. Семантические сигналы обнаружили даже у столь скромных созданий как домашние куры: у них есть «обозначение» двух типов хищников (наземного и воздушного) и сигнал привлечения к пище. «Пищевой» сигнал, который издают петухи, видоизменяется



Рис. 2. Детеныши сурикат совершенствуют систему сигнализации с возрастом. Фотография предоставлена А. Сивардом (© Adam Seward: Earth in Focus).

в зависимости от качества и количества пищи, а также от численности куриной аудитории [Evans C., Evans D. 1999].

Хотя значения некоторых «слов» в коммуникации животных удалось расшифровать, большинство авторов не спешат приписать наличие естественной языковой системы даже таким высоко социальным животным как приматы и дельфины. Не случайно одну из своих лекций Чини и Сифард назвали «Почему у животных нет языка?» [Cheney, Seyfarth 1997]. Исследователи обращают внимание на то, что хотя в системе коммуникации некоторых видов есть отдельные сигналы для обозначения определенных предметов и явлений (хищники, еда, опасность и т. п.), но никто не наблюдал ни появления новых обозначений, ни комбинации известных сигналов в какое-либо новое сочетание. Набор сигналов, которые удалось выявить в многочисленных наблюдениях и экспериментах, весьма ограничен. Не обнаружено, скажем, сигналов, обозначающих родственную принадлежность («мать», «детеныш») или сигналов, которые обозначали бы иерархическое положение особи в группе.

Следует отметить, что, помимо ранее известных сигналов, связанных с обозначением опасности или пищи, недавно обнаружили еще один класс акустических сигналов у животных. Выяснилось, что в группировках бутылконосых дельфинов каждая особь с детства формирует особый сигнал для обозначения своего «имени», и при коммуникации в естественной среде дельфины постоянно «окликают» друг друга. Такие оклики составляют около половины всех производимых в сообществе сигналов [Cook et al. 2004].

Однако в целом, если вспомнить миф о кольце царя Соломона, позволяющего ему понимать язык птиц и зверей — миф, который дал название книге известного этолога К. Лоренца [1970], — то нужно признать, что исследователи,

занимающиеся прямой расшифровкой языка животных, нащупали пока лишь узкий сектор такого кольца, остальное же скрыто в тумане. Остается неясным, действительно ли набор семантических «ярлыков» в коммуникации животных столь ограничен, или дело в недостатках используемых методов. Как уже отмечалось выше, случаи, когда достаточно выразительным сигналам животных соответствуют контекстные ситуации, повторяющиеся с достаточной частотой, весьма редки в природе.

Если ситуации можно смоделировать в эксперименте, заставляя животных решать определенную задачу, требующую непременно использования коммуникации, то сами сигналы либо не поддаются фиксации, либо крайне неудобны для классификации.

Потенциальные возможности языкового поведения животных выявляются в прямом диалоге с ними, который стал возможным с использованием специально разработанных языков-посредников.

Языки-посредники: возможность прямого диалога с животными

Предыстория языков-посредников для общения с приматами

Применение языков-посредников для диалога с животными — поистине революционное направление в этологии и психолингвистике — ведет начало с экспериментов Алена и Беатрис Гарднеров [Gardner B., Gardner R. 1969], обучивших шимпанзе американскому варианту жестового языка глухонемых (ASL — American Sign Language).

Эксперименты Гарднеров имеют интересную и долгую предысторию. Еще в XVII веке путешественник Самюэль Пепис сделал запись в своем путевом дневнике об обезьяне, называемой им бабуином, которая могла бы не только хорошо понимать английский язык, но и научиться изъясняться жестами. Идея научить шимпанзе изъясняться с помощью языка глухонемых людей была подана в начале 1920-х годов Р. Йерксом, основателем Приматологического центра в США. В 1930-е годы Дж. Вольф вступил с шимпанзе в некое подобие диалога с помощью пластиковых жетонов [Wolf 1936]. По мнению Вольфа, жетоны могли служить для обезьян подобием символов. Опыты проводились с шестью шимпанзе. Первоначально животные были приучены получать за решение задач награду: жетоны, которые можно было, опустив в автомат, обменять на корм и воду. В ходе дальнейших опытов обезьян научали различать «покупательную ценность» жетонов: например, синий жетон влек за собой появление в миске двух плодов, белый давал только один плод. За черный жетон можно было получить пищу, за желтый — воду. В следующих опытах синий жетон давал право возвращаться в жилую клетку, желтый — играть с воспита-

телем. Если в клетке появлялась, например, крыса, которой шимпанзе боялись, они бросали все занятия, хватали синий жетон, опускали его в отверстие автомата и взбирались на экспериментатора, чтобы он взял их домой. В начале 1960-х годов «жетонный язык» был успешно использован в работах А. И. Счастливого и Л. А. Фирсова [1961]. В обмен на жетоны шимпанзе могли получить пищу, воду или игрушки. В 1950 г. была опубликована работа Л. И. Улановой [1950], в которой она описала результаты своих попыток научить макаку подавать условные знаки, сигнализирующие о желании получить разные виды пищи и питья: орех, яблоко, хлеб, землянику, редис, молоко, кофе, чай. Обезьяну приучили складывать пальцы рук определенным образом. Формируя каждый тип знака, обезьяну сначала тренировали протягивать руки к экспериментатору при виде протягиваемой пищи, но брать пищу позволялось лишь после определенного складывания рук. На формирование каждого знака приходилось от 152 до 576 повторений. Лучше всего удалось сформировать знаки, соответствующие просьбам дать хлеб и яблоко.

«Говорящие» антропоиды и их достижения

Первая ученица Гарднеров, шимпанзе Уошо, появилась у них в 1966 г. (в возрасте одного года). В течение четырех лет она освоила 132 жестовых знака и самостоятельно научилась их комбинировать в цепочки из 2—5 слов. Первые такие комбинации касались самых жизненно важных для обезьяны вещей: «Дай сладкий» и «Подойди открой». Позднее Гарднеры передали Уошо Р. Фаутсу для работы в Приматологическом институте в Оклахоме, а их следующий проект был связан с другой работой, в которой четыре шимпанзенка росли в лаборатории и общались с людьми, хорошо владевшими языком жестов. В этих условиях обезьяны обучались гораздо быстрее. Успех «проекта Уошо» вызвал большой интерес исследователей и многие из них стали дома и в лаборатории обучать молодых шимпанзе языку ASL. Так, шимпанзе Люси 10 лет прожила в семье психоаналитика Мориса Темерлина. Свои первые уроки она начала получать у Фаутса, когда ей было 4 года [Temerlin 1975]. В то время Фаутс разъезжал по окрестностям штата Оклахома и частным образом обучал несколько шимпанзе, воспитывавшихся в семьях ученых. Воспитывая одну из них, Элли, он обнаружил способность шимпанзе «переводить» названия предметов с английского на ASL и доказал это в ряде специальных опытов. В настоящее время Уошо, ее приемный сын Лулис и еще три шимпанзе живут и работают под руководством Фаутса в Институте коммуникации шимпанзе и человека в Вашингтоне. Фаутс обобщил свои многолетние исследования в книге «Ближайший из родственников» (Next of Kin), с подзаголовком: «Уроки шимпанзе о том, кто мы такие» [Fouts, Mills 1997].

Дэвид и Энн Примэки приступили к работе с шимпанзе Сарой в тот же год, что и Гарднеры. Они разработали другой искусственный язык [Premack 1971]: с Сарой общались с помощью набора различных по цвету, размерам, форме, текстуре кусочков пластика. Их обратная сторона была металлической, так что они могли удерживаться на магнитной доске. Каждый кусочек выполнял функцию отдельного слова. С помощью этих пластиковых символов Саре задавали вопросы, а она отвечала на них, выбирая нужные кусочки пластика и размещая их на доске в определенном порядке сверху вниз (обезьяна сама выбрала такой способ строить предложения). Нужно отметить, что по своей форме эти жетоны никак не напоминали те вещи, которые они символизировали. Например, был знак «яблока» (синий треугольник) и знак «фрукт вообще». Использовались и знаки, обозначающие абстрактные понятия: «просьба», «условие» («если — то»), «отрицание», а также знак, обозначающий понятие «называется». Запись на доске часто походила на маленькую компьютерную программу. Сара могла выполнять команды и отвечать на вопросы, используя комбинации из нескольких символов.

Дуэйн Румбо и его коллеги по Йерковскому приматологическому центру разработали управляемую компьютером экспериментальную программу для изучения способностей к освоению языка у двухлетней шимпанзе Ланы [Rumbaugh 1977; Rumbaugh, Gill 1977]. Она обучилась пользоваться клавишами на панели. На каждой клавише (первоначально их было 25) имелась лексиграмма (знак) на йеркише (так называли язык, который осваивала Лана). Она сама научилась составлять «фразы» на дисплее и стирать те, в которых имелись ошибки. Если порядок слов в ее просьбе был правильным, то машина выдавала ей напитки, кусочки банана, музыку, фильмы. Однако машина оказалась бессильной, когда однажды ночью Лана попросила: «Машина пожалуйста пощекочи Лану точка». Лана адекватно употребляла слово «нет», когда хотела выразить протест, например, если кто-то в ее присутствии пил колу, а ей это было недоступно.

Герберт Террейс [Terrace 1984] в свое время скептически отнесся к «говорящим» Уошо, Саре и Лане. Он считал, что в данных опытах демонстрируются не более чем результаты блестящей дрессировки и сравнивал шимпанзе, использующих знаки, с дрессированными голубями, которые должны были клевать кнопки разных цветов в определенном порядке. Своего шимпанзе он назвал Ним Чимпски, в честь известного американского психолингвиста Ноама Хомски, также являющегося убежденным противником трактовки опытов с «говорящими шимпанзе» в плане использования ими полноценного языка (подробнее см. ниже). Ним обучался ASL, как и Уошо, но он учил знаки самопроизвольно, и только те, которые были для него жизненно важны. Так, он употреблял слова «Dirty» (грязь), когда ему нужно было воспользоваться туа-

летом, «Sleep» (спать), когда ему было скучно и хотелось сменить обстановку, «Bite» и «Angry» («кусать» и «сердитый»), когда он не мог направить свою агрессию непосредственно на воспитателя. Террейс отметил, что, в отличие от Уошо, Ним не комбинировал слова. Кроме того, он при общении со своими тренерами прерывал их значительно чаще, чем маленькие дети прерывают своих родителей. Террейс проанализировал 20 тысяч «высказываний» Нима, больше половины которых состояло из двух «слов». Из последовательностей, содержащих слово «more» (больше) в 78 % «more» было верно поставлено впереди (например, «more drink»). Однако с возрастом в высказываниях Нима число простых имитаций возрастало, тогда как у детей бывает как раз наоборот. Все же в итоге Террейс признал, что его скептицизм был не совсем обоснованным, а различия в результатах по сравнению, например, с Уошо, объяснялись «не совсем идеальными условиями», предоставленными Ниму. В особенности один случай с Нимом поколебал представления Террейса о знаковом поведении шимпанзе как об утилитарном. Во время автомобильной прогулки Ним заметил, как водитель стоящего неподалеку автобуса налил себе из термоса кофе и выпил его. В этот момент Ним сделал жест «пить». Вернувшись домой, экспериментатор предложил Ниму все имеющиеся виды жидкости, но обезьяна пить отказалась. Значит, своим сигналом на прогулке Ним не просил пить, а прокомментировал наблюдаемую ситуацию.

Дуэйн Румбо и Эмили Сью Сэвидж-Румбо позже проводили опыты с группой обезьян в Йерковском Приматологическом Центре. В первых опытах (сейчас колония антропоидов разрослась) участвовали 5 особей *Pan troglodytes* и 5 бонобо *Pan paniscus* [Savage-Rumbaugh 1986]. Они общались со своими воспитателями с помощью раскладной клавиатуры, с набором символов на йеркише, и это средство общения брали с собой на прогулки, укладывая в рюкзаки. Бонобо продемонстрировали настолько значительные успехи, что свою книгу о Кэнзи Сэвидж-Румбо и Левин назвали: «Кэнзи: обезьяна на грани человеческого сознания» [Savage-Rumbaugh, Lewin 1994]. Бонобо использовали до 400 знаков и обнаруживали незаурядные творческие способности. Самый способный из них — Кэнзи — мог употреблять символы «бескорыстно», без предварительного обучения, усваивая их из контекста общения, как это делают маленькие дети. Например, он нажимал лексигramму «мяч» и подталкивал руку человека к мячу или же сам брал мяч в руки и играл им. Нажав на лексигramму «одеяло», Кэнзи начинал играть в прятки, надевая одеяло на голову. Поедая яблоко или дыню, он подходил к клавиатуре и нажимал клавишу «яблоко» или «дыня». Подобно маленьким детям, он комментировал ситуацию и называл предметы, а не просил их у воспитателей.

Кроме шимпанзе, в проектах «говорящие обезьяны» участвуют и другие антропоиды. Орангутан Чантек использовал до 150 знаков ASL. Он, в частности,

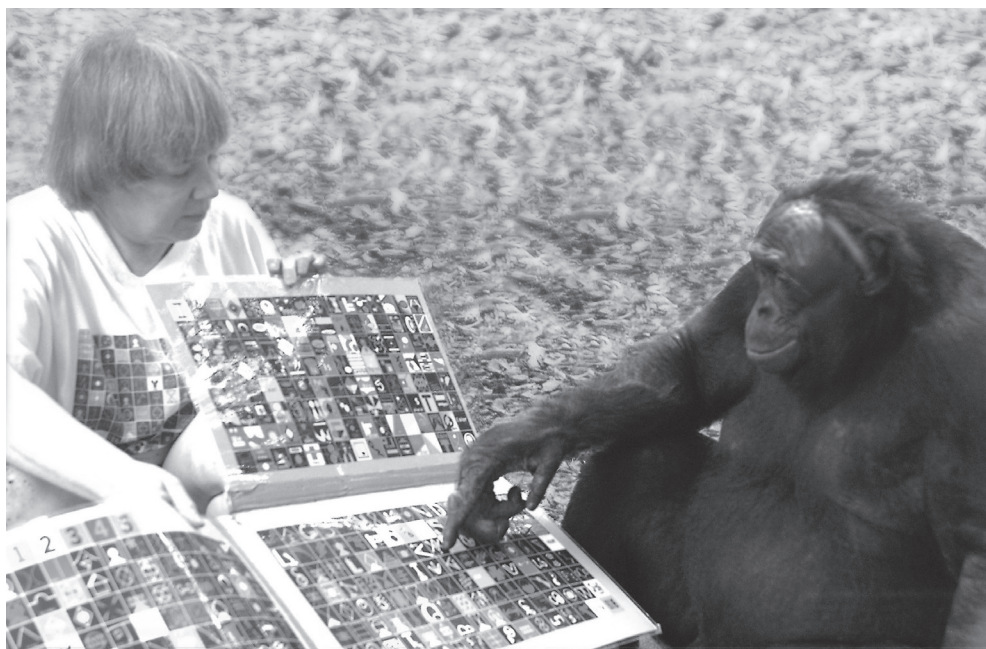


Рис. 3. Бонобо Кэнзи ведет диалог с Сэвидж-Румбо с помощью лексиграм. Фотография предоставлена Дуэйном Румбо. (© 2006 Great Ape Trust. Courtesy of Duane Rumbaugh).

адекватно употреблял слова «плохо» и «хорошо». В проекте «говорящие гориллы», который стартовал в 1976 г. на острове Мауи (штат Гавайи), принимали участие две обезьяны, Коко и Мишель. Гориллы росли вместе и были очень привязаны друг к другу. В 2000 г. Мишель внезапно умер от сердечного приступа. Он был вполне говорящей обезьяной и употреблял около 500 жестовых слов. В словаре Коко более 1000 «слов». Горилла использует жесты несколько замедленно, и вообще выглядит меланхолично, что усиливает эффект от употребляемых гориллой шуток и метафор. Например, длинную трубу она однажды назвала «слон», и затем пояснила: «хобот». Зебру Коко называла «белый тигр» [Patterson, Linden 1981].

Оценка «лингвистических возможностей» говорящих приматов

Результаты, достигнутые «говорящими обезьянами» с помощью различных методик, позволили очень много узнать о высших психических функциях животных (подробно в книгах [Резникова 2005; Зорина, Смирнова 2006; Reznikova 2007a]).

Оценки достигнутых результатов являются предметом острых дискуссий [Leiber 1995]. Некоторые исследователи считают, что обезьяны овладели пол-

ным аналогом человеческого языка. Так, по мнению Паттерсон, язык больше не является прерогативой человека [Patterson 1979]. В том же плане высказывался и Румбо: «ни использование орудий, ни язык больше не разделяют человека и животных» [Rumbaugh 1977]. Их противники придерживаются мнения, что животные просто научились эффективно выпрашивать пищу и иные жизненные блага, а сравнивать язык, который они используют при этом, с человеческим языком — все равно, что ставить на одну доску, скажем, китайский язык и сигналы светофора. Есть и «промежуточные» мнения, заключающиеся в том, что антропоиды овладели усеченным вариантом человеческого языка, лишённым многих его ключевых свойств [Aitchison 1976/1983].

На многие скептические возражения в последние годы нашлись ответы, основанные на дополнительных сериях экспериментов. Специальные опыты показали, что шимпанзе не просто обучаются манипулировать символами, подобно тому, как цирковые животные учатся тому, что им следует делать в ответ на сигналы дрессировщика, а понимают смысл знаков. Часть экспериментов была организована так, что сами экспериментаторы не знали ответа на вопрос, предлагаемый обезьяне: она должна была называть объекты, показываемые на слайде, делая соответствующий знак находящемуся рядом человеку, который не видел этого слайда. Второй экспериментатор видел жесты обезьяны, тогда как сама обезьяна его не видела, при этом экспериментатор не видел слайдов. В этой ситуации Уошо дала правильные ответы на 92 из 128 вопросов.

Исследователи пришли к выводу о том, что языковые символы, которые усваивают обезьяны, основаны на формировании внутренних представлений о соответствующих им предметах. Шимпанзе обучили названиям нескольких предметов так, как они звучат по-английски, то есть на слух. Затем обезьяны в отсутствие обозначаемых предметов усвоили знаки ASL, соответствующие этим словам. Когда им предъявили новые предметы, принадлежащие к соответствующим категориям, они правильно использовали знаки [Boysen et al. 1996; Fouts R., Fouts D. 1993].

В качестве одного из существенных отличий между процессами освоения языка молодыми обезьянами, по сравнению с детьми, указывалось на то, что обезьяна, в отличие от ребенка, не «спрашивает» как называется предмет, показывая на него воспитателю. В развитии языковых способностей животного отсутствует так называемый «лексический взрыв», характерный для ребенка в возрасте около 2-х лет. С. Э. Сэвидж-Румбо объясняет это не отсутствием у животных соответствующих способностей, а спецификой проведения большинства опытов, когда обезьяны изначально обучались так, чтобы получать вознаграждение. Действительно, трудно представить себе мать, которая бы вознаграждала своего ребенка конфеткой за верно произнесенное слово.

Правда, уже в ранних опытах иногда обезьяны называли предметы сами, спонтанно, как это делают маленькие дети, видя знакомый предмет или слыша знакомые звуки. Например, и Ним, и Уошо делали знак собаки, когда видели живую собаку или ее изображение или когда слышали собачий лай. Выше были приведены и другие примеры «бескорыстного называния» предметов. Впоследствии были использованы методики, благодаря которым шимпанзе научились использовать знаки для обозначения предметов в самых разнообразных ситуациях без команды экспериментатора, в том числе и общаясь друг с другом. Принципиальное значение имеет тот факт, что они применяли знаки в отношении отсутствующих предметов. Так, в ситуации двойного слепого эксперимента шимпанзе видели пять предметов для выбора. Затем в соседней комнате, уже не видя предметов, они осуществляли выбор предмета, нажимая на соответствующую клавишу компьютера, возвращались в первую комнату и брали названный ими предмет. Такие результаты говорят о способности антропоидов к истинному «наименованию» (naming) предметов — способности, которая основана на формировании внутренних представлений [Savage-Rumbaugh 1986; 2000].

Многие исследователи склоняются к тому, что знаковые системы, которыми овладели приматы, отвечают всем критериям таблицы Хоккета. Шимпанзе оказались в состоянии комбинировать слова для обозначения новых понятий, что в таблице Хоккета соответствует продуктивности. Например, Уошо начала, к удивлению своих воспитателей, комбинировать слова уже тогда, когда знала их всего 8—10. Она употребляла слова «candy drink» («конфета-питье») для обозначения арбуза, и «water bird» (вода-птица) для обозначения лебедя. Настойчивые просьбы Уошо дать ей «камень-ягоду» означали, как оказалось, американский орех. Когда другой обезьяне — Люси показывали разную пищу — овощи, фрукты и т. д., для большинства из них она знала категориальные жесты, такие как «овощ», «фрукт», «напиток». Когда ее просили назвать какие-либо продукты («что это?»), она образовывала иногда такие сочетания жестов, которые заставляли по-новому посмотреть на ее представления о вещах. Сельдерей она называла «пищей-трубкой», арбуз — «фруктом-напитком», редиску — «пищей — ай больно». Лана обозначала огурец «бананом, который зеленый», а апельсин — «яблоком, которое оранжевое».

Совсем недавно исследования, проведенные с орангутаном, открыли новую грань продуктивности жестового языка, используемого обезьянами [Cartmill, Byrne 2007].

Экспериментаторы намеренно «не понимали» высказывания орангутана, и продолжали настаивать на своем «непонимании» и после того, как он много раз повторял одни и те же высказывания на языке жестов. Тогда зверь изменил тактику и стал употреблять другие жесты — синонимы, тщательно

избегая теперь в своих высказываниях те «слова», которые «не доходят» до людей.

Обезьянам оказались доступны переносы значений знака, иногда довольно тонкие. Так, Уошо назвала служителя, долго не дававшего ей пить, «грязный Джек», и это слово явно было употреблено не в смысле «запачканный», а как ругательство; шимпанзе называли также бродячего кота «грязным котом», а гиббонов — «грязными обезьянами». Горилла Коко называла свою руководительницу «Пенни — сортирный грязный дьявол».

Из опытов с Сарой следует множество примеров произвольности символов, используемых обезьянами. Например, Саре показывают яблоко и просят обозначить его одним из доступных ей пластиковых значков и выбрать из них значки, соответствующие двум альтернативам: красное или зеленое, круглое или квадратное. Ни один из значков не имел ничего общего ни с квадратной формой, ни с красным цветом. Яблоко в ряду лексиграмм обозначалось синим треугольником.

Обезьяны оказались не только способными к образованию сложных ассоциативных цепочек, но и овладели одним из ключевых свойств человеческих языков — перемещаемостью: способностью сообщать о событиях, не находящихся в поле зрения и не совпадающих по времени с моментом, когда ведется рассказ. Именно это свойство позволяет накапливать жизненный опыт. Одно из первых наблюдений в этом плане касается Люси: когда ее разлучили с любимой собакой, которую понадобилось лечить, она постоянно повторяла ее имя и что той больно. Коко, когда ей показывали картинку с изображением ванной комнаты, говорила: «Здесь я плачу». С Уошо были проведены специальные опыты. Чтобы обучить ее знаку «нет», Гарднеры просигналили ей, что снаружи ходит большая собака, которая хочет ее съесть. Через некоторое время обезьяне предложили погулять, и она, всегда ранее с восторгом принимавшая такое предложение, на этот раз отказалась. Единственной причиной могло быть воспоминание о собаке, причем образ собаки приобрел дополнительный признак «быть снаружи». Он стал посредником между образами «прогуляться» и «собака».

Большая доля усилий Гарднеров, их коллег и последователей была направлена на выяснение грамматической организации предложений, продуцируемых шимпанзе.

Как отмечалось выше, свойство перемещаемости и грамматическая структура языка тесно связаны. В экспериментах выяснилось, что обезьяны неплохо освоились с грамматическим строем предложений. Так, Уошо, обращаясь к людям с просьбой выпустить ее из вольеры, обнять, пощекотать, в 90 % случаев ставила местоимение «ты» перед «я» («ты щекотать я»). Описывая картинки, предъявляемые в сходных тестах маленьким детям, обезьяны почти никог-

да не ошибались в порядке слов, обозначающих субъект и объект действия («кошка кусать собака» или «собака кусать кошка»).

Что касается культурной преемственности, то, пожалуй, самым эффективным результатом являются успехи, достигнутые приемным сыном Уошо — Лулисом. Шимпанзенок был усыновлен Уошо, когда ему было 10 месяцев. Ни один человек не учил Лулиса жестовому языку. Только благодаря наблюдению и подражанию, он выучил в течение 5 лет более 50 знаков. Исследователям трижды удалось непосредственно наблюдать за тем, как Уошо обучала знакам своего приемного сына.

Интересно отметить, что ошибки, которые совершала Уошо в процессе освоения жестового языка, давали исследователям даже больше интересного материала, чем ее правильные ответы. Например, когда Уошо спрашивали, указывая на гребень, как называется этот предмет, она жестом вполне могла изобразить щетку, но вряд ли когда-нибудь изобразила бы тарелку. Однако, жест, изображающий тарелку, мог ошибочно использоваться Уошо для обозначения вазы или даже чашки. Иными словами, Уошо могла успешно классифицировать предметы по категориям. Молодые шимпанзе, с которыми Гарднеры работали в своем втором исследовании, однозначно относили множество пород собак к категории «собака», различные виды цветов — к категории «цветок», разных насекомых — к единственной известной им категории «жук» и т. п. Автомобили (изображенные на фотографиях или игрушечные) шимпанзе чаще относили к одушевленным, чем к неодушевленным предметам. О высоко развитой способности к абстрагированию и генерализации говорят и такие примеры: Лана употребляла слово «это» для предметов, названия которых она не знала. Уошо и другие шимпанзе были способны обобщать употребление жестов, перенося их в новые ситуации: например, знак «открывать», выученный в применении к дверям — применительно к сосудам, холодильнику, водопроводному крану. Хотя далеко не все психологи, лингвисты и антропологи безоговорочно признали в лице Уошо примата, владеющего языком, сама обезьяна, нимало не сомневаясь, причисляла себя к людскому роду, а других шимпанзе называла «черными тварями».

Диалог, выходящий за рамки общения приматов

Исследователи, принадлежащие к виду *Homo sapiens*, вступили в прямой диалог не только со своими ближайшими родственниками — антропоидами, но и успешно применили этот метод для общения с другими животными.

Система жестов в качестве языка-посредника применялась для общения с дельфинами-афалинами [Herman 1986]. Дельфины прекрасно понимали обращенные к ним «фразы», в которых «словами» служили жестовые сигналы.

Каждый сигнал соответствовал отдельному предмету или действию с этим предметом. Экспериментатор демонстрировал животным жесты, стоя на краю бассейна. После того, как дельфины усвоили соответствие жестов, предметов и действий, они получали инструкции: например, нырнуть за кольцом, поднять его со дна бассейна и положить сверху на мяч. Порядок действий, совершаемых дельфинами, соответствовал порядку слов в обращенных к ним фразах. Анализ достигнутых результатов привел специалистов к выводу о том, что дельфины, подобно антропоидам, реагируют на синтаксические признаки предложений.

Способность оперировать лексиграммами, хотя, конечно, в гораздо более скромных пределах, чем у антропоидов и дельфинов, была недавно выявлена у собаки [Rossi, Ades 2007]. Собака по кличке София освоила несколько лексиграмм, соответствующих различным предметам (вода, еда, игрушка, клетка...) и действиям (гулять, ласкать...). На раскладной клавиатуре, похожей на ту, что употреблялась для общения с приматами, располагались ключи, маркированные лексиграммами. София нажимала их лапой, в зависимости от своей мотивации. Собака использовала ключи только в контексте общения с экспериментаторами. Нажимая соответствующий ключ, она всегда пристально смотрела на человека, что, по мнению авторов исследования, говорит о «намеренной» коммуникации с помощью лексиграмм.

И. Пепперберг исследовала способность представителей другого класса к усвоению и к употреблению несвойственных виду знаковых систем, используя в качестве языка-посредника человеческую речь [Pepperberg 1987]. Она работала с попугаями (серыми жако), первым из которых был Алекс, ставший, по крайней мере, в кругах этологов, такой же знаменитостью как шимпанзе Ушо. Пепперберг впервые удалось поставить эксперименты, с помощью которых можно судить об уровне «языкового мышления» у птицы. Разработанный ею метод отличается тем, что в процессе обучения участвуют одновременно два обучающих человека. Один (основной) обучающий обращается как к человеку (второму обучающему), так и к попугаю. Второй обучающий является, с одной стороны, учеником и моделью для ответов попугая, а с другой как бы его соперником. Этот метод автор назвала методом треугольника. В итоге серый жако Алекс знал английские названия более чем 80 предметов и названия категорий «цвет», «форма», «материал». Он правильно отвечал на многочисленные вопросы, касающиеся свойств предмета, такие как «какого цвета шестиугольная деревяшка?». В тесте при предъявлении пар предметов, сначала знакомых, а затем совершенно новых, попугай в 70—80 % случаев на вопрос «что одинаковое?» или «что разное?» правильно называл признак, по которому предметы были сходны или различны. Если предметы были полностью идентичны, то на вопрос «что различается?» попугай отвечал «Ничего». Подобно «говорящим»

антропоидам, попугай прогнозировал приятные или, напротив, нежелательные для себя события и выражал соответствующие желания, например, просил не оставлять его одного в темной комнате, сопровождая просьбу словами «не уходи... прости...».

В целом, использование языков-посредников, сконструированных на базе человеческих языков, говорит о значительных резервах коммуникативных возможностей животных. Однако речь идет об искусственных языках, придуманных исследователями специально для общения с животными. Тем более обидно, что об их естественных «языках» почти ничего неизвестно.

Теоретико-информационный подход к исследованию языка животных

В этом разделе речь пойдет о принципиально новом подходе к изучению коммуникации животных, основанном на идеях теории информации и разработанном автором совместно с известным специалистом по теории информации и криптографии Б. Я. Рябко [Рябко, Фионов 2004; Ryabko 1993; 1994; Ryabko, Fionov 2005; Ryabko, Reznikova 1996]. Первые экспериментальные данные были получены более 30 лет назад [Резникова, Рябко 1986], и эксперименты в этой области продолжают до сих пор [Новгородова 2006; Reznikova 2007b]. Полученные результаты широко публиковались в российских и зарубежных журналах, обсуждались на многочисленных конференциях [Резникова, Рябко 1988; 1990; 1995; 1997; 1999; Reznikova, Ryabko 1994; 2000; 2001; 2003] и подробно освещались в международной популярной печати [Michie 1998].

Теория информации, на идеях которой основан предложенный нами подход, первоначально развивалась как математическая теория связи [Шеннон 1963]. Но сразу же было ясно, что понятия энтропии и информации, сформулированные в этой теории, должны играть важную роль в изучении не только технических, но и других систем коммуникации. Мы считаем, что понятия теории информации могут применяться и при анализе систем коммуникации животных, причем позволяют не только оценить те или иные характеристики их сигнальной деятельности, но и могут служить основой опытов, позволяющих ответить на ключевой вопрос о наличии или отсутствии у них языка.

Суть теоретико-информационного подхода к изучению языка животных в том, что в экспериментах создается ситуация, в которой животные вынуждены передать друг другу заранее известное экспериментатору количество информации. При этом измеряется время, затраченное на передачу информации. Поскольку количество передаваемой информации задано в эксперименте, а время, затраченное животными на ее передачу известно, можно оценить ско-

рость передачи информации. В первом разделе данной статьи были перечислены ключевые свойства, необходимые для того, чтобы систему коммуникации можно было назвать языком. Многие исследователи сходятся на том, что важнейшее из этих свойств — продуктивность, то есть возможность составления большого (потенциально бесконечного) числа осмысленных текстов (фраз). Мы считаем, что язык должен обладать еще, по крайней мере, одним свойством: длина сообщения (а значит, и время, затрачиваемое на его передачу) должна быть пропорциональна количеству информации в нем. Поясним это требование. После введенного К. Шенноном в конце 1940-х годов понятия «количество информации» были исследованы многие естественные языки человека и обнаружено, что во всех этих языках длина сообщения пропорциональна количеству информации, в нем содержащейся [Яглом А., Яглом И. 1973]. Это очень естественное свойство, в частности, означает, что на двух страницах книги можно разместить в два раза больше сведений, чем на одной.

Что такое информация по Шеннону? Проведем опыт «орел или решка»: в нем возможны два равновероятных исхода — подброшенная монета падает вверх либо гербом, либо цифрой. Неопределенность этого опыта равна 1 биту (бит — единица измерения информации). Если кто-нибудь сообщит нам результат такого опыта, он передаст 1 бит информации. Вообще, если опыт имеет n равновероятных исходов, и нам сообщают его результат, то мы получаем $\log_2(n)$ битов информации. Например, мы знаем, что наш знакомый живет в доме, у которого 2 подъезда, 2 этажа и 2 квартиры на каждой лестничной площадке, но не знаем номера нужной квартиры. Очевидно, что в этом доме 8 квартир, и вероятность найти знакомого в любой из них равна $1/8$. Если кто-нибудь сообщит нам номер этой квартиры, то в соответствии с приведенной формулой он передаст нам $\log_2(8) = 3$ бита информации. В этом случае легко понять происхождение каждого из трех битов: первый — сообщение о подъезде, второй — об этаже, третий — об одной из двух квартир на лестничной площадке.

На рассмотренном понятии информации основана современная теория и практика построения систем связи (основополагающая работа Шеннона так и называлась «Математическая теория связи»). В дальнейшем оказалось, что эта же величина играет фундаментальную роль в психологии, лингвистике и других областях.

Исходя из этих представлений, система коммуникации животных исследовалась нами как средство передачи информации, то есть конкретной, количественно измеримой величины. Объектом исследования служили муравьи разных видов, которые изучались в сравнительном аспекте. Основная часть опытов проводилась с рыжими лесными муравьями (группа видов *Formica rufa*). Выше упоминалось, что муравьи, принадлежащие к этой группе видов, постоянно сталкиваются в своей жизни с задачей поиска колоний тлей в кронах де-

ревьев и вынуждены передавать друг другу сведения о новых найденных колониях [Резникова, Новгородова 1998; Резникова 2007в].

В наших «языковых» экспериментах муравьи могли получить пищу лишь в том случае, если они передавали друг другу информацию о последовательности поворотов, ведущих к кормушке с пищей. Для этого муравьям предлагали пищу в специальном лабиринте, названном нами «бинарным деревом». В простейшем случае дерево состояло из одной развилки, а на концах двух «листьев» находились кормушки: одна пустая, другая — с сиропом. Чтобы найти ее, муравьи должны сообщить друг другу сведения «иди налево» или «иди направо», т. е. 1 бит информации. Максимальное число развилок бинарного дерева в опытах доходило до 6. Только на одном из листьев находилась кормушка с сиропом, остальные были пустыми. В таких опытах муравьи могли быстро отыскать корм, если получали сведения о последовательности поворотов типа «ЛПЛППЛ» (лево, право, ... и т. д.). При 4 развилках в лабиринте им необходимо было передать 4 бита информации, при пяти — 5, и так далее. В разных опытах использовались лабиринты с разным количеством развилок. При использовании лабиринтов с одинаковым количеством развилок, в разных сеансах приманка помещалась на различные конечные «листья» бинарного дерева. Последовательность поворотов определялась случайным образом, с помощью подбрасывания монеты («орел» — направо, «решка» — налево).

В экспериментах муравьев метили индивидуальными цветными метками и наблюдали за ними в прозрачных лабораторных гнездах. В разные годы ис-

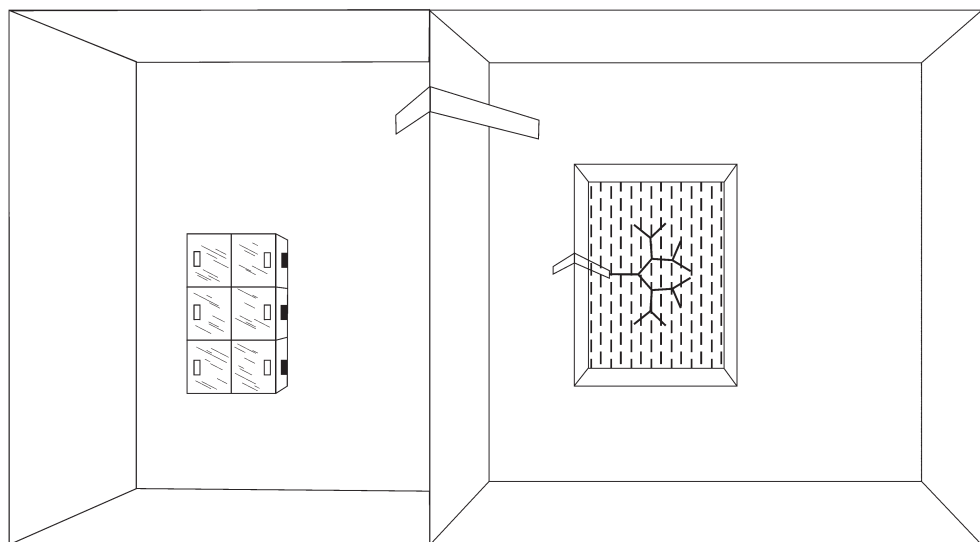


Рис. 4. Схема эксперимента с бинарным деревом.

пользовались разные лабораторные семьи муравьев, каждая из которых содержала около 2 тыс. особей. Каждая семья располагалась на лабораторной арене, разделенной на две части: в меньшей, жилой части, помещалось гнездо, а в большей — лабиринт, в котором муравьи получали пищу. Сюда муравьи могли попасть по съемному мостику. Для того, чтобы муравьи не могли попасть на кормушку «напрямую», лабиринт помещался в кювету с водой.

Оказалось, что при решении сложных поисковых задач в семье рыжих лесных муравьев выделяются постоянные по составу рабочие группы, состоящие из одного разведчика и 3—8 фуражиров. Каждый разведчик, найдя пищу, вступает в контакт только со своей группой. Всего в наших многолетних экспериментах с бинарным деревом участвовали 335 успешных разведчиков и их групп. Слово «успешный» здесь неслучайно. Дело в том, что не все разведчики могли запомнить путь к кормушке, более того, число таких разведчиков уменьшалось в зависимости от сложности задачи: например, в случае двух развилок работали 5—6 разведчиков (и их групп) в течение сеанса, а в случаях пяти и шести развилок — обычно не более двух.

В каждом опыте, когда разведчик возвращался к гнезду после удачного похода за сиропом, мы измеряли длительность его контактов с фуражирами, соответствующую времени передачи информации (подробнее об этих опытах можно прочесть в публикациях, процитированных выше). Во время контакта разведчика с его группой фуражиров лабиринт заменяли тождественным, но «свежим», лишенным каких бы то ни было следов. Даже сироп уже не было — все кормушки содержали воду. Таким образом, исключалось использование пахучего следа, который мог бы оставить муравей в лабиринте, а также и самого запаха сиропы. При этом фуражиры, пообщавшись с разведчиком, были вынуждены действовать самостоятельно: разведчика изымали пинцетом и временно отсаживали (видеофрагменты опытов доступны на сайте: <http://www.reznikova.net/infotransf.html>). В течение каждого сеанса к лабиринту допускали только одну группу фуражиров, после их контакта с успешным разведчиком. Остальных муравьев временно «отстраняли» от участия в опыте, убирая мостик и таким образом не пропуская их на рабочую часть арены. Мы считали безошибочным нахождением цели те случаи, когда группа двигалась целенаправленно к нужной ветке, и отставших муравьев было не более одного. Как только муравьи приходили на нужную ветку, им сразу же ставили туда кормушку с сиропом.

В контрольных опытах мы поочередно пропускали в лабиринт с четырьмя развилками муравьев, которые принимали участие в прежних сеансах, но в данный момент не были знакомы с местоположением кормушки. В этих опытах кормушка с сиропом присутствовала в лабиринте, и каждому муравью давалось на поиски 20 минут (в 10 раз больше времени, чем тратила «информи-

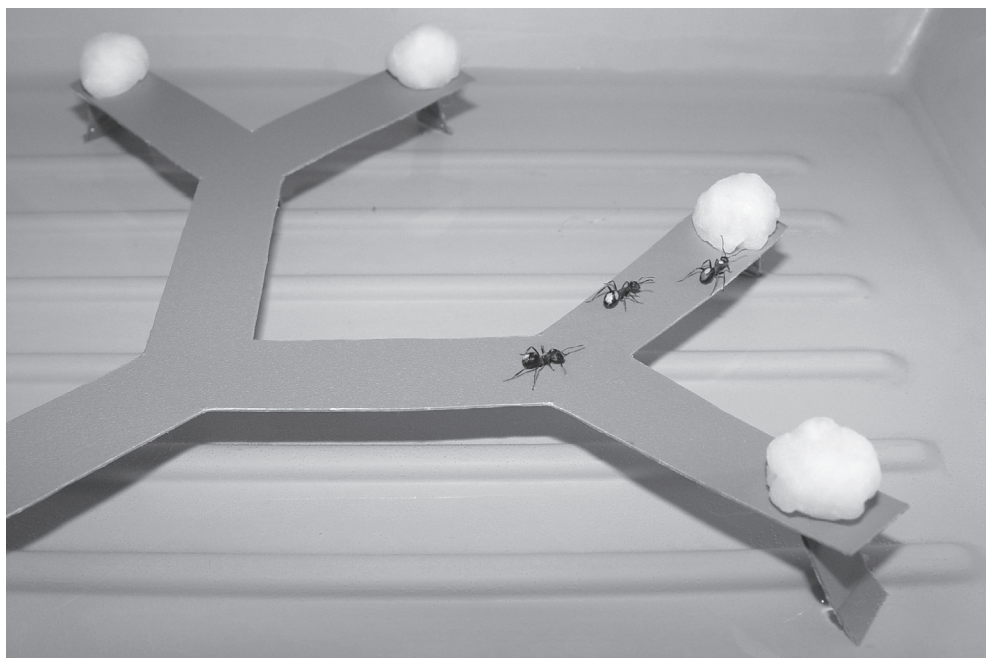


Рис. 5. Группа муравьев на бинарном дереве. Фото И. Яковлева.

рованная» группа на достижение цели). Такие «неинформированные» муравьи не находили кормушку и, как правило, не используя отведенное им время, возвращались в гнездо. В то же время у группы «информированных» фуражиров уходило не более двух минут на достижение цели. Это позволяет нам исключить действие каких-либо иных способов ориентации, кроме использования сведений, сообщенных разведчиком.

Как мы уже знаем, в опытах с бинарным деревом количество информации (в битах), необходимое для выбора правильного пути в лабиринте, равно числу развилок. Мы предположили, что время контакта разведчика с группой фуражиров (t) должно быть равно $ai + b$, где i — число развилок, a — коэффициент пропорциональности, равный скорости передачи информации (бит в минуту), а b — постоянная. Ее мы вводим потому, что муравьи могут передавать информацию, не имеющую прямого отношения к поставленной задаче, например, сигнализировать «есть пища». По полученным данным оценивались параметры уравнения линейной регрессии a и b и вычислялся выборочный коэффициент корреляции r . Оказалось, что для трех из исследованных видов зависимость между временем контакта разведчика и фуражиров и количеством передаваемой информации (числом развилок i) близка к линейной, о чем свидетельствовало большое значение выборочных коэффициентов корреляции. Это

подтвердило нашу гипотезу [Резникова, Рябко 1986]. У вида *F. sanguinea* скорость передачи информации, то есть величина a в уравнении $t = ai + b$, равна 0.738 бит/мин., у *F. polystena* — 1.094, у *Camponotus saxatilis* — 1.189 бит/мин. Мы не считаем эти значения видовыми константами, вероятно, они могут варьировать. Заметим, что эти величины примерно в 10 раз ниже, чем у человека: около 1 бита в минуту. Однако и это немало, а возможности коммуникативной системы насекомых оказались, как мы сейчас увидим, поистине впечатляющими.

Для того, чтобы оценить потенциальную продуктивность муравьиного языка, выявленную с помощью бинарного дерева, подсчитаем минимальное количество сообщений, необходимое насекомым при работе с лабиринтами. Бинарное дерево с двумя развилками содержит 2^2 возможных пути, с тремя — 2^3 , а с шестью — 2^6 путей; следовательно, общее число возможных путей к цели равно $2 + 2^2 + 2^3 + \dots + 2^6 = 126$. Это минимальное количество сообщений, которые должны быть способны передавать разведчики, для того, чтобы достичь кормушки, помещенной на любой лист бинарного дерева с шестью развилками.

Лабиринт «бинарное дерево» позволил нам исследовать еще одну из важнейших характеристик языка и интеллекта его носителей, а именно, способность быстро подмечать закономерности и использовать их для кодирования, «сжатия», информации. Тогда размер сообщения о некотором объекте или явлении должен быть тем меньше, чем они «проще», т. е. чем легче в них обнаружить закономерности. Например, человеку легче запомнить и передать последовательность поворотов на пути к цели «ЛП-ЛП-ЛП-ЛП-ЛП-ЛП» (налево—направо, и так 7 раз), чем более короткую, но неупорядоченную последовательность «ЛЛЛЛЛЛЛЛ». Опыты с бинарным деревом показали, что «язык» муравьев и их интеллект позволяют им использовать простые закономерности «текста» для его сжатия (здесь «текст» — последовательность поворотов на пути к кормушке). Так, муравьи затрачивали вдвое меньше времени на передачу сообщения ЛЛЛЛЛ («пять раз налево»), чем на передачу сведений о случайной последовательности той же длины (например, ЛПЛЛЛП). Здесь, пожалуй, уместно вернуться к человеку и вспомнить, что нейрофизиологи считают одной из основных функций речи так называемое когнитивное сжатие — то, что помогает расчлнять окружающий мир, сводить с помощью языка множество понятий в одном символе. Конечно, здесь это не более, чем аналогия. Примечательно, что муравьи начинают «сжимать» информацию только при достаточно больших «текстах», то есть, начиная с 4—5 развилки. Время, затраченное разведчиком на передачу информации о «закономерных» последовательностях поворотов было значительно меньше затраченного на передачу «случайного» текста (таблицы см. [Резникова, Рябко 1988; 1990]). В общем

случае время передачи сведений росло по мере усложнения текста, то есть увеличения случайностей в последовательностях поворотов к кормушке.

Выявленная нами в муравьином языке закономерность связана с понятиями Колмогоровской сложности. Дело в том, что кроме определения количества информации, данного Шенноном и основанного на теоретико-вероятностном подходе, есть алгоритмическое определение информации и сложности, принадлежащее А. Н. Колмогорову (1965). Это определение относится к словам (текстам), составленным из букв некоторого алфавита, например, состоящего из двух букв: Л, П. Неформально, сложность (и неопределенность) слова равна длине его наименьшего описания. Например, слово «ЛЛЛЛЛЛЛЛЛЛ» может быть описано как «8 Л», то есть довольно коротко. Сложность и неопределенность его невелика, это слово несет немного информации. В наших опытах оказалось, что муравьи передают друг другу сообщение тем дольше, чем оно несет больше информации «по Колмогорову».

Итак, выяснилось, что муравьи способны передавать друг другу довольно много различных сообщений, а время передачи сообщения пропорционально количеству информации в нем. Более того, оказалось, что эти насекомые способны подмечать закономерности и использовать их для «сжатия» информации. Видимо, такую развитую коммуникативную систему можно назвать языком, используя аналогию с символическим языком танца медоносных пчел. У муравьев возможности их коммуникативной системы, видимо, еще больше, чем у пчел.

Заметим, однако, что среди огромного числа видов муравьев подавляющее большинство не нуждается в развитом языке. Выше уже говорилось о том, что у многих видов в естественных условиях используется система одиночной фуражировки. Немногочисленные фуражиры ведут активный поиск добычи на кормовом участке, справляясь со всеми задачами в одиночку. Другая, довольно большая, группа видов использует пахучий след, с помощью которого немногочисленные разведчики, найдя пищу, мобилизуют массу пассивных фуражиров из гнезда. И лишь немногие муравьиные «приматы» достигли высшего уровня социальной организации и максимально возможного для этой группы биологического прогресса. В наших опытах только представители этих видов продемонстрировали «языковые» способности. Муравьи других видов (в частности, муравьи рода *Myrmica*) старались привлекать фуражиров с помощью пахучего следа, а когда по условиям опыта это оказывалось невозможно, переходили к одиночной фуражировке.

Теоретико-информационный подход к исследованию языка животных может быть применен не только к муравьям, но и к другим общественным животным — дельфинам, обезьянам, термитам. При этом, разумеется, техника экспериментов должна быть изменена с учетом биологических особенностей объектов исследования.

Заключение

Итак, характеризуя три основных методологических подхода к изучению языкового поведения животных и достигнутые с их помощью результаты, можно с уверенностью сказать, что в последней четверти XX века произошла настоящая революция в научном направлении, связанном с изучением языкового поведения и интеллектуальных возможностей животных. Оказалось, что многие виды животных с высоким уровнем социальной организации обладают развитой коммуникативной системой, совпадающей по многим характеристикам с языками человека. Однако, несмотря на методологический прорыв в данной области, пока вопросов остается едва ли не больше, чем ответов. Каждый из перечисленных подходов имеет существенные ограничения, и, пытаясь мысленно объединить одни лишь достоинства, мы неизбежно попадаем в положение Агафьи Тихоновны, героини гоголевской пьесы «Женитьба», мечтающей об интегральном образе жениха, который бы соединял самые приятные черты, позаимствованные у всех претендентов сразу.

В самом деле, метод прямой расшифровки сигналов хорош тем, что раскрывает возможности естественной коммуникации. Однако он дает внятные результаты лишь в тех — весьма редких в мире животных — случаях, когда часто повторяющиеся и явно различимые сигналы соответствуют четко очерченным и легко наблюдаемым ситуациям. Разработка языков-посредников дает возможность прямого диалога с некоторыми видами животных. Это открывает фантастическую перспективу оценки их «лингвистических» способностей и тесно связанных с ними когнитивных возможностей. Однако доступ к естественным сигналам остается закрытым, и, кроме того, промежуточные языки могут быть использованы для весьма ограниченного круга видов. Так, общение с муравьями при помощи языка-посредника, вероятно, невозможно. Наконец, теоретико-информационный подход открывает возможность оценки языковых и когнитивных возможностей животных по характеру задач, решаемых ими с помощью их естественной коммуникативной системы. Применяя этот подход, мы отказываемся исследовать природу сигналов и концентрируемся на характеристиках системы коммуникации, полученных в ситуации, когда экспериментатор вынуждает животных передать друг другу заданное количество информации. Адаптация этого метода к разным видам может позволить хотя бы частично решить «задачу Агафьи Тихоновны», то есть объединить достоинства первого метода (исследование естественных видоспецифичных сигналов) и второго (оценка потенциальных возможностей коммуникативных систем).

Для плодотворных исследований в области изучения языка животных необходим, прежде всего, продуктивный диалог между экспериментаторами, ис-

пользующимися принципиально различными подходами. Будем надеяться, что для этого не понадобится разработка специфических языков-посредников.

Благодарности

Работа поддержана грантами РФФИ (08-04-00489) и Президиума РАН по программе «Происхождение и эволюция биосферы».

Литература

Дерягина и др. 1989 — М. А. Дерягина, М. Л. Бутовская, А. Г. Семенов. Эволюционные перестройки систем коммуникации в филогенезе приматов и гоминид (в связи с проблемой происхождения речи). Биологические предпосылки антропосоциогенеза. Т. 1. М., 1989. С. 98—129.

Длусский 1981 — Г. М. Длусский. Принципы коммуникации у муравьев: Чтения памяти Н. А. Холодковского. Л.: Наука, 1981. С. 3—33.

Захаров 1991 — А. А. Захаров. Организация сообществ у муравьев. М.: Наука, 1991.

Зорина, Смирнова 2006 — З. А. Зорина, А. А. Смирнова. О чем рассказали «говорящие» обезьяны. Способны ли высшие животные оперировать символами? М.: Языки славянских культур, 2006.

Левченко 1976 — И. А. Левченко. Передача информации о координатах источника корма у пчелы медоносной. Киев: Наукова думка, 1976.

Лопатина 1971 — Н. Г. Лопатина. Сигнальная деятельность в семье медоносной пчелы (*Apis mellifera*). Л.: Наука, 1971.

Лоренц 1970 — К. Лоренц. Кольцо царя Соломона. М.: Знание, 1970.

Мак-Фарленд 1988 — Д. Мак-Фарленд. Поведение животных. Психобиология, этология и эволюция. М.: Мир, 1988.

Мариковский 1958 — П. И. Мариковский. К вопросу о сигнализации у муравьев // Энтомологический обзор. Т. 37. 1958. № 3. С. 557—562.

Марков 1993 — В. И. Марков. Продуктивность коммуникативной системы дельфина афалины: к проблеме внечеловеческих языковых систем // Язык в океане языков. Новосибирск: Сибирский хронограф, 1993. С. 86—147.

Меннинг 1982 — О. Меннинг. Поведение животных. М.: Мир, 1982.

Никольский, Фроммольт 1989 — А. А. Никольский, К. Х. Фроммольт. Звуковая активность волка. М.: Изд-во МГУ, 1989.

Новгородова 2006 — Т. А. Новгородова. Экспериментальное исследование передачи информации у лугового муравья (*Formica pratensis*, Hymenoptera, Formicidae) с помощью лабиринта «Бинарное дерево» // Зоологический журнал. 2006. № 4. С. 493—499.

Резникова 1979 — Ж. И. Резникова. Пространственная ориентация и способность муравьев улавливать логическую структуру задачи // Этология насекомых и клещей. Томск, 1979. С. 18—24.

Резникова 1983 — Ж. И. Резникова. Межвидовые отношения у муравьев. Новосибирск: Наука, 1983.

Резникова 2004 — Ж. И. Резникова. Сравнительный анализ различных форм социального обучения у животных // Журн. общ. биол. Т. 65. 2004. № 2. С. 136—152.

Резникова 2005 — Ж. И. Резникова. Интеллект и язык животных и человека: введение в когнитивную этологию. Учебн. пос. для вузов (Гриф Минобразования РФ). М.: ИКЦ Академкнига, 2005.

Резникова 2006 — Ж. И. Резникова. Исследование орудийной деятельности как орудие интегральной оценки интеллекта животных // Журн. общ. биол. Т. 67. 2006. № 1. С. 3—22.

Резникова 2007а — Ж. И. Резникова. Эволюционные и этологические аспекты общественного образа жизни у животных // Информац. Вестник ВОГиС. 11. 2007. № 2. С. 290—307.

Резникова 2007б — Ж. И. Резникова. Различные формы обучения у муравьев: открытия и перспективы // Успехи современной биологии. 127. 2007. № 2. С. 166—174.

Резникова 2007в — Ж. И. Резникова. Маленькие труженики большой науки // Природа. 2007. № 12. С. 25—34.

Резникова, Новгородова 1998 — Ж. И. Резникова, Т. А. Новгорова. Индивидуальное распределение ролей и обмен информацией в рабочих группах муравьев // Успехи современной биологии. 1998. Т. 118. Вып. 3. С. 345—356.

Резникова, Рябко 1986 — Ж. И. Резникова, Б. Я. Рябко. Анализ языка муравьев методами теории информации // Проблемы передачи информации. XXII. 1986. № 3. С. 103—108.

Резникова, Рябко 1988 — Ж. И. Резникова, Б. Я. Рябко. Язык муравьев и теория информации // Природа. 1988. № 6. С. 65—70.

Резникова, Рябко 1990 — Ж. И. Резникова, Б. Я. Рябко. Теоретико-информационный анализ «языка» муравьев // Журнал общей биологии. Т. 51. 1990. № 5. С. 601—609.

Резникова, Рябко 1995 — Ж. И. Резникова, Б. Я. Рябко. Передача информации о количественных характеристиках объекта у муравьев // Журн. высшей нервной деятельности. Т. 45. 1995. № 3. С. 500—509.

Резникова, Рябко 1997 — Ж. И. Резникова, Б. Я. Рябко. Арифметические способности муравьев // Наука в России. №4. 1997. С. 31—34.

Резникова, Рябко 1999 — Ж. И. Резникова, Б. Я. Рябко. Экспериментальные исследования способности муравьев к сложению и вычитанию небольших чисел // Журн. высшей нервной деятельности. Т. 49. 1999. № 1. С. 12—21.

Рябко, Фионов 2004 — Б. Я. Рябко, А. В. Фионов. Основы современной криптографии для специалистов в информационных технологиях. М.: Научный мир, 2004.

Счастный, Фирсов 1961 — А. И. Счастный, Л. А. Фирсов. Физиологический анализ средств взаимодействия обезьян в групповом опыте // ДАН СССР. Т. 141. 1961. № 5. С. 1264—1266.

Уланова 1950 — Л. И. Уланова. Формирование у обезьян условных знаков, выражающих потребность в пище // Исследование высшей нервной деятельности в естественном эксперименте / Под ред. В. П. Протопопова. Киев: Госмедиздат УССР.

Фирсов 1983 — Л. А. Фирсов. Довербальный язык обезьян // Журн. эвол. биохим. и физиол. Т. 19. 1983. Вып. 4. С. 381—389.

Фирсов 1993 — Л. А. Фирсов. По следам Маугли? // Язык в океане языков. Новосибирск: Сибирский хронограф, 1993. С. 44—59.

Фриш 1980 — К. Фриш. Из жизни пчел. М.: Мир, 1980.

Шеннон 1963 — К. Шеннон. Математическая теория связи. Работы по теории информации и кибернетике. М.: ИЛ, 1963. С. 243—333.

Черниговская 2007 — Т. В. Черниговская. Язык, мозг и компьютерная метафора // Человек. 2007. № 2. С. 63—75.

Яглом А., Яглом И. 1973 — А. М. Яглом, И. М. Яглом. Вероятность и информация. М.: Наука, 1973.

Abramson 2003 — C. I. Abramson. Charles Henry Turner: Contributions of a forgotten African American to Honey Bee research // American Bee Journal. 143. 2003. P. 643—644.

Aitchison 1976/1983 — J. Aitchison. The Articulate Mammal. An introduction to psycholinguistics. Hutchinson Publishing Group Ltd, 1983.

Boysen et al. 1996 — S. T. Boysen, G. G. Berntson, M. B. Hannan, J. T. Cacioppo. Quantity-based interference and symbolic representation in chimpanzees (*Pan troglodytes*) // Exp. Psychol.: Anim. Behav. Process. V. 22. 1996. № 1. P. 76—86.

Cartmill, Byrne 2007 — E. A. Cartmill, R. W. Byrne. Orangutans Modify Their Gestural Signaling According to Their Audience's Comprehension // Current Biology. 17. 2007. P. 1345—1348.

Cheney, Seyfarth 1990 — D. L. Cheney, R. M. Seyfarth. How monkeys see the world: Inside the Mind of Another Species University of Chicago Press. 1990.

Cheney, Seyfarth 1997 — D. L. Cheney, R. M. Seyfarth. Why Animals Don't Have Language. The Tanner Lectures on Human Values. Cambridge University, 1997. P. 1—37.

Chomsky 1972 — *N. Chomsky*. Language and mind. New York, 1972. P. 250.

Chomsky 1975 — *N. Chomsky*. The Logical structure of linguistic theory. University of Chicago Press, 1975.

Chomsky 1986 — *N. Chomsky*. Knowledge of Language. Its Nature, Origin and Use. New York: Praeger, 1986.

Cook et al. 2004 — *M. L. H. Cook, L. S. Sayigh, J. E. Blum, R. S. Wells*. Signature-whistle production in undisturbed free-ranging bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) // *Proc Biol Sci*. 2004. № 271. P. 1043—1049.

Dehaene-Lambertz, Dehaene 1994 — *G. Dehaene-Lambertz, S. Dehaene*. Speed and cerebral correlates of syllable discrimination in infants // *Nature*. Vol. 370. 1994. P. 292—295.

Esch 1964 — *H. Esch*. Beiträge zum Problem der Entfernungswesung in den Schwanzeltänzen der Hinigbiene // *Z. Vergl. Physiol*. V. 48. 1964. S. 534—546.

Evans C., Evans D. 1999 — *C. Evans, D. Evans*. Chicken food calls are functionally referential // *Animal Behaviour*. Vol. 58. 1999. P. 307—319.

Evans, Bastian 1969 — *W. E. Evans, J. Bastian*. Marine mammal communication: social and ecological factors // H. T. Andersen (ed.). *The Biology of Marine Mammals*. New York: Acad. Press., 1969.

Fouts, Mills 1997 — *R. S. Fouts, S. T. Mills*. Next of Kin: What Chimpanzees Have Taught Me About Who We Are. New York: William Morrow and Co, 1997.

Fouts R., Fouts D. 1993 — *R. S. Fouts, D. H. Fouts*. Chimpanzees' Use of Sign Language // P. Cavalieri, P. Singer (eds.). *The Great Ape Project: Equality Beyond Humanity*. New York: St. Martin's Press, 1993. P. 28—41.

Frisch 1923 — *K. von Frisch*. Über die Spriche der Bienen // *Zool. Jahrb*. V. 40. 1923. S. 1—119.

Frisch 1967 — *K. von Frisch*. The Dance Language and Orientation of Bees / trans. by K. E. Chadwick. Harvard Univ. Press; Cambridge (MA), 1967.

Gardner B., Gardner R. 1969 — *B. T. Gardner, R. A. Gardner*. Teaching sign language to a chimpanzee. *Science*, Vol. 165. 1969. P. 664—672.

Gould 1976 — *J. L. Gould*. The dance language controversy // *Q. Rev. Biol*. Vol. 57. 1976. P. 211—244.

Haldane 1927 — *J. B. S. Haldane*. Possible worlds and other essays. London: Chatto & Windus, 1927.

Hauser 2000 — *M. D. Hauser*. A Primate Dictionary? Decoding the function and meaning of another species' vocalizations // *Cognitive Sciences*. Vol. 24. 2000. № 3. P. 445—475.

Hauser et al. 2002 — *M. D. Hauser, N. Chomsky, W. T. Fitch*. The faculty of language: What is it, who has it, and how did it evolve? // *Science*. Vol. 298. 2002. P. 1569—1579.

Herman 1986 — *L. M. Herman*. Cognition and language competence in bottlenosed dolphins // *Dolphin cognition and behaviour*. New York: Hillside, 1986. P. 221—252.

Hockett 1960 — *C. D. Hockett*. The origin of speech // *Scientific American*. 1960. № 203. P. 99—196.

Hollén, Manser 2006 — *L. I. Hollén, M. B. Manser*. Ontogeny of alarm call responses in meerkats (*Suricata suricatta*): the roles of age, sex and nearby conspecifics // *Animal Behaviour*. Vol. 72. 2006. № 6. P. 1345—1353.

Janik V.M., Slater 1997 — *V. M. Janik, P. J. B. Slater*. Vocal learning in mammals // *Advances in the Study of Behavior*. Vol. 26. 1997. P. 59—99.

Jürgens 1989 — *U. Jürgens*. Language Evolution // *D. Kimura (ed.)*. Speech and Language. Readings from the «Encyclopedia of Neuroscience». Boston; Basel: Birkhäuser. 1989. P. 9—34.

Kimura 1979 — *D. Kimura*. Neuromotor mechanisms in the evolution of human communication // *H. D. Steklis, M. J. Raleigh (eds.)*. Neurobiology of Social Communication in Primates. New York Academic Press, 1979. P. 197—219.

Leiber 1995 — *J. Leiber*. Apes, Signs, and Syntax // *American Anthropologist*. Vol. 97. 1995. № 2. P. 374.

Lubbock 1882 — *J. Lubbock*. Ants, bees, and wasps. A record of observations on the habits of the social Hymenoptera. London: Kegan Paul, Trench & Co, 1882.

Manser, Bell 2004 — *M. R. Manser, M. B. Bell*. Spatial representation on shelter locations in meerkats, *Suricata suricatta* // *Animal Behaviour*. Vol. 68. 2004. P. 151—157.

Menzel 1974 — *E. W. Menzel, Jr*. A group of young chimpanzees in a one-acre field // *A. M. Schrier, F. Stollnitz (eds.)*. Behavior of Nonhuman primates. V. 3. New York: Academic Press, 1974. P. 83—153.

Michelsen et al. 1990 — *A. Michelsen, B. B. Anderse, W. Kirchner, M. Lindauer*. Transfer of information during honeybee dances, studied by means of a mechanical model // *Sensory systems and communication in Arthropods. Advanced in Life Sci.*, Basel: Birkhäuser Verlag, 1990. P. 284—300.

Michie 1998 — *D. Michie*. Ants. They really can talk // *The Independence on Sunday*, 15 November. 1998.

Newman, Simmes 1982 — *J. Newman, D. Simmes*. Inheritance and experience in the acquisition of primate acoustic behavior // *T. Snowdon, C. H. Brown, M. E. Petersen (eds.)*. Primate Communication. Cambridge: Cambridge University Press, 1982. P. 259—278.

Owren et al. 1993 — *M. J. Owren, J. A. Dieter, R. M. Seyfarth, D. L. Cheney*. Vocalization of rhesus (*Macaca mulatta*) and Japanese (*Macaca fuscata*) macaques cross fostered between species show evidence of only limited modification // *Developmental Psychobiology*. Vol. 26. 1993. P. 389—406.

Patterson 1979 — *F. Patterson*. Talking gorillas as informants: question posed by Jane Goodall regarding wild chimpanzees // *Gorilla*. 1979. № 2. P. 1—2.

Patterson, Linden 1981 — *F. Patterson, E. Linden*. The Education of Koko. New York: Holt; Rinehart, Winston (eds). 1981.

Pepperberg 1987 — *I. M. Pepperberg*. Acquisition of the same — different concept by an African grey parrot (*Psittacus errithacus*): Learning with respect to categories of colour, shape and material // *Anim. Learn. and Behav.* Vol. 15. 1987. P. 423—432.

Premack 1971 — *D. Premack*. Language in chimpanzee? // *Science*. 1971. № 172. P. 808—822.

Reznikova 2007a — *Zh. Reznikova*. Animal Intelligence: From Individual to Social Cognition. Textbook. Cambridge University Press, 2007.

Reznikova 2007b — *Zh. Reznikova*. Dialog with black box: Using Information Theory to study animal language behaviour // *Acta Ethologica* (Springer). 10. 2007. P. 1—12.

Reznikova, Ryabko 1994 — *Zh. I. Reznikova, B. Ya. Ryabko*. Experimental study of the ants communication system with the application of the Information Theory approach // *Memorabilia Zoologica*. 48. 1994. P. 219—236.

Reznikova, Ryabko 2000 — *Zh. I. Reznikova, B. Ya. Ryabko*. Using Information Theory approach to study the communication system and numerical competence in ants // *From Animals to Animats*. Vol. 6. Proceeding of the Sixth International Conference on Simulation of Adaptive Behaviour / Ed. J.-A. Meyer, A. Berthoz, D. Floreano, H. Roitblat, S. W. Wilson. Cambridge (Mass.): The MIT Press, 2000. P. 501—506.

Reznikova, Ryabko 2001 — *Zh. I. Reznikova, B. Ya. Ryabko*. A study of ants' numerical competence // *Electronic Transactions on Artificial Intelligence*. B. 5. 2001. P. 111—126.

Reznikova, Ryabko 2003 — *Zh. I. Reznikova, B. Ya. Ryabko*. In the shadow of the binary tree: Of ants and bits // C. Anderson, T. Balch (eds.). *Proceedings of the 2nd Internat. Workshop of the Mathematics and Algorithms of Social Insects*. Atlanta: Georgian Institute of Technology, 2003. P. 139—145.

Rossi, Ades 2007 — A. P. Rossi, C. Ades. A dog at the keyboard: using arbitrary signs to communicate requests // *Animal Cognition*. 10. 2007. P. 1435—1448.

Rumbaugh 1977 — *D. M. Rumbaugh*. Language Learning by a Chimpanzee. New York Acad. Press, 1977.

Rumbaugh, Gill 1977 — *D. M. Rumbaugh, T. V. Gill*. Lana's Acquisition of Language Skills // D. M. Rumbaugh (ed.). *Language Learning by a Chimpanzee: The Lana Project*. New York: Academic Press, 1977. P. 165—192.

Ryabko 1993 — *B. Ya. Ryabko*. Methods of analysis of animal communication systems based on the information theory // K. Wiese, F. G. Gribakin, A. V. Popov,

G. Renninger (eds.). *Sensory Systems of Arthropods*. Basel: Birkhäuser Verlag, 1993. P. 627—634.

Ryabko 1993 — *B. Ya. Ryabko*. The complexity and effectiveness of prediction algorithms // *J. Complexity*. Vol. 10. 1993. № 3. P. 281—295.

Ryabko, Fionov 2005 — *B. Ryabko, A. Fionov*. *Basics of Contemporary Cryptography for IT Practitioners*. World Scientific Publishing Co. 2005.

Ryabko, Reznikova 1996 — *B. Ya. Ryabko, Zh. I. Reznikova*. Using Shannon Entropy and Kolmogorov Complexity to study the communicative system and cognitive capacities in ants // *Complexity*. 2. 1996. P. 37—42.

Savage-Rumbaugh 1986 — *E. S. Savage-Rumbaugh*. *Ape Language: From Conditioned Response to Symbol*. New York: Columbia University Press, 1986.

Savage-Rumbaugh 2000 — *E. S. Savage-Rumbaugh*. *Linguistic, Cultural and Cognitive Capacities of Bonobos (Pan paniscus)* // *Culture & Psychology*. Vol. 6 (2). 2000. P. 131—153.

Savage-Rumbaugh, Lewin 1994 — *E. S. Savage-Rumbaugh, R. Lewin*. *Kanzi: The Ape at the Brink of the Human Mind*. New York: John Wiley & Sons, 1994.

Seyfarth, Cheney 1980 — *R. M. Seyfarth, D. L. Cheney*. The Ontogeny of Vervet Monkey Alarm Calling Behaviour: A Preliminary Report // *Z. Tierpsychol*. Bd. 54. 1980. S. 37—56.

Slater 2003 — *P. J. B. Slater*. Fifty years of bird song research: a case study in animal behaviour // *Animal Behaviour*. Vol. 65. 2003. P. 957—969.

Snowdon et al. 1982 — *C. T. Snowdon, C. H. Brown, M. R. Peterson* (eds.). *Primate communication*. Cambridge: Cambridge University Press, 1982.

Struhsaker 1967 — *T. Struhsaker*. *Behavior of vervet monkeys (Cercopithecus aethiops)*. Berkeley: University of California Press, 1967.

Temerlin 1975 — *M. K. Temerlin*. *Lucy: Growing up Human. A chimpanzee daughter in a psychotherapist's family*. Palo Alto (Calif.): Science and Behaviour Books, 1975.

Terrace 1984 — *H. S. Terrace*. Simultaneous chaining: The problem it poses for traditional chaining theory // *M. L. Commons, R. J. Herrnstein, A. R. Wagner* (eds.). *Quantitative Analyses of Behavior: Discrimination Processes*. Cambridge (MA): Ballinger Publishing Co, 1984. P. 115—138.

Theberge, Pimlott 1969 — *J. B. Theberge, D. H. Pimlott*. Observations of wolves at a rendezvous site in Algonquin Park // *Can. Field Nat.* Vol. 83. 1969. № 2. P. 122—128.

Vauclair 1996 — *J. Vauclair*. *Animal cognition: Recent developments in modern comparative psychology*. Cambridge (MA): Harvard University Press, 1996.

Wasmann 1899 — *E. Wasmann*. Die psychischen Fähigkeiten der Ameisen // *Zoologica*. Bd. 26. 1899. S. 1—133.

Wolf 1936 — *J. B. Wolf*. Effectiveness of token — rewards for chimpanzee // *Comparative Psychological Monographs*. 5. 1936. P. 1—72.