

Интеллект муравьев

Программа А. Гордона (архив 2003)

Оказывается, некоторые виды муравьев обладают развитым «языком» и способны передавать информацию, прибавляя и вычитая небольшие числа в пределах пяти. Насколько присущи животным такие процессы, как познание, запоминание и принятие решений, сегодня после полуночи ученые из Новосибирска - доктор биологических наук [Жанна Резникова](#) и доктор технических наук Борис Рябко.

Стенограмма передачи

Александр Гордон: Я могу согласиться с исследователями, которые выясняют, до какой степени, говоря простым языком, человеческого развития способна дойти горилла, как научить ее определенным образом общаться с экспериментатором и заставлять повторять или выдумывать какие-то фразы. Но что же это за метод определения [интеллекта](#) у муравьев, вот это меня, честно говоря, интересует больше всего.

Жанна Резникова: Я думаю, что эту задачу довольно отчетливо поставил еще Данте в своей "Божественной комедии", ну всего-навсего в 1320 году. Цитата выглядит примерно так: "Так муравьи, столкнувшись где-нибудь, потрутся рыльцами, чтобы дознаться, быть может, про добычу или про путь. Но только миг, объятья дружбы длятся". То есть, Данте не сомневался в том, что муравьи, сталкиваясь рыльцами, как это переводчик Лозинский до нас донес, какую-то информацию друг другу передают. И с самого начала этого интереса к [интеллекту](#) и языку животных возникла проблема. Проблема как бы поиска человека, поиска места человека в этом мире, здесь действительно как-то неуютно. Если здесь еще нас потеснят [насекомые](#). И проблема, ну как бы двух точек зрения. Любопытно, что этим двум точкам зрения уже больше двух тысяч лет. И они постоянно боролись между собой. Грубо говоря, можно сказать, что одна из них как бы принижала разум животных и сводила его до очень простых реакций, а животных как бы до неких машин. Другая – ну как бы возвышала, и просто вопрос был в том, где же провести вот эту границу между человеком и животными?

Борис Рябко: Представители точных наук тоже высказали свою точку зрения. Вот у основоположника теории информации, который заслуженно считается гением, это Клод Шеннон, у него, правда, в русском переводе я такую нашел небольшую фразу, что прежде чем пытаться найти внеземной разум и установить контакт с внеземными цивилизациями, стоило бы попытаться понять язык муравьев, [пчёл](#) и других общественных [насекомых](#). Это с одной стороны. А с другой стороны, теория сверхорганизма, то есть одна из теорий, объясняющих устройство [семьи общественных насекомых](#), утверждает, что каждый элемент очень прост, то есть каждая особь очень проста, она даже примитивна, что это устроено примерно так же, как организм, допустим, крупного животного, почему сверхорганизмом называется, а каждая клетка совершенно элементарна, по крайней мере, по сравнению с целым. Эта теория лишает, скажем, муравьев и [пчёл](#) не только разума, но даже в общем-то и сколько-нибудь сложного поведения. **А.Г.** То есть все вместе – да, а по отдельности – нет.

Б.Р. Да, да, как вот организм и клетки, клетка ведь и не говорит, и не пишет, а вот организм может ну, там стихи сочинять. Так что огромный разрыв. То есть представители, скажем так, точных наук тоже придерживаются двух противоположных точек зрения.

Ж.Р. Ну, если очень коротко проследить эту борьбу идей, то самое интересное может быть то, что это не шло от простого к сложному, не было такого, что сначала изучили простые реакции животных, а потом поняли, что животные могут решать сложные задачи. По сути дела, научное воззрение на поведение, [интеллект](#) и язык животных зародились в 19 веке, и одновременно развивались две ветви. Их называют, стали называть в 20 веке бехевиоризм и гештальтизм, от слова "бихевиор" – "поведение", хотя это ни о чем не говорит, и "гештальт" – "образ", целостный образ. История была примерно такая. После выхода в свет книги Дарвина "Происхождение видов" и несколько позднее – "Выражение эмоций у человека и животных", с одной стороны, научное сообщество почти сразу увлеклось идеей о том, что психические свойства человека имеют эволюционные корни. Но с другой стороны, некоторые последователи оказали Дарвину не очень хорошую услугу, бросившись сразу же подтверждать это, ну я бы сказала так, охотничьими рассказами. Один из примеров, это книга Романеса "Ум животных". Это вызвало просто бурю, так сказать, негативных эмоций. Потому что, вроде как это опиралось на эволюционные воззрения Дарвина, но основывалось главным образом на таких вот байках лордов английских о том, какие умные бывают охотничьи собаки и подохотничьи животные.

И, с другой стороны, почти сразу появилась, где-то десятилетие спустя, книга Моргана "Сравнительная психология животных", и родилось знаменитое Правило Моргана, которым исследователи руководствуются до сих пор: никогда не объясняй поведение животных с точки зрения более высоких функций, если ты можешь объяснить его более просто. И вот этот настрой на экспериментальное, количественное исследование языка, коммуникации, [интеллекта](#), поведения животных получил развитие уже в конце 19 века. Нужно сказать, что российские исследователи внесли в это большую лепту. Через четыре года после выхода в свет книжки Дарвина вышла в свет книга Сеченова "Рефлексы головного мозга", и, кстати, Сеченов был первым переводчиком и популяризатором Дарвина в России.

И теория Павлова появилась в самом начале 20 века. Идеи Павлова попали на благодатную почву. Имеется в виду теория условных рефлексов, которая получила широкое распространение после лекций Павлова, прочитанных им в Мадриде и в Лондоне. Павлов к этому времени, в 1904 году получил уже Нобелевскую премию. Эта теория о том, что поведение животных может управляться условными рефлексами, нашла горячий отклик в умах западных исследователей, поскольку они были уже подготовлены к такому несколько механистичному взгляду на поведение животных. И вот отсюда можно как бы проследить развитие вот этой первой ветви, которая объясняет поведение животных, всех животных, тут уже и [насекомые](#) подключились, с точки зрения стимулов и реакций.

К 60-м годам 20 века уже тонны литературы просто погребли под собой огромное количество исследователей и животных, которые, правда, в отличие от павловской собаки, помещенной в станок, помещались в так называемые "проблемные ящики", где они должны были открывать задвижки или дергать за ниточки. Вот как Красная Шапочка, дернешь за ниточку...

А.Г. Дверка и откроется.

Ж.Р. Вот. Но животные не видели, что они делают, и никто не ожидал от них того, что они будут понимать, как действует этот механизм, они действовали методом проб и ошибок. И один из апологетов этого направления, Скиннер, прожив очень долгую, очень плодотворную в этом плане жизнь, он, по сути дела, заложил целый пласт культуры бехевиоризма. То есть он считал, что поведением животных и человека вполне возможно управлять, управлять с помощью последовательности стимулов и реакций, последовательности, так сказать, награждения правильных реакций. Карен Прайор

например, была одной из самых последовательных последователей Скиннера, то есть она тоже считала, что поведением животных можно управлять. И в итоге пришла к очень интересной теории творческого поведения животных. То есть её результаты показали, что воздействуя на животных с помощью стимулов и реакций, в конце концов, можно поставить перед ними задачу демонстрировать то, на что они в принципе способны, и животные начинают изобретать новые движения и демонстрировать их исследователю. Так, можно сказать, сомкнулись эти две ветви исследований. О второй я хочу сказать, что она основана на совсем другом подходе, и зародилась тоже почти одновременно с первой, то есть в начале 20 века на острове Тенериф, куда был во время Первой мировой войны интернирован Вольфганг Кёллер, немецкий исследователь, который завел там первую в мире [КОЛОНИЮ](#) обезьян, в 25 году появилась его книга "Ум обезьян". И он как раз ставил перед животными такие задачи, при которых Красная Шапочка, дергая за веревочку, видит весь механизм. То есть животные видели, что к чему может привести. И вот эта знаменитая, я думаю, всем известная пирамида из ящиков, которую строят обезьяны для того чтобы достать банан с потолка, это одна из многочисленных задач, которые Кёллер ставил перед своими животными.

И таким образом можно сказать, что эти две враждующие одно время между собой точки зрения в настоящее время как бы продолжают спорить. Сейчас уже нет такой войны, какая была в 50-60-е годы между ними, но вот этот вопрос, он всё ещё остается, вопрос о том, какое же место отвести животным по отношению к человеку, есть ли какая-то резкая грань, отделяющая человека от животных? И вот если мы сейчас найдем место муравьям и вообще [насекомым](#) в этой системе, то, я думаю, наша задача сегодня будет решена.

А.Г. Я очень хочу, чтобы мы нашли место муравьям, тем более что, если я правильно помню один факт из зоологии, что из всех [насекомых](#) общая масса только муравьев, которые живут на земле, равна массе всех млекопитающих или даже превосходит массу всех млекопитающих, включая людей, слонов, дельфинов, китов и так далее. То есть их много.

Ж.Р. Да, безусловно, это огромная живая масса, покрывающая планету. И я сразу должна сказать, что, если мы будем искать разум в каждом из десяти тысяч видов муравьев, мы его, к сожалению, не найдем. Ведь число видов муравьев примерно равно числу видов живущих птиц. Но все-таки это огромное разнообразие муравьев по своему поведению укладывается, ну, в достаточно простые рамки. И мы можем найти [интеллектуальные](#) возможности только у своеобразных муравьиных приматов. Это будет, я думаю, ну, примерно 1 %, как я могу предсказать, от живущих ныне видов.

А.Г. То есть там тоже есть некая эволюционная лестница, если говорить об [интеллекте](#)?

Ж.Р. Да, есть, по крайней мере, большое разнообразие. Среди муравьев это очень немногие виды, которые представляют очень сложные социальные структуры, и обладают очень большим, так сказать, биологическим прогрессом, у них очень большие ареалы, то есть они широко распространены, у них как раз огромная [биомасса](#), и у них очень хорошо развитая социальная структура. Вот к таким муравьиным приматам, которые строят большие муравейники, относятся те, которые живут бок о бок с нами, что в Сибири, что в Европе, это, скажем, рыжие лесные муравьи. Здесь масса аналогий. Это большие, ну как бы так сказать, города. Это дороги, разветвленные, с двусторонним движением, это как бы домашние животные или другие [насекомые](#), от которых муравьи культивируют, за которыми ухаживают и у которых они получают сладкие выделения. Это распределение ролей, иерархия, ну даже как бы личное распознавание в пределах небольших групп.

А.Г. С трудом представляю себе приматов, которые разводили бы для своего удовольствия каких-нибудь крыс или мышей, которых потом бы поедали. Или устраивали бы птичьи фермы, яйца которых они потом бы ели. А тлиные фермы у муравьев – это вещь уникальная, в общем.

Ж.Р. Да, вы совершенно правы. Есть, конечно, ещё аналогии и отличия, но в частности, одна из работающих аналогий, это любовь к труду, она у человека и у муравья небольшая. Муравьи стремятся как можно больше отдыхать. Отдыхают они, покачиваясь на ногах, стоя в таком своеобразном трансе, может быть, предаваясь ходу каких-нибудь своих муравьиных мыслей, что нам, конечно неведомо. Но так же, как и человек, они стремятся сэкономить как можно больше времени и усилий для того, чтобы предаться вот этому, может быть, не совсем понятному для нас отдыху. Вот это ещё одна, так сказать, аналогия, которая, ну по крайней мере, поможет нам ближе понять муравья и принять его некоторое [интеллектуальное](#) сходство с высшими позвоночными животными.

А.Г. С обезьяной я могу договориться, взяв ее на воспитание с детских лет, с младенчества, научить ее одной системе языков или другой. Ну, и морфологически мы очень близки друг другу, и крупность почти такая же у нее. Я могу отслеживать ее эмоциональные реакции и какие угодно. А как быть с таким скоплением индивидуумов? Как с ними работать-то?

Ж.Р. Это ключевой вопрос. И я думаю, что по сути дела, метод будет, наверное, положен в основу нашего разговора. Нужно сразу сказать, что все существенные достижения при изучении языка и [интеллекта](#) животных появлялись тогда, когда появлялся какой-то новый метод. Вот тогда всегда появлялся какой-то некий прорыв. И, наверное, нужно начать с того, что для того чтобы изучить [интеллект](#) животных, очень трудно отделить [интеллект](#) от системы коммуникации, особенно когда изучаешь общественных животных. И может быть как раз именно это и удобно, изучая систему коммуникаций, по ее возможностям понять [интеллект](#) ее носителей. Даже можно, наверное, выразиться менее осторожно, [интеллект](#) носителей языка. В общем-то, [интеллект](#) всегда связан со степенью сложности коммуникации.

А.Г. Важное допущение. То есть все-таки коммуникацию у [насекомых](#), у муравьев, вы считаете языком?

Б.Р. Это же [общественное насекомое](#), конечно, это именно сообщество. Ну, сегодня мы объясним, что это, наверное, язык и есть.

Ж.Р. В этом плане – да. Конечно, я не ставлю знак равенства между коммуникацией и языком. Если по-артиллерийски брать проблему в "вилку", то как бы будет, с одной стороны, членораздельная речь, все-таки прерогатива человека, а с другой стороны, коммуникация, которая, в принципе, является непременным атрибутом общественных животных любого ранга и любого уровня. Даже когда лиса съедает зайца, это, в общем, тоже в какой-то степени процесс коммуникативный. Язык – это более плодотворное понятие для изучения. Ну, я, наверное, не буду вдаваться в определение языка. Хотя бы потому, что, скажем, если взять широко известную книгу Ноама Хомски, известного американского психолингвиста, то ее первая глава вся посвящена просто перечислению разных определений языка. Ну, интуитивно ясно, что сложно организованная система передачи абстрактной информации с помощью символов и обладающая некоторыми другими свойствами, о которых сегодня пойдет речь, наверное, может быть присуща только определенным высоко[интеллектуальным](#) видам животных, среди которых, наверное, мы придем сегодня к этому выводу, окажутся и

муравьиные приматы. Отнюдь не все десять тысяч видов, а только вот этот вот, по всей видимости, один процент.

Для того чтобы приступить к изучению языка животных, возможно, по меньшей мере, три подхода. Первый из них – это попытки прямой расшифровки сигналов. Если мы прямо расшифруем некоторые сигналы, может быть, мы поймем, так сказать, всю сложность общения животных и составим представление об их [интеллекте](#). Это сложная задача, но Данте ее поставил, как мы помним, около 700 лет назад. Ее, видимо, вполне решил Карл фон Фриш, широко известный своими исследованиями и книгами, посвященными символическому языку танцев медоносной [пчелы](#).

Очень драматическая история у этого открытия. Фриш всю свою жизнь посвятил исследованию вопроса о том, как животные воспринимают окружающую среду и как они общаются с ней и между собой. Его жизнь была организована так, что зимой он занимался рыбами, а летом [пчелами](#), и все, что он открыл и на рыбах, и на [пчелах](#), и даже еще в школьном возрасте на актиниях, все шло вразрез с существующими тогда понятиями об [интеллекте](#) и языке животных. Если сосредоточиться на [пчелах](#), то расшифрованные им танцы [пчел](#) появились в виде публикации уже в начале 20-х годов. И сначала все было спокойно, просто этого никто не замечал, поскольку все было опубликовано по-немецки, и он спокойно продолжал исследовать сигналы [пчел](#). Но это вызвало огромную дискуссию в 50-е годы, когда была опубликована его книга и цикл работ по-английски. И вот тогда-то исследователи позвоночных животных, видимо, впервые поняли, что придется, наверное, потесниться с представлениями об [интеллекте](#) животных. По выражению Менинга, автора одного из лучших учебников по поведению животных, такое скромное создание, как медоносная [пчела](#), по всей видимости, обладает символическим языком.

Фриш ставил свои эксперименты в стеклянном улье, где он видел, как [пчела](#)-разведчица, найдя какое-то богатое место, возвращается и описывает на сотах что-то вроде восьмерок. В результате оказалось, что с помощью таких танцев в улье [пчела](#) сообщает остальным [пчелам](#) – [фуражирам](#) – куда нужно лететь за пищей. Ну, на самом деле, восьмерки эти пресловутые не так важны. У [пчелиного](#) танца, как потом выяснилось, по меньшей мере, одиннадцать параметров. Это прежде всего ось танца на сотах. Угол, который она составляет по отношению к вертикали, соответствует углу между направлением на пищу и направлением на Солнце. По мере того как Солнце сдвигается к западу, сдвигается и ось танца в улье. Кроме того, важна скорость, с которой движется [пчела](#), а также остальные такие параметры, как виляние брюшком, движение из стороны в сторону, звуковые компоненты и даже запах, все они сообщают [пчелам](#) о том, в какую точку пространства лететь. И [пчелы](#) действуют как такие маленькие самонаводящиеся ракеты. То есть, они летят сначала по заданному направлению и, когда они уже близки к цели, тут включается как бы память о запахе, который они чувствовали в улье, когда танцевала [пчела](#)-разведчица. И они находят эту точку в пространстве. Находят, не летя за [пчелой](#), это ж невозможно. Вы представляете, как [пчела](#) как точка исчезает в синем небе, ее не видно. Они находят, пользуясь системой дистантного наведения. Это редчайший случай описания дистантного наведения у животных. То есть, когда животные используют информацию абстрактного характера, и это не пахучий след, по которому надо бежать, не разведчик, за которым надо идти, а это какая-то информация, пользуясь которой, они находят цель. И вот сама по себе дискуссия о том, а правда ли это, а может быть [пчелы](#) оставляют какие-то молекулы запаха за собой, по которым ориентируются [фуражиры](#), длилась с 50-х до начала 90-х годов, несмотря на то, что в 73-м году Фриш получил Нобелевскую премию вместе с Нико Тинбергеном и Конрадом Лоренцом, три [этолога](#) получили Нобелевскую премию. Это такой известный и замечательный факт. Но только в начале 90-х годов была поставлена точка в этой дискуссии. Это просто совершенно замечательная история. На той же самой земле, датской, на которой родился искусственный соловей, механический, описанный Андерсеном, другой Андерсен,

инженер, используя идею и экспериментальный подход Акселя Михельсона, сделал искусственную [пчелу](#), робота. И вот эта искусственная [пчела](#) передавала уже заданные человеком сигналы в ульи. [Пчела](#) – робот, конечно, оставалась на месте. Руководствуясь ее сигналами, [пчелы](#)-сборщицы летели к тому месту, которое она им указывала. Это была не первая [пчела](#)-робот, сделанная для этой цели, но она была самая совершенная. Вообще [пчелы](#)-роботы делались с начала 50-х годов, в том числе и у нас Лопатина делала интересную модель. Но самая работающая, так сказать, очень тонко технически оснащенная, была сделана в Дании. И вот она поставила точку на том, что символический язык танцев у [пчел](#) действительно существует.

А.Г. Тут важно еще вот что понять. [Пчелы](#) рождаются со знанием этого языка или они научаются ему на протяжении жизни в улье?

Б.Р. Это уже второй вопрос. Этот язык существует в любом случае.

Ж.Р. Это интересно, ну страшно интересно. И вопрос ведет нас страшно далеко. Вы даже не представляете себе, как далеко. Дело в том, что логически на него можно было бы ответить так. То есть, вы хотите от меня, наверное, услышать, что да, [пчелы](#) выучивают этот язык, также как и человек, поскольку человек, так сказать, обучается языку в процессе жизни. Но на самом деле существуют теории, основанные на том, что и у человека грамматический строй языка является врожденным. Что же тогда эта [пчела](#), ну, врожденный язык у нее и врожденный. Поэтому давайте лучше это оставим.

А.Г. Хорошо, оставим. Тогда еще один вопрос. Этот язык унифицирован для всех [пчел](#)-медоносов, или он отличается от улья к улью?

Ж.Р. Это более легкий вопрос. Ну, можно сказать так. Некоторая врожденная матрица несомненно существует. И она включает в себя, пожалуй, большинство основных известных компонентов языка. Нужно сказать, что расшифровано далеко не все, по-видимому, богатство [пчелиного](#) языка, которое существует, так сказать, в природе.

А.Г. Разумеется, потому что, кроме того чтобы задать направление, расстояние, нужно сообщить о врагах, нужно дать какую-то еще необходимую информацию.

Ж.Р. Существует еще загадка Фриша. Вот мы были недавно на конференции, на которой этот вопрос возник.

Б.Р. Ну, вопрос очень старый.

Бывают такие ситуации, когда хорошая поляна, допустим, с цветами, где много нектара, находится, скажем, за холмом. Так вот, одна [пчела](#) передает в улье другим направление, расстояние. Информацию об этом. Но, по-видимому, что-то еще. Потому что [пчелы](#), которые получили эти сведения, они не летят над холмом, а облетают его. И у некоторых специалистов создается впечатление, что вообще не весь их язык понят. На самом деле, вопрос можно поставить так. Наверное, просто люди слишком примитивны, чтобы понять сложный язык [пчел](#) или других животных. Мы все пытаемся с нашим подходом подойти. Вот сделать, допустим там, англо-волчий словарь. Или, скажем там, тувинско-[пчелиный](#). И пытаются найти слова, найти фразы, но это, на самом деле, практически невозможно. Ведь, насколько я знаю, была же масса попыток расшифровать так называемый гипотетический язык муравьев. Но представляете, какие это трудности. Это, во-первых, технически. Это надо все заснять. Причем, там же их много муравьев. Значит, с разных точек. Масса технических проблем, ну это ладно. А самое-то трудное, где у них начало фразы, где конец фразы. Что имеет отношение к сообщению, а что – нет, может быть, там

какие-то там движения означают "пойдем вместе", а может быть, он просто чешется там или что-то еще.

А.Г. То есть, какой шум там еще стоит.

Б.Р. Да, представьте, что мы, например, наблюдаем чайную церемонию у японцев.

А.Г. И пытаемся расшифровать ее и перевести на русский язык.

Б.Р. И мы пытаемся составить русско-японский словарь. Хотя все-таки здесь два эти объекта много ближе.

Ж.Р. Здесь все же речь идет об одном виде.

Б.Р. Да, это один вид. Но мы не понимаем смысла этой церемонии. Мы не понимаем, может быть, они там, когда они кивают специфически, то, может быть, говорят этим что-то, передают, скажем, привет от бабушки. А где начало и конец слов и фраз, нам не понятно, ведь структура японского языка отличается от европейских. Поэтому на самом деле это очень трудно. И даже, наверное, практически невозможно.

А.Г. Понятно. Но, в принципе, от улья к улью, от муравейника к муравейнику язык чуть-чуть разнится. Матрица одна, а диалект не известен.

Б.Р. Про муравьев не известно.

Ж.Р. Ну, про муравьев действительно не известно, но что касается [пчел](#), на самом деле показано, что [пчелы](#) из разных местностей используют что-то вроде диалектов. Поэтому здесь на этот вопрос, по крайней мере, можно ответить. Пусть даже мы не представляем всех возможностей языка [пчел](#). Но вот то, что у них существуют диалекты, наверное, сказать можно. Это совершенно замечательное открытие, казалось бы, может вдохнуть в нас, так сказать, энтузиазм по поводу расшифровки языков. Если так здорово получилось с [пчелами](#), то почему бы и не взяться на самом деле составлять словари, о которых Борис говорил. Вот, скажем, если речь зашла об англо-волчьем словаре, то такой словарь как раз пытались составить в 60-х годах. В частности, норвежский исследователь Теберге выражался об этом, примерно, так. Что нужна такая ситуация, когда совершенно определенный сигнал соответствует совершенно ну, так сказать, определенному случаю.

А.Г. Не может быть истолкован по-другому.

Ж.Р. Да. Представим себе, что в окно падает увесистый кирпич. Ну что вы скажете на это, это будет, примерно, ясно. Да, мы без труда расшифруем. Может быть, там есть какие-то диалектные оттенки. Но, примерно, можно подставить, что человек скажет об этом.

А.Г. Смысловые нагрузки будут очевидны.

Б.Р. Неоднозначно тоже. Даже здесь это неоднозначно.

Ж.Р. Тут я с большим оптимизмом смотрю. Ну да, оптимистично будем смотреть.

Б.Р. Это довольно неоднозначно.

А.Г. Ну, пусть не камень в окно, а молоток на большой палец ноги.

Ж.Р. По крайней мере, вот хотя бы одно волчье слово, только у них это сигнал одиночества. Это слово и было расшифровано. То есть, здесь тоже такой случай, когда очень, так сказать, однозначная ситуация и постоянно повторяющийся сигнал. Вернемся к ситуации с [пчелами](#). [Пчелы](#) очень хотят есть. От этого зависит вся, так сказать, их жизнь в улье. И они летят по наводке разведчицы туда, куда она показывает, пусть даже мы не совсем представляем, как это делается. Это один случай удачной расшифровки языков животных. И второй – это уже несколько более поздний, относится к 60-м годам. Это акустические сигналы верветок. Это зеленые мартышки, которые имеют различные средства выражения для обозначения различных хищников. При виде орла они издают сигналы одного рода, при виде змеи – другой и при виде леопарда, их извечного врага, – третий сигнал. Сигналы достаточно хорошо различаются и достаточно хорошо соответствуют ситуациям. То здесь мы видим тот же самый случай. Когда ситуации и сигналы достаточно простые и достаточно хорошо отличающиеся. Это не то что на самом деле у муравьев. Масса разных движений усиками, щупиками, ногами, и тут ничего простого никак быть не может. Но что касается акустических сигналов, то после того как Струзейкер в 60-х годах, а Сефард и Чини в конце 80-х, более, так сказать, технично провели эти исследования, подобные сигналы тревоги были найдены еще у нескольких животных. И пожалуй что, вот это и все. Вот два таких случая успешной расшифровки языка животных. И дальше тишина. Просто потому, что это технически очень сложно. И еще есть другой чрезвычайно плодотворный подход, который очень много дал понять о языке и [интеллекте](#) животных. Это эксперименты с языками-посредниками. Когда мы не пытаемся расшифровать язык животных, но пытаемся научить их либо непосредственно нашему языку, либо какому-то переходному языку, для того чтобы с ними договориться.

Б.Р. Дельфины тоже осваивают языки, искусственные. Искусственные для дельфинов, языки-посредники. Но еще некоторые виды, попугаи осваивают даже английский язык, причем, не просто, как выяснилось, повторяют, они даже им владеют и могут что-то объяснить о внешнем мире.

Ж.Р. Ответить на вопрос, сколько каких предметов, сколько из них кожаных, белых и так далее.

Б.Р. То есть это могут попугаи на английском. Да. Но при всем при том неизвестно, существует ли у них естественный язык, в природе. Вот у тех же там крупных обезьян, у тех же попугаев...

А.Г. Их способность научиться языку-посреднику или даже человеческому языку не означает, что у них может быть язык.

Б.Р. Да. И просто единственный язык, который расшифровали, как сказала Жанна, это язык мартышек, который на самом деле, по-видимому, все-таки очень прост. ... По-видимому, так и есть. Его поэтому и удалось расшифровать. И язык [пчел](#), из которого, похоже, что удалось расшифровать довольно простой только фрагмент. Похоже, что на самом деле к языку животных нужен другой подход, который базируется на идеях теории информации. Это третий подход и есть – первый – попытки прямой расшифровки, второй – использование языков-посредников, а третий – использование идей и методов теории информации.

А.Г. Вам и карты в руки. Говорите осторожнее теперь.

Б.Р. Теперь я уже буду подбирать слова... Эта наука появилась в начале XX века, на наших, можно сказать, глазах. И значит, было количественно определено, что же такое

информация. Причем эта теория блестяще описывала существующие и далее конструируемые технические системы. И было осознано, что, в общем, все системы, в том числе и язык человека, все системы коммуникации существуют для того, чтобы именно передавать информацию, а не только для того чтобы рассказывать сказки на ночь или еще что-то. По крайней мере, они хорошо для этого приспособлены, и в основном они для этого, то есть для передачи информации, и создавались. И если уж они для этого и созданы, то дальше естественный вопрос, естественная мысль возникла – попробовать понять, не передают ли информацию, скажем, общественные [насекомые](#), такие как муравьи, которые, к счастью, не летают, то есть с ними легче работать в этом смысле. Суть подхода, который придумали мы, такова. Создавалась такая ситуация в эксперименте, когда мы сами определяли, какое количество информации муравьи должны передать, для того чтобы найти себе еду. Причем им очень хотелось это сделать. Это, в общем, вопрос жизни и смерти, мотивация была очень высокая. Первые опыты ставились в 1982 году еще. Муравьи передавали друг другу сведения о координатах кормушки с сиропом. Причем, ну, вот, может быть, взглянуть на этот самый лабиринт, это первый... Первая самая установка.

А.Г. Давайте посмотрим, на чем ученые делают свои эксперименты.

Ж.Р. Да, на пластилиновых шариках и пластиковых трубочках.

Б.Р. Представляете, сколько стоит, например, завести шимпанзе десяток? И кормить, и охранять. А муравей... Они вообще в лесу живут. Так что это...

А.Г. Итак, что мы сейчас видим перед нами?

Б.Р. Это лабиринт, бинарное дерево, можно сказать, классический. Такие лабиринты использовались в 82-м году. Значит, вот там, на дне, вода, потому что муравей, к счастью, не плавают. Они только ходят.

Ж.Р. Давай, ты рассказываешь о том, что такое бит информации, а я рассказываю, как на дне вода, и как муравьи ходят, все такое. Так что давай сначала начнем с общей задачи.

Б.Р. ...муравей. Вот видите, там раз, два, 8 листьев. Бинарное дерево называется. Значит, есть развилки, но последние из них – это листья. Вот на каждом из этих листьев была укреплен кормушка, то есть кусочек на самом деле ваты. Все ватки с водой, а ровно одна с сиропом.

А.Г. То есть из 8 вариантов был 1.

Б.Р. Да. И вот если, допустим, я, как муравей, хочу рассказать вам, где же там эта кормушка, я вам скажу, что...

А.Г. Второй слева.

Б.Р. Сначала лево, например, лево, потом право, право. Тогда, значит, вам станет понятно, где эта кормушка. И тем самым я передал 3 бита информации. Если там право- право – право, тоже 3 бита информации.

А.Г. Или все время прямо.

Б.Р. Но или мы можем придумать, например, так, что просто все листья конечные будут по-разному называться. Вот тот лист у нас будет называться коньяк, допустим, вот тот левый – будет называться виски, еще, значит, придумаем 8 слов. Но суть в том, что все это – все равно 3 бита информации. Природу не обманешь. Вот как бы мы там их ни называли. Ну, для примера, эти 8.

Пусть у них будут такие имена: "Веточка та, где вчера был сироп". Или там, где вот на той неделе был сироп. Можно такие фразы использовать, но все равно передаются те же 3 бита информации, вот в чем вся и прелесть. Мы совершенно не должны думать о строе языка, о словаре, о чем-то еще.

А.Г. Передается 3 бита информации. Право – право – лево.

Б.Р. Да, в экспериментах подбрасывалась монета, я только это скажу о ходе опытов. Вот когда устанавливалась кормушка одна, сначала же подбрасывалась монета три раза. Если было 3 звена. Вообще были деревья от одной развилки, то есть совсем маленькие, до шести. Но вот здесь вот три развилки и соответственно три бита. Потом это дерево долго еще там специально в контрольных опытах мучили вот именно с тремя развилками. Но, это уже сама биологическая часть, ее лучше расскажет Жанна.

Ж.Р. Для того чтобы представить себе, как это все делалось, нужно сказать, что муравьи жили на лабораторной арене величиной примерно с письменный стол. Ну, примерно как в рассказах Лема, когда ученые для своего удобства моделировали цивилизации, все более и более маленькие. И вот мы такую оптимальную нашли размером с письменный стол. И эта арена была разгорожена на две части. В одной части живут муравьи, они живут в прозрачном стеклянном, не гробу, чуть было не сказала, а гнезде. Это что-то вроде такой прозрачной шкатулочки с выдвигаемыми ячейками. Так что в принципе все видно. И эта часть арены, на которой они живут, отделяется от экспериментальной довольно высокой перегородкой, на которую ведет мостик. Сначала они должны по мостику перейти на рабочую часть арены, вот за которой гнезда уже не видно, а потом уже по второму мостику попасть на саму установку, вот в эту вот кювету с водой. Дальше они должны найти кормушку. Ну, это все бы происходило очень долго, если бы мы в предварительных экспериментах не выявили активно работающие группы, что является само по себе, может быть, небольшим, но, так сказать, открытием в этой области. Дело в том, что, как оказалось, когда таким сложно организованным муравьям как рыжие лесные, ставят простую задачу, то ничего там в этом хаосе разобрать нельзя. Они скопом бегут и скопом находят. Но если задача сложная, то здесь можно наблюдать довольно четко организованную структуру. Находят в сложных ситуациях, скажем, пищу разведчики. И каждый разведчик, как оказалось в предварительных опытах, общается только со своей небольшой группой [фуражиров](#). С другими он не общается. Эта группа [фуражиров](#) примерно от 4 до 10 особей, которые специально его ждут. Вот в предварительных опытах мы выявляли таких разведчиков, выявляли их группы и метили их цветными пятнышками. Так что дальше было уже легче. После чего уже в текущих опытах можно было взять разведчика и посадить его на кормушку с сиропом. То есть просто ускорить этот процесс. Если разведчику предоставить возможность искать самостоятельно, это будет очень долго, особенно в случае с тремя развилками – это уже практически бесконечность. Если муравей ищет больше, чем полтора часа, он теряет интерес к данному, так сказать, объекту. После того как мы муравья сажаем на кормушку с сиропом, мы даем ему возможность выучить эту дорогу. Как правило, он не запоминает ее с первого раза. Разведчик бежит к гнезду и тогда, в то время когда он находится в гнезде, мы можем заменить эту установку на новую. Для того чтобы не использовался пахучий след, мы заменяем эту установку, их можно лепить много, на совершенно свежую. Поэтому, когда муравей приходит, он видит идентичную установку, но там, так сказать, никаких следов

уже не остается. Обычно разведчику требуется 3-4 раза для того, чтобы запомнить дорогу в том случае, когда там 3 или 4 развилки. И после этого он начинает довольно активно общаться со своей группой [фуражиров](#), придя в гнездо. Они уже приготовлены. То есть они видят, что их разведчик бегаёт и приносит корм. Вот после того как это общение уже начинается, мы можем зафиксировать время. Время, которое тратит разведчик на общение с [фуражирами](#). И после того как он с ними пообщался, и мы видим, что группа выходит к этому мостику и движется компактно, мы разведчика изымаем пинцетом и отсаживаем в баночку. Он там спокойно сидит, ничего мы там ему не делаем. Группа должна найти эту кормушку, примерно так же как [пчелы](#) пользуются указаниями разведчика, то есть, получив информацию. Поскольку дерево мы при этом в очередной раз заменили, там никакого пахучего следа не должно быть, кроме того, мы даже убрали кормушку. Чтобы сироп, хотя он как бы, может быть, и слабо пахнет, но чтобы и этого фактора тоже не было. Они приходят на пустую веточку и сразу же получают от нас кормушку с сиропом, чтобы они не разуверились в нас.

А.Г. Чтобы не побили разведчика.

Ж.Р. Да, да. И это тоже правильно, чтобы не побили разведчика. Поэтому здесь важно зафиксировать вот такой момент. Во-первых, муравьи могут использовать только один способ передачи и получения этой информации. То есть мы исключаем все остальные.

А.Г. Запах исключается.

Ж.Р. Запах исключается. Во-вторых, мы измеряем время, которое тратит муравей-разведчик на общение с этими [фуражирами](#).

А.Г. На передачу 3 бит информации.

Ж.Р. Как он при этом общается – нам неважно. Может быть, он при этом еще что-то выкрикивает, какие-то, может быть, даже лозунги.

А.Г. Может быть, говорит о качестве пищи, о количестве ее.

Ж.Р. Да. Мы измеряем только время. И это чисто эмпирический подход. Мы знаем, сколько времени затрачено на передачу скольких бит информации в этом случае. Вот так вот это чисто биологически выглядит...

А.Г. А в этих экспериментах ошибки были? То есть бывало такое, что разведчик неверно объяснял дорогу?

Б.Р. Да, бывали ошибки. Ну, во-первых, у одних разведчиков бывало много ошибок, у других мало. Некоторые вообще были или опытные, или умные, или с хорошей памятью, наверное, скорее всего. Некоторые были вообще не способны... просто бесполезно было, они не могли передать, скорее всего, запомнить не могли. Значит, дальнейшие опыты с ними не проводились. Но многие разведчики запоминали до 6 последовательностей поворотов, и у них процент ошибок был очень небольшой. Ну и все это было, конечно, статистически обработано и опубликовано в приличных журналах. Это все нормально.

Ж.Р. Даже существуют количественные данные, чтобы ответить на ваш вопрос более подробно. Если предоставлялась простая задача, то практически все разведчики могли с ней справиться. Если сложная, ну, начиная с трех развилок, она уже сложная, то с ней справлялось, ну, где-то около половины разведчиков, которые работают в данной

лабораторной [семье](#). И наконец, при шести развилках с такими задачами справлялись уже только единичные разведчики. Лучше так сказать. Что касается ошибок, то мы просто эмпирически, ну, как бы положили себе некоторые пределы. Это ведь животные и животные, как мы сейчас видим, достаточно сложно устроенные. У них могут быть, наверное, и собственные ошибки и какие-то настроения. То есть далеко не всегда группа механически, прямо вот таким компактным шариком шла по бинарному дереву. Вот это уже получается, во-вторых. Во-первых, могут ошибаться разведчики, а во-вторых – группа. Поэтому мы считали, что если в группе больше, чем два отставших, то она уже в целом ошиблась, несмотря на то, что пусть, скажем, 4 нашли, 2 не нашли. Все-таки мы считаем это ошибкой.

А.Г. То есть если два сачкуют...

Б.Р. И все это обрабатывалось статистически. Вероятность случайно найти – одна восьмая.

А.Г. А вот какой у меня вопрос еще возник. Разведчик передает информацию только своей группе? При этом, если рядом находится другая группа, она не реагирует на слова разведчика?

Ж.Р. Да, она не реагирует.

А.Г. Видите, я сказал – "слова".

Ж.Р. Она не реагирует, и мы не знаем, из каких соображений. На самом деле меня как зоолога очень интересует вопрос о том, как взаимодействуют эти группы в [семье](#) между собой, как они координируют свои действия при решении каких-нибудь, ну, более общесемейных задач. Этого я пока не знаю. Дело в том, что, видимо, группа, которая наблюдает за действиями разведчика, в какой-то степени аналогична так называемым танц-группам у медоносных [пчел](#). Но только у медоносных [пчел](#) это очень большие группы, которые как бы наблюдают издали. А здесь происходит такой процесс очень тесного соприкосновения. И разведчик общается обычно с одним-двумя, ну, редко тремя муравьями, еще два-три наблюдают, очень тесно, так сказать, прижавшись к этой группе. Они, может быть, сами-то ничего и не поняли, но зато они будут знать, за кем держаться, когда эта группа пойдет по бинарному дереву. Что касается остальных, они практически не реагируют на то, что происходит между данным разведчиком и его группой.

А.Г. Скажите, пожалуйста, вы пытались определить способы передачи информации? Это механические действия или запах?

Ж.Р. Ну, это хороший вопрос. Мы не то чтобы пытались, мы как бы исходили из того, что еще в конце 19 века немецкий зоолог Вассманн предположил, что у муравьев есть так называемый антеннальный код. И опять же далеко не у всех муравьев, а только у высокосоциальных видов. Ну, так или иначе, муравьи касаются усиками друг друга всякий раз, когда передают пищу. Вассманн предположил, что именно с помощью антеннального кода муравьи, по-видимому, как Данте и предполагал, передают некую информацию. Поэтому мы взяли за основу, что, по всей видимости, во время вот этих антеннальных контактов некий такой информационный контакт происходит.

А.Г. Мы сейчас прервемся на рекламу, а когда вернемся, я хочу, чтобы вы ответили на вопрос, почему вам так важно было посчитать, за какое количество времени они передают именно три бита информации в секунду.

(Реклама.)

Б.Р. Дело в том, что ведь какое-то количество узлов менялось в разных опытах, от 1 до 6. И если это, так сказать, обычная система коммуникаций, которая должна быть, то время должно быть пропорционально количеству развилок. Вот так же, как когда-то Шеннон говорил, на двух перфокартах можно записать в два раза больше информации, чем на одной. Так и здесь, в два раза больше времени требуется на передачу координаты в том случае, когда 6 развилок, чем когда 3 развилки. Вот. Но интересно, что в России развитие теории информации во многом связано с Колмогоровым. Это великий российский математик, который жил в 20 веке. Так вот, в наших опытах используется не только определение информации, данное Шенноном, но и понятие так называемой колмогоровской сложности. Я вот просто хочу нарисовать, что это за колмогоровская сложность. Значит, вот наше дерево бинарное. Понятно. И вот мы будем писать, когда поворот налево – лево, когда поворот направо – право. И так далее. Вот, допустим, у нас такая последовательность поворотов. Сколько – 6. Реально было 6. Например, такая последовательность поворотов. Все время налево. То есть ЛЛЛЛЛЛ, шесть Л. Или вот такая, которую я сейчас напишу и назову "условно случайная". Такая последовательность поворотов. Ну, скажем, сколько еще, две буквы, да. Лево, ну, допустим, право. Получилось, скажем, ЛПЛЛЛП. Так вот, если бы пришлось, допустим, мне запоминать последовательность или вам, или кому-то еще, то запомнить и передать вот эту последовательность, шесть Л, это было бы очень просто. И передать – иди все время налево и там будет то, что нам нужно. Или вот такую. Но тоже просто. Лево – право и так три раза. То есть ЛПЛПЛП. А если такую, то это, конечно, сложнее. Колмогоров в некотором смысле показал, что существует объективная мера сложности. Так вот у муравьев все точно так же – информацию о такой последовательности поворотов – шесть Л – они передавали очень быстро, на информацию о, скажем, ЛПЛПЛП, примерно раза в 2 больше времени уходило. А вот о такой еще раза в 2 больше, то есть о случайной. То есть у них...

Ж.Р. Я здесь конкретно могу сказать: здесь на уровне 70 секунд, когда, скажем, все время налево, после этого, 130 секунд, так сказать, средний вариант. А о случайной – больше, чем 200 секунд, то есть очень медленно на самом деле.

Б.Р. Разрыв очень большой. Так что вот оказалось, что представление о простом и сложном у муравьев примерно такое же, как и у людей, хотя бы в пределах 6-буквенных слов, когда используется алфавит из двух букв. Вот. Ну, и следующая серия, вообще эти все опыты с 82-го года продолжались до 97-го примерно.

А.Г. То есть, это связано, видимо, не столько с передачей информации, сколько с запоминанием группой информации?

Б.Р. По-видимому. Разведчику и самому легче запомнить. То есть здесь именно все этапы. Ему просто запомнить, легче передать и им легче запомнить. По-видимому, и передать тоже проще. То есть рассказать, как идти.

А.Г. Нет, я могу затратить – "лево-право-лево-право", "право-лево-лево-право-право-лево" – то же самое время на передачу информации...

Ж.Р. Это если вы не используете закономерность окружающего мира для сжатия информации. А если вы используете, то вы скажете – лево-право три раза. Вот они, оказывается, используют.

Б.Р. По крайней мере, времени меньше и для них это проще. Мы не знаем, что они делают, но предполагаем, что для них это проще, потому что они тратят меньше времени. Вот. И еще была серия опытов, которая продолжалась несколько лет, с лабиринтом, который можно назвать гребенка. Так он выглядел. Большой длинный стержень. Так же он помещался. На палочке. И вот такие вот от него отходят веточки. Выглядит как большая гребенка.

А.Г. Ага. Тут уж надо говорить, какой поворот налево.

Б.Р. Да, тут важен номер веточки, а совсем не последовательность поворотов. Тут надо уже считать. Совершенно справедливо. Значит, муравей попадал вот сюда, также везде были пустые кормушки, а одна с сиропом.

Ж.Р. Ну, в общем, техника вся такая же.

Б.Р. Разведчики, [фуражиры](#), крашенные нитрокраской, разными цветами, на разных частях тела точки. Это, как я видел, очень интересно.

А.Г. Красиво, должно быть.

Б.Р. Да. И вот одна веточка заканчивается кормушкой. Надо было передать информацию о номере кормушки. И вот оказалось то, что муравьи успешно с этим справляются в пределах 60. И в общем-то, они просто умеют считать, как отсюда следует. По крайней мере, они также передают номер кормушки – там 38 или там на следующий день 57. И они передают номер веточки. Причем изменялась форма этого лабиринта. Иногда был лабиринт круглый с такими вот...

Ж.Р. Ту же самую гребенку можно было просто замкнуть в круг.

Б.Р. И вот в одну точку попадали, а это симметрично...

А.Г. Это уже усложняет. "Номер такой-то, иди по часовой стрелке". Он же может пойти в любом направлении.

Б.Р. Они... Тут тоже были интересные вещи. Вот когда кормушка была близко к верхнему краю вертикальной гребенки. Они быстро бежали туда, потом медленно спускались вниз, как бы отсчитывая сверху... Но в последующих опытах, последние 10 веточек оставляли пустыми заведомо, их не использовали для простоты объяснения, чтобы лишнего не включать ...

А.Г. То же самое деление и умножение.

Б.Р. Нет, это проще, ну, представляете, вот тут номер 53, а если отсюда, сверху, от 60-й веточки он – седьмой. Так вот они бежали сюда, наверх, а потом семь отсчитывали сверху. То есть не 53, естественно, а 7, то есть вот настолько-то они это как раз упростили, любой бы так поступил из нас с вами.

Ж.Р. Из разумных существ.

Б.Р. Да. Вот, и потом последняя была серия экспериментов, четыре года продолжалась, которая позволила доказать, что муравьи способны складывать и вычитать небольшие числа, в пределах пяти. Все эти результаты тоже опубликованы и докладывались ...

А.Г. А это как?

Б.Р. Вот, тут логика сложная. Не все даже и биологи понимали. Вот знаете, есть такие римские числа, римские цифры, вот там, скажем, когда мы пишем вот так вот "XII".

Ж.Р. А "не все биологи" – это кто же интересно....

Б.Р. Или когда мы пишем, вот, например, так "IX", это девять, да. А вот это вот, например, четыре – "IV". Вот. Но когда мы используем эту систему, мы же ведь складываем и вычитаем. Правильно? Это же ведь не 12 палочек и не 7 палочек, чтобы мы загибали пальцы. А это $10 + 2$. Так и пишем "XII". И вот мы в экспериментах создали такую ситуацию, когда муравьи были вынуждены использовать вот эту самую римскую систему, как мы думаем. Мы же при этом просто измеряли время, затраченное на передачу информации муравьями. Но, как это делалось, попробую объяснить очень грубо. Это как раз базируется на теории Шеннона, на частоте, вот в языке частота, с которой используется слово, и длина этого слова, связаны. Чем чаще слово используется, тем оно короче. Ну вот, допустим, там местоимения, междометия.

А.Г. Предлоги.

Б.Р. Да, предлоги. Для этого, по-видимому, изобретают и профессиональные жаргоны. Вот, скажем, даже в официальных бумагах не говорят, допустим, правительство Соединенных Штатов Америки, а говорят "Белый Дом", просто для того чтобы было короче, поскольку это часто повторяется.

И у нас, оказывается, значит, что делалось. Выбирались две ветки, в одной серии опытов, то есть в один год это были ветка № 10 и ветка № 20. В течение первых двух-трех недель кормушку устанавливали на разных ветках, так же случайно, как и в более ранних опытах. То есть с равной вероятностью для каждой из веток. На второй стадии опыта, которая длилась несколько недель, мы вот что сделали. На двух "специальных" ветках, которые внешне, конечно, ничем не выделялись, пища появлялась гораздо чаще, чем на любой из остальных. Это было так организовано, что вероятность появления пищи на ветке 10 или на ветке 20 равна $1/3$, для каждой из остальных эта вероятность $1/84$. И муравьи, по-видимому, "придумали" короткие названия для этих веток. Почему по-видимому? Потому что время передачи информации резко сократилось. Когда была кормушка на десятой ветке, они затрачивали много меньше времени, чем когда она была на любой другой ветке – ну, или по сравнению с первоначальными экспериментами, когда вероятность появления корма была одинаково мала для каждой из веток.

То есть как бы муравьи стали "говорить" коротко. А самое интересное – это третий этап, снова стали устанавливать с равной вероятностью кормушки. И вот когда кормушка оказывалась, допустим, случайно на 11-й веточке, то они затрачивали такое же время, грубо говоря, как примерно, раньше в первоначальных, в старых экспериментах они затрачивали на $10 + 1$, то есть на 10 и 1, но время было примерно то же самое. Причем, это все статистически достоверно. То есть, ну вот как и мы здесь, когда писали римские цифры на доске. Или когда было там 13, то тоже было $10 + 3$, или там, скажем, 19, $20 - 1$. То есть та же самая идея, мы задавали, изменяли частоты, и измеряли время. И оказалось, таким образом, что они умеют складывать и вычитать. Хотя и в очень скромных пределах. Вот.

А.Г. Феноменально. А качество и количество корма во всех экспериментах было одинаковым?

Ж.Р. Одинаково. То есть это всегда концентрированный сахарный сироп и всегда количество корма, которое необходимо добыть в этот день, для того чтобы [семья](#) не умерла с голоду. Это жестокие в зоологическом плане эксперименты, поскольку здесь на самом деле лабораторная [семья](#) муравьев как бы ставится на грань выживания. Их кормят раз в три дня, всегда одной и той же этой пищей, и если они не добывают это количество пищи, то начинают просто погибать у нас на арене.

А.Г. Жестокий эксперимент. Я почему задаю это вопрос? Влияет ли количество и качество пищи на время передачи информации? И вообще, если разведчик находит пищу, которой явно недостаточно для того, чтобы прокормить [семью](#), он сообщает об этом или нет?

Ж.Р. Ну, по аналогии с [пчелами](#) можно было бы предположить, что, наверное, влияет и, как видно, не будет. Но дело в том, что вот такие эксперименты, они как бы, с одной стороны, малобюджетнозатратные, но они требуют очень большого количества человеческого времени и очень высокой квалификации. Почему их на Западе сейчас повторяют только на уровне одной развилки. Вот в 91 году на первом докладе, так сказать, первом западном докладе это услышали, сразу же, кстати, описали в журнале "Вайлд лайф", и вот прошло уже больше 10 лет, я встретила своего коллегу, и он приехал с бинарным деревом с одной развилкой, и, между прочим, без ссылки. Ну, это другой вопрос.

Б.Р. С докладом.

Ж.Р. Да, с докладом об опытах с одной развилкой. Я просто хочу сказать, что эти вопросы, они на самом деле очень интересные. Вот, зависит ли от качества и количества корма? Теоретически, наверное, можно сказать, что да, наверное, зависит. Может быть, зависит не на количественном, а буквально на качественном уровне, или будет передавать, или не будет передавать. Но просто при опытах уже вот последних, о которых Борис рассказывал, там даже бывали просто целые пустые сезоны. То есть вот ведешь, ведешь, ведешь эти эксперименты, и потом в итоге оказывается, что статистики недостаточно для того, чтобы все-таки это обосновать, и приходится следующий сезон этот эксперимент начинать с самого начала опять. Поэтому мы решили все-таки не отвлекаться на ответы на эти вопросы пока, чтобы все-таки сначала разобраться, как же у них это всё происходит. Хотя, конечно, вопросы вполне логичные.

Б.Р. По-видимому, все-таки Дарвин был прав, и те, кто считал, что животные близки человеку, точнее, что нет огромной пропасти между [интеллектом](#) человека и окружающими нас животными, включая муравьев.

А.Г. Да, но вопрос о детерминизме остается всё-таки открытым. То есть этот язык у них врожденный, и является ли он врожденным у человека тоже? Или все-таки это научаемость? Поскольку одна из программ рассказала мне о том, что есть некий ген памяти и ген научаемости, который общий у нас и у муравьев. И работает он так же, активируя огромное количество генов в определенных областях нервной системы.

Ж.Р. Для меня, наверное, один из самых интересных вопросов, это вопрос о детерминизме сложного поведения. И сейчас мы как раз работаем над этим с моими аспирантами. Но что я могу предварительно сказать, это то, что основная как бы матрица вот эта сложная, сложного языка у муравьев, по-видимому, является врожденной, но существуют очень большие психофизиологические различия особей в этой [семье](#), разведчики, по-видимому, способны на гораздо большее разнообразие действий и обучаются гораздо быстрее.

А.Г. Разные разведчики способны тоже на разное.

Ж.Р. Да, разные разведчики тоже способны по-разному, и эта матрица, по всей видимости, реализуется по-разному у разных членов [семьи](#), и оставляет ещё при этом достаточно большой зазор для обучения и для как бы доводки этой языковой системы при необходимости, что, в общем-то, и показали наши эксперименты, поскольку в природе муравьи не поставлены, так сказать, перед необходимостью использовать столь сложную систему передачи информации каждый раз. Они всегда стараются обойтись как можно более простой системой.

А.Г. Спасибо. Фантастика.

Материалы к программе

В основу дискуссии должны быть положены опыты с бинарным деревом. Счет и особенно арифметические способности трудны при объяснении схемы опытов, по крайней мере, начинать надо не с них, а с применения идей теории информации к изучению коммуникации, то есть с нового методологического подхода, который и позволил открыть муравьиный «язык». Эти опыты кратко изложены в книге Ж.И.Резниковой «[Интеллект и язык. Животные и человек в зеркале эксперимента](#)» (М.: Наука, 2000). Ниже то, что касается этих экспериментов.

Теоретико-информационный подход к исследованию языка животных. Суть этого подхода в том, что в экспериментах испытуемым животным предлагается передать заранее известное экспериментатору количество информации, и при этом измеряется время, затраченное на ее передачу, т.е. оценивается скорость передачи информации. Мы исходим из того, что кроме таких свойств языка, как продуктивность, символичность, перемещаемость, язык должен обладать еще одним - размер сообщения должен быть пропорционален количеству информации в нем.

Поясним это требование. После введенного К.Шенноном в конце 40-х годов строгого понятия «количество информации» были исследованы многие естественные языки человека и обнаружено, что во всех этих языках длина сообщения пропорциональна количеству информации, в нем содержащейся. Это означает, что на двух страницах книги можно разместить в два раза больше сведений, чем на одной.

Что же такое информация по Шеннону? В опыте «орел или решка» возможны два равновероятных исхода: подброшенная монета падает вверх либо гербом, либо цифрой. Если кто-нибудь сообщит нам результат такого опыта, он передаст 1 бит информации (бит - единица измерения информации). Вообще, если опыт имеет n равновероятных исходов и нам сообщают его результат, то мы получаем $\log_2 n$ битов информации.

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 как средство передачи информации - конкретной, количественно измеримой величины.

Объектом исследования служили муравьи - чрезвычайно удобный объект для исследования социального поведения.

В описываемых опытах муравьи могли получить пищу лишь в том случае, если они передавали друг другу заданное экспериментатором количество информации. Когда муравьи дистанционным путем должны были передать информацию об одной из 120 «веток», они передавали $\log 120 = 7$ битов информации.

В новой серии опытов муравьям предлагали пищу в специальном лабиринте, названном «бинарным деревом». В простейшем случае он состоял из одной развилки, в вершинах которой находились кормушки: одна пустая, другая - с сиропом. Чтобы найти ее, муравьи должны были сообщить друг другу сведения «иди налево» или «иди направо», т.е. 1 бит информации. Максимальное число развилки в опытах доходило до 6, и только в вершине одной из них находилась кормушка с сиропом, остальные были пустыми. В таких опытах муравьи могли быстро отыскать корм, если получали сведения о последовательности поворотов типа «ЛПЛППЛ» (налево, направо и т.п.). При 6 развилках в лабиринте им необходимо было передать 6 битов информации. В опытах исключали использование муравьями пахучего следа. Чтобы знать муравьев «в лицо», их метили индивидуальными цветными метками.

Оказалось, что при решении сложных задач среди муравьев выделяются постоянные по составу рабочие группы, состоящие из одного разведчика и 4-7 фуражиров. В каждом опыте измерялась общая длительность контактов разведчиков с фуражирами в гнезде после возвращения туда разведчиков, обнаруживших пищу. При этом фуражиры вынуждены действовать самостоятельно: разведчика изымали пинцетом и временно отсаживали в баночку.

В опытах с бинарным деревом количество информации (в битах), необходимое для выбора правильного пути в лабиринте, равно числу развилки. Оказалось, что у трех видов муравьев с групповой организацией доставки пищи зависимость между временем контакта разведчика с фуражирами и количеством передаваемой информации (числом развилки) близка к линейной, и описывается уравнением $t = ai + b$, где t - время контакта, a - коэффициент пропорциональности, равный скорости передачи информации (число битов в минуту), а b - постоянная, введенная потому, что муравьи могут передавать информацию, не имеющую прямого отношения к поставленной задаче, например, сигнализировать «есть пища». Отметим сразу, что скорость передачи информации у муравьев по крайней мере в 10 раз ниже, чем у человека - около 1 бит в минуту.

Одной из важнейших характеристик языка и интеллекта его носителей следует считать 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 больше в них закономерностей. 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 «ЛЛЛПППЛЛП». Оказалось, что язык муравьев и их интеллект позволяют им использовать простые закономерности «текста» для его сжатия (здесь «текст» - последовательность поворотов на пути к кормушке).

Здесь, пожалуй, уместно вернуться к человеку и вспомнить, что нейрофизиологи считают одной из основных функций речи так называемое когнитивное сжатие - то, что помогает

расчленять окружающий мир, сводить с помощью языка множество понятий в одном символе. Конечно, в данном случае это не более чем аналогия.

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.

Последующие опыты, построенные по тому же принципу, но с несколько измененной методикой, в которых муравьи должны были передавать сведения о номере планочки с приманкой (экспериментальная установка напоминала длинную гребенку, установленную в разных вариантах вертикально, горизонтально или замкнутую в круг) выявили у муравьев даже некую систему счисления, сходную с архаичными системами счисления у человека. В последние годы была разработана и проведена серия экспериментов, позволивших исследовать способность муравьев к сложению и вычитанию.

Видимо, такую развитую коммуникативную систему вполне можно назвать «языком». Заметим только, что среди огромного числа видов муравьев подавляющее большинство не нуждается в развитом языке. Многие виды в естественных условиях действуют как одиночные [фуражиры](#): небольшая часть [семьи](#) ведет активный поиск добычи на кормовом участке, справляясь со всеми задачами в одиночку или взаимодействуя через подражание. Другая, довольно большая группа видов, использует пахучий след, с помощью которого немногочисленные разведчики мобилизуют на поиск пищи массу пассивных [фуражиров](#). Лишь немногие муравьиные «приматы» достигли высшего уровня социальной организации и максимально возможного для этой группы биологического прогресса. Только представители этих видов продемонстрировали в наших опытах «языковые» способности. Муравьи других видов старались привлечь [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 особенностей поведения и размеров объектов исследования.

Из статьи Ж.И.Резниковой и Б.Я.Рябко «Экспериментальные исследования способности муравьев к сложению и вычитанию небольших чисел» (Журн. высш. нервн. деят. 1999. Т.49. Вып.1).

В экспериментах с установкой в виде горизонтального «ствола» с «ветками», муравьи для получения пищи должны были передавать друг другу сведения о номере одной из 40 «веток» с кормушкой. Однако на двух заранее выбранных ветках кормушка появлялась значительно чаще, чем на остальных. Оказалось, что муравьи, во-первых, способны перестроить свою систему коммуникации при необходимости согласования продолжительности сообщений с частотой их встречаемости, и, во-вторых, прибавлять и вычитать небольшие числа при передаче сообщений о номере кормушки.

Вопрос о том, в какой мере рассудочная деятельность животных опирается на количественные оценки различных объектов и их признаков, давно интересовал исследователей. В последние годы в этом плане наметилась интересная тенденция

сближения когнитивных возможностей представителей различных филогенетических ветвей. Так, долгое время считалось, что истинный счет, основанный на использовании символьных систем исчисления, может быть присущ только человеку. Однако в опытах с шимпанзе и попугаем было показано, что животным доступны некоторые элементы истинного счета, в том числе способность к использованию символов для обозначения числа элементов в небольших множествах. Врановые оказались способны к переносу сформированного обобщения на новый диапазон ранее никогда не предъявлявшихся множеств, содержащих до 20 элементов. По мнению авторов, это не является пределом для птиц, хотя до сих пор способность к восприятию и достаточно точной оценке таких больших одновременно предъявленных множеств не была известна у животных.

Такая деятельность требует высокого уровня абстрагирования, что само по себе оказалось возможным не только для позвоночных животных, но и для [насекомых](#). Известно, что общественные перепончатокрылые способны к элементам абстрагирования и экстраполяции, обладают индивидуальной иерархией и лабильной системой коммуникации. **Новый экспериментальный подход к исследованию рассудочной деятельности и коммуникации животных, основанный на идеях и методах теории информации, позволил выяснить, что муравьи из всех высоко социальных видов обладают развитым символическим языком, причем языком более сложным, чем язык танцев медоносной [пчелы](#); при этом они способны улавливать закономерности и использовать их для увеличения скорости передачи информации.**

В последние годы нами было выяснено, что в процессе передачи информации об источнике пищи муравьи способны оценивать число объектов в пределах нескольких десятков и передавать эти сведения друг другу для получения пищи. Поскольку описываемые в данной работе опыты проводились на той же экспериментальной установке, а новую схему опытов трудно изложить вне результатов, полученных ранее, мы приводим здесь краткое описание предшествующего этапа экспериментов.

В опытах 1984-1992 гг. экспериментальная установка имела вид «ствола» с разным числом «веток» (до 60), длиной по 10 см, на каждой из которых находилась кормушка, но только одна из них содержала сироп, а остальные - воду. В лабораторных [семьях](#) рыжих лесных муравьев *Formica polyctena* в разные годы в экспериментах участвовало в общей сложности 32 рабочих группы муравьев, состоящие из разведчика и [фуражиров](#), использующих передаваемую информацию. Разведчика специально подсаживали на ветку с приманкой. После того, как он возвращался в гнездо и контактировал с [фуражирами](#), его изолировали, и группа находила приманку самостоятельно, причем использование пахучего следа исключалось. Всего 152 раза группы [фуражиров](#) выходили из гнезда после контакта с разведчиком и направлялись к кормушкам. При этом в 117 случаях группа [фуражиров](#) сразу приходила к нужной «ветке», не совершая ошибочных заходов к пустым кормушкам. Для всех установок, имеющих различную форму и ориентацию, а также различную длину «веток» и разное расстояние между ними, зависимость времени передачи информации t от номера "ветки" i одинаково хорошо описывается эмпирическим уравнением вида $t = a \cdot i + b$. При этом значения параметров a и b близки для всех вариантов и не зависят от характеристик установок. Это позволило полагать, что муравьи передают сведения о номере «ветки».

Другими словами, оказалось что время «произнесения» муравьями числа 20 примерно в 2 раза больше, чем числа 10, и в 10 раз больше, чем числа 2. В современных языках человека ситуация совсем иная. Длина записи (и произнесения) числа i в десятичной системе счисления примерно пропорциональна $\log i$. Но люди не всегда использовали десятичную систему счисления. Известно, что в некоторых архаичных языках

использовалось представление чисел, при котором время записи (и произнесения) числа было пропорционально его длине (как у муравьев). Так, числу 1 соответствовало слово «палец», числу два - «палец, палец», числу три - «палец, палец, палец» и т.д., а десятичная система счисления появилась в результате длительного и сложного развития. Однако это сравнение еще не говорит о примитивности муравьиного «языка». Дело в том, что в «оптимальном» языке длина слова должна быть согласована с частотой его использования. Именно на этом свойстве основана схема наших последних экспериментов.

В данной работе исследуется способность муравьев к использованию простейших арифметических операций. Идея экспериментов основана на том, что у муравьев формируется «система счисления», напоминающая использование римских цифр. При представлении чисел, присущем современным языкам человека, использование числительных требует некоторых арифметических операций. Особенно отчетливо это видно при использовании римских цифр. Например, $VI = V + I$, $IX = X - I$, и т.д. Мы сознательно вырабатывали у муравьев систему счисления, напоминающую «римский» способ представления чисел, что заставляло их складывать и вычитать. Для этого мы варьировали частоту появления приманки на разных ветках, так, чтобы муравьи-разведчики усвоили, что на одной или двух «особых» ветках пища появляется значительно чаще, чем на остальных. **Вначале было выяснено, что система коммуникации муравьев достаточно пластична: они могут, по-видимому, присвоить некое «имя» такой особой «ветке» и тем самым уменьшить продолжительность часто встречающегося сообщения. Анализ времени передачи сообщений на последних этапах эксперимента позволил предположить, что сообщения разведчика состояли из двух частей: информация о том, к какой из особых веток ближе находится ветка с кормушкой, и затем - расстояние от особой ветки до ветки с кормушкой.**

Иными словами, муравьи, видимо, передавали «имя» особой ветки, ближайшей к кормушке, а потом - число, которое надо прибавить или отнять для нахождения ветки с кормушкой.

Методика

Эксперименты проводили в 1992 - 1995 гг., после апробации методики в 1991 г. Для исследований были выбраны муравьи *Formica polyctena*, отличающиеся высоким уровнем социальной организации. В разные годы использовалось 5 лабораторных семей этого вида, взятые из муравейников лесопарковой зоны Новосибирского Академгородка. Лабораторная семья численностью около 2 тысяч особей помещалась на арену площадью 2 м², в прозрачном гнезде (10 x 20 см), позволявшем учитывать контакты между ними. Арена была разделена на две части - меньшую, жилую, где располагалось гнездо, и большую, рабочую, где помещалась лабораторная установка. На рабочую часть вел мостик, который можно было убрать для того, чтобы заменить установку или изолировать муравьев. Все муравьи, участвовавшие в опыте, были помечены индивидуальными метками, с помощью цветных точек нитрокраски, нанесенных на разные части тела. Муравьи получали пищу раз в 3 дня и только на экспериментальной установке, которая имела вид горизонтально расположенного «ствола» с 40 «ветками» длиной по 10 см, на каждой из которых находилась кормушка, но только одна из них содержала сироп, а остальные - воду. В начальную точку «ствола» муравьи попадали по специальному

мостику. Для получения пищи муравьям было необходимо передавать сведения о номере ветки с кормушкой.

В более ранних экспериментах мы выяснили, что у муравьев исследуемого вида при необходимости группового решения сложных задач фуражировочная деятельность организована следующим образом: действуют постоянные по составу группы (4-8 особей), в каждой из которых поиском пищи занят один разведчик. Обнаружив пищу, он сообщает о ней только своей группе фуражиров. Во всех опытах мы специально подсаживали разведчика на «ветку» с пищей. Самостоятельно возвратившись в гнездо, разведчик иногда сразу начинал контактировать с членами своей группы. После контакта вся группа выходила из гнезда и двигалась по направлению к установке. В этом случае мы изымали разведчика пинцетом и временно изолировали, заставляя тем самым группу фуражиров отыскивать пищу самостоятельно. Но чаще после ознакомления с местонахождением пищи разведчик возвращался к кормушке один: иногда он ошибался и находил пищу после посещения нескольких пустых кормушек. Число одиночных рейсов разведчика могло достигать четырех, прежде чем он выводил свою группу. Во всех случаях мы фиксировали время контакта с фуражирами в гнезде. Началом контакта считалось прикосновение к первому муравью, окончанием - выход из гнезда первых двух фуражиров. Для расчетов использовали время последнего контакта разведчика с фуражирами, после которого группа выходила из гнезда за пищей. Как правило, предварительные контакты были короткими (около 5 сек.) и сопровождалась обменом пищей.

Для того чтобы исключить гипотетически возможное использование пахучего следа, а также запаха самого сахарного сиропа, установка заменялась на тождественную в то время, когда разведчик находился в гнезде и контактировал с фуражирами. При этом на замененной установке все кормушки были без сиропа. Если группа сразу совершала правильный выбор, на "ветку" быстро помещалась кормушка с сиропом, т.е. муравьи сразу получали вознаграждение за правильно переданную и усвоенную информацию. Если часть муравьев (более одного) совершала ошибку, выбор группы в целом считался ошибочным. Опыт с этой группой в этот день заканчивался. В ходе эксперимента кормушка помещалась на разные ветки - от первой до тридцатой. Пока длился сеанс с одной группой, фуражиры и разведчики из остальных групп на установку не допускались.

Результаты исследований

1. Пластичность «системы счисления» у муравьев.

Идея данной серии экспериментов основана на том теоретико-информационном факте, что в «оптимальных» системах коммуникации время передачи сообщения (t) и частота его встречаемости (P) связаны соотношением $t = -\log P$ (в качестве сообщения можно рассматривать букву, слово, фразу и т.п.). Это соотношение проявляется, в частности, в том, что в естественных языках человека при возрастании частоты использования какого-либо сообщения длина кодирующей его фразы (или слова) уменьшается (например, даже в официальных документах вместо «правительство Российской Федерации» часто используют слово «Кремль»). В значительной степени этой же цели служат слова профессиональных жаргонов, аббревиатуры, местоимения и т.п.

В описываемых ниже опытах специально создавалась ситуация, когда частота использования одних чисел была существенно больше, чем других. При этом проверялась

способность муравьев изменять длину сообщения в зависимости от частоты его встречаемости. Опыты проводились в 1992 - 1995 гг. на 4 [семьях F. polyctena](#) (данные 1992 г. носят предварительный характер, так как не содержат достаточно повторностей для статистического анализа). Использовалась лабораторная установка «горизонтальный ствол», с 40 «ветками», но приманка помещалась только на ветки 1-30.

Рассмотрим связь между временем, затрачиваемым муравьями-разведчиками на передачу сведений о ветке с кормушкой, и номера этой ветки. На первой стадии эксперимента эта зависимость близка к линейной (коэффициент корреляции, характеризующий силу связи, равен 0.95 в 1993 и 0.96 в 1994). На третьей стадии картина иная: время, затрачиваемое муравьями на передачу информации, во-первых, резко уменьшилось, и, во-вторых, зависимость между временем передачи информации и номером ветки нелинейная - на графике заметны понижения в окрестностях «специальных» точек (10 и 20 в 1993 г.). В 1995 г. мы использовали только одну специальную точку, А («ветка» № 15).

На первой и на третьей стадиях эксперимента пища появлялась на ветках с равной вероятностью (1/30). На второй стадии на ветке № 15 пища появлялась с вероятностью 1/2, и с вероятностью 1/58 - на любой из остальных 29 веток.

На первой стадии зависимость между временем передачи информации и номером ветки близка к линейной, тогда как на третьей стадии время резко сократилось, особенно для «специальной» ветки № 15 и близких к ней.

Таким образом, картина зависимости между временем передачи информации о ветке и ее номером, совершенно различна на первой и на третьей стадии эксперимента, хотя условия их проведения одинаковы. Это позволяет предположить, что муравьи изменили в своей системе коммуникации способ передачи информации о номере ветки. Более того, можно видеть, что в окрестностях «специальных» веток время, затраченное муравьями-разведчиками на контакт с [фуражирами](#), в среднем, тем короче, чем ближе ветка с кормушкой находится к «специальной». Например, в 1993 г. на первой стадии эксперимента муравьи затрачивали 70-82 сек., чтобы передать информацию о том, что кормушка находится на ветке № 11, и 8-12 сек. на то, чтобы передать сведения о ветке №1. На третьей стадии контакт разведчика с [фуражирами](#) после его возвращения с ветки № 11, занимал 5-12 сек.

Рассмотрим кратко поведение муравьев на 2-м этапе, когда они формировали новый способ «представления чисел». В 1992-1994 гг. на второй стадии эксперимента, в течение 40-50 опытов (то есть с 12-го по 15-й дни эксперимента) разведчики, вернувшиеся со «специальных» веток затрачивали на контакт с [фуражирами](#) в среднем столько же времени, сколько и на первой стадии (например, в 1994 г., когда приманка была на ветке № 10 («А»), это время составляло 62-80 сек., а когда на ветке № 19 («В»), - 100-120 сек. Затем наступал такой период, когда муравьи, вернувшись со «специальных» веток, посвящали контактам с [фуражирами](#) исключительно длительное время: 200-350 сек., а в отдельных случаях до 500 сек. После таких контактов наблюдалась массовая неспецифическая [активация фуражиров](#) на арене, но при этом только «информированная» группа направлялась к мостику, ведущему на рабочую часть арены. Такие периоды занимали по 2 экспериментальных дня в 1992 и в 1994 г. и 4 дня в 1993 г. В 1995 г. мы не наблюдали такого явления, что, возможно, было связано с тем, что использовалась лишь одна «специальная» ветка. После таких периодов время контакта разведчика с [фуражирами](#) резко сокращалось, что и было зафиксировано на третьей стадии всех экспериментов.

Способность муравьев к простейшим арифметическим операциям.

Анализ изменения длительности передачи информации муравьями в разных ситуациях позволяет предположить, что на третьей стадии эксперимента «сообщения» разведчиков состояли из двух частей: информация о том, к какой из «специальных» веток ближе всего находится ветка с приманкой, - и о расстоянии от ветки с пищей до ближайшей «специальной» ветки. Иными словами, они могли передавать «номер» «специальной» ветки и затем число, которое нужно прибавить или отнять, чтобы найти нужную ветку.

Для того чтобы проверить эту гипотезу, можно подсчитать коэффициент корреляции между временем передачи информации о том, что приманка находится на ветке i , и расстоянием от i до ближайшей «специальной» ветки.

Видно, что коэффициенты корреляции между временем передачи информации о ветке с приманкой и расстоянием от этой ветки до ближайшей «специальной», имеют высокие положительные значения, достоверно отличающиеся от нуля (при уровне достоверности 0.99). Это подтверждает гипотезу о том, что время передачи сообщения о номере ветки тем меньше, чем ближе эта ветка к ближайшей «специальной». Высокие значения коэффициента корреляции показывают, что эта зависимость близка к линейной. Это, в свою очередь, подтверждает предположение о том, что на третьей стадии эксперимента муравьи использовали «систему счисления», близкую к Римской системе, а числа 10 и 20, 10 и 19 в разных сериях экспериментов, играли роль сходную с ролью римских цифр V и X. В 1995 г. картина сходная, но «специальная» ветка только одна - № 15. Таким образом, можно полагать, что в описанных экспериментах муравьи для сокращения времени передачи сообщений о номере ветки с кормушкой могут прибавлять и отнимать небольшие числа.

Приложение

Из книги Ж.И.Резниковой «[Интеллект](#) и язык. Животные и человек в зеркале эксперимента» (М.: Наука, 2000).

Большинство исследователей считают, что наличие языка - это уникальное свойство человека. По выражению Д. Деннета, животные могут делать все то же, что и человек, кроме одного: использовать язык, чтобы рассказать о результатах своей деятельности или чтобы поставить вопрос. Даже если представить себе животных-«рассказчиков», то, по мнению К. Мак Глинна, их рассказ не мог бы выйти за рамки так называемой ограниченности познания (cognitive closure): [пауки](#) не могут рассуждать об ужении рыбы, а цапли - о демократии.

Все же, поскольку существует тенденция определять язык как исключительную привилегию людей, это вносит в исследования определенные предубеждения. Существует так много определений языка, что только их перечислению посвящена книга известного психолингвиста Н. Хомски «Язык и сознание». В последние 30 лет именно изучение «языковых способностей» и «языкового поведения» животных открыло совершенно новые перспективы для познания их высших психических функций, таких как использование символов, категорий, и даже способностей скрывать свои «мысли» и «намерения».

Для развития речи, видимо, необходимо умение заранее представлять и различать свои действия, создавать и классифицировать мысленные представления о предметах,

событиях и связях. Здесь уместно заметить, что в последние годы существует тенденция объединять чтение и письмо в единую часть коммуникативной системы человека. Однако овладение этими процессами существенно отличается от овладения речью. У многих современных примитивных народов чтение и письмо отсутствуют, как это было и 100 тыс. лет назад - заметим, что тогда мозг человека в целом уже сформировался как мозг вида *Homo sapiens*.

Язык использует символы, но символичны и некоторые аспекты коммуникации у [пчел](#). Язык люди осваивают в течение специфического чувствительного периода развития, но то же самое наблюдается у некоторых птиц, научающихся песне своего вида. С помощью языка можно передавать информацию не только о сиюминутных ситуациях, но и о таких, которые оказываются удаленными и во времени и в пространстве. Но некоторые сигналы тревоги у животных обладают теми же свойствами.

Попытки прямой расшифровки языка животных. Многие исследователи, интуитивно чувствуя, что социальным животным есть что сказать друг другу, делали попытки составить что-то вроде словарей, то есть расшифровать их сигналы. Однако пока можно считать, что успешно расшифрованы сигналы только двух, совершенно далеких друг от друга, видов животных.

«Язык танцев» медоносной [пчелы](#). Самым выдающимся достижением в этой области, видимо, можно считать открытие символического «языка танцев» медоносной [пчелы](#) К. фон Фришем (1923), уже известным к тому времени своим исследованием цветового зрения [пчел](#), начатого им в 1912 г. Сам факт способности [пчел](#) передавать информацию о месте массового цветения был зафиксирован еще в 1788 году Шпитцнером, но носил характер предположения. Дело в том, что способность к передаче информации абстрактного характера - так называемое дистанционное наведение - видимо, является у животных редчайшей. Она описана для дельфинов (Evans, Bastian, 1969), шимпанзе (Menzel, 1974), муравьев (Резникова, 1985), однако во всех случаях изучение этого явления требует организации тщательных экспериментов.

Фон Фриш впервые исследовал явление дистанционного наведения у [пчел](#) именно как «язык». 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](#). Он выделил два типа танца: круговой и виляющий.

Оказалось, что виляющие танцы, которые исполняют [пчелы](#)-разведчицы по возвращении от источников пищи, находящихся на разном расстоянии и в различных направлениях от улья, отличаются друг от друга. [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 машет крыльями и издает “[феромон](#) привлечения”. Но это происходит только в том случае, если обнаружен действительно ценный источник пищи. Эту 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](#). Разведчица приносит в улей следы пахучего вещества с цветов, которые она посетила. Другие рабочие [пчелы](#) собираются толпой вокруг танцующей [пчелы](#) и запоминают этот запах, чтобы потом использовать память об этом запахе, когда они окажутся вблизи того места, где находится пища.

В более поздних исследованиях фон Фриша было выяснено, что расстояние до источника корма коррелирует с 11 параметрами танца, например, с его продолжительностью, темпом, количеством виляний брюшком, с длительностью звуковых сигналов. Ученики и последователи фон Фриша выявили много новых фактов, касающихся коммуникации у [пчел](#), и не только у медоносных.

Танец медоносной [пчелы](#) во многих отношениях является символическим. Так, точное соотношение между скоростью виляющего танца и расстоянием до нужного [пчелам](#) места определяется местными «договоренностями». По-видимому, 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 итальянской - и всего 5 м у [пчелы](#) из Египта. Если все [пчелы](#) в [семье](#) придерживаются данной договоренности, не имеет значения к какому именно расстоянию соответствует элемент их танца. 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 [пчела](#) - разведчица сохраняет психический образ траектории движения солнца и в соответствии с этим корректирует свой танец. Кроме того, [пчелиный](#) танец является, хотя и в ограниченном плане, но открытой системой, то есть обладает продуктивностью. Так, М.Линдауэр показал, что танец используют не только «разведчицы» при поисках пищи, но и «квартирмейстеры» при указании подходящего места для жилья во время роения. Многим, наверное, знакома неприятная для [пчеловодов](#) картина висящего роя, «клубка» [пчел](#), которые собираются переселяться на новое место. «Квартирмейстеры» танцуют прямо на поверхности такого роя, причем [пчелы](#)-наблюдательницы, а также менее удачливые разведчицы, осуществляют выбор оптимального жилища, пользуясь какими-то компонентами танца, которые так и остались невыясненными. Кроме того, [пчелы](#) используют танец для того, чтобы направить членов [семьи](#) к воде или к прополису (особым древесным выделениям, используемым для замазывания отверстий в улье), а также, возможно, и для передачи других сообщений.

Таким образом, по выражению О. Меннинга, «...мир вынужден признать, что передавать информацию в символической форме может не только человек - это способно сделать такое скромное создание, как [пчела](#)».

Однако открытие Фриша было признано отнюдь не безоговорочно. Хотя его первые работы, посвященные языку танцев были опубликованы в 1923 году, бурная дискуссия, растянувшаяся более чем на 20 лет, разгорелась в 50-е годы. Основные вопросы были связаны с тем, действительно ли [пчелы](#) передают информацию с помощью системы дистанционного наведения, включающей абстрактные символы, или они могут мобилизовать сборщиц при помощи запаха, оставляя следы 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 человека.

Первые попытки изготовить механическую [пчелу](#) не были успешными. Модель, которую использовал Г.Эш (1964) представляла собой покрытый воском микрофончик, который вибрировал и издавал звуки, Гоулд (1976) экспериментировал с движущейся и вибрирующей парализованной [пчелой](#), а Н.Г.Лопатина (1971) и И.Левченко (1976) - с моделью из полистролла. Во всех этих случаях [пчелы](#) в улье проявляли большой интерес к искусственной [пчеле](#), но мобилизации на источник корма не получалось.

Может быть, не случайно родиной первой действующей механической [пчелы](#) стал город Оденсе, родина Ганса Христиана Андерсена, под пером которого родился механический соловей. В 90-е годы инженер Бент Бах Андерсен воплотил замысел А.Михельсена, и, наконец, [пчелы](#) полетели из улья на поляну, руководствуясь только указаниями [пчелы](#) - робота, которая сама на этой поляне никогда не была.

В отличие от обычного улья, в котором всегда темно, лабораторный улей выглядит как большая “книга” с двумя прозрачными обложками”, освещенная красным светом, которого [насекомые](#) не боятся. [Пчела](#)-робот сделана из латуни и покрыта тонким слоем воска. В длину она такая же как обычная [пчела](#) (13мм), но значительно толще. 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 - тмин, 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 Фриша, показали, что без “инструкций”, полученных от танцовщицы, [пчелы](#) не могут отыскать ароматизированную кормушку, находящуюся от улья на тех расстояниях, которые испытывались в опытах.

В экспериментах Михельсена в одной серии опытов проверялось, как [пчелы](#) используют полученную от робота информацию о расстоянии до кормушки, а в другой - о направлении. В первом случае контейнеры располагались на расстоянии 100, 250, 500, 750, 1000, 1250 и 1500 м. Если модель “передавала информацию” о расстоянии в 1500 м, на контейнеры, расположенные в 1000 и в 1500 м от улья прилетали соответственно 20 и 36% [пчел](#), вылетевших из улья, тогда как в случае “передачи информации” о расстоянии в 250 м туда прилетало 4% и 7 % [пчел](#). Во второй серии опытов 8 контейнеров были равномерно распределены на расстоянии 370 м от улья. [Пчелам](#) было “сказано” лететь на расстояние 370 м в определенном направлении. В этих случаях в среднем 80% [пчел](#) прилетали в том направлении, которое было указано им роботом.

Расшифровка языка [пчел](#) до сих пор не завершена. Новые исследования в этой области приносят интересные результаты, но они же ставят новые и вопросы. О том, что возможности [пчелиного](#) языка еще далеко не познаны, говорят и опыты самого Фриша, в которых танцовщицы вынуждены огибать холм, но в танце указывают направление по прямой. Эту ситуацию позднее специально моделировали в экспериментах: помещали перед ульем туннель, в конце которого находилась чашечка с сиропом. Если туннель был прямой, то танец указывал нормальное направление, если туннель делал поворот под прямым углом, то направление, указанное [пчелами](#), соответствовало гипотенузе угла, а расстояние было близким к истинному. Если же туннелю придавали круглую или V - образную форму, то танцы были очень сложными и расшифровать их не удалось.

Вместе с тем есть примеры, свидетельствующие об ограниченности [пчелиного](#) языка. Так, Фриш отметил, что в этом языке нет слова “вверх” (“...цветы не растут в небесах”), и [пчелы](#) могут передавать информацию только о перемещении кормушки в горизонтальной плоскости. Он установил это в опыте, когда улей находился внизу радио-башни, а кормушка наверху. Ее показали [пчелам](#)-разведчицам, но они не смогли мобилизовать сборщиц. По мнению многих современных [этологов](#) и психолингвистов, это говорит о “закрытости” языка танцев, тогда как языки человека являются открытыми.

Почему только [пчелы](#)? «Кандидатами» на то, чтобы их «язык» был расшифрован, являются и другие [общественные насекомые](#): муравьи, которые как и [пчелы](#), являются перепончатокрылыми, а также [термиты](#), которых иногда называют «белыми муравьями», хотя это - равнокрылые [насекомые](#), и они являются близкими родственниками совсем не муравьев, а [тараканов](#). И те и другие живут в почве, но о поведении [термитов](#) исследователям известно гораздо меньше, из-за их скрытного образа жизни. Муравьи же - всесветно распространенные [общественные насекомые](#), их деятельность хорошо заметна, их легко содержать в лаборатории. Поведению этих [насекомых](#) посвящено огромное количество работ. Естественно, вопрос о способах их коммуникации давно интересовал исследователей.

Однако похоже, что природа поставила муравьев 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 обыскивать веточки в кронах деревьев.

Представим, например, повседневную задачу, с которой сталкиваются хорошо знакомые всем рыжие лесные муравьи (те, что строят в лесу большие муравейники). Для того, чтобы обеспечить [семью](#) углеводной пищей, они собирают капли сладкой [пади](#), выделяемой [тлями](#) и другими сосущими [насекомыми](#). Каждый может наблюдать сотни муравьев, устремляющихся в крону дерева (березы, например) и спешащих обратно с наполненными брюшками, которые на солнце кажутся прозрачными. Однако лишь недавно мы выяснили, что в кроне муравьи не бродят беспорядочно по всем веткам, и не отталкивают друг друга. Каждая небольшая рабочая группа использует свой листок с [колонией](#) тлей. 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 десяти тысяч видов. Как правило, взрослые муравьи нуждаются в углеводной пище, а их личинки, находящиеся в

гнезде, потребляют белковую пищу. Это может быть белок животного происхождения (например, различные приносимые в гнездо [беспозвоночные](#) животные), растительного (муравьи- жнецы собирают семена) - или даже продукт сложных ферментных превращений грибов, специально разводимых муравьями на кусочках листьев.

Среди разных видов муравьев 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 такую [семью](#), иногда нет необходимости удаляться от гнезда дальше, чем на 2-3 метра, а на таком расстоянии прекрасно действует и пахучий след. У таких муравьев разведчики, найдя пищу, мобилизуют из гнезда целую “толпу” так называемых пассивных [фуражиров](#), которые могут бежать к цели по пахучей тропе. Такой процесс называется массовой мобилизацией. Кроме массовой мобилизации, существует и такой способ привлечения других членов [семьи](#) к нужному месту как 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. Таковы, например, муравьи-бегунки.

Способы мобилизации членов муравьиной [семьи](#) на достижение цели, весьма многообразны. Вот как выглядят, например, действия пустынного муравья-жнеца рода *Messor*, который обнаружил полянку с большим количеством подходящих семян. Вернувшись в гнездо, разведчик уже находит там толпящихся у входа пассивных [фуражиров](#), которые в определенное время суток выходят из гнезда и ожидают на поверхности. Разведчик, совершив несколько кругов среди толпящихся [фуражиров](#), уходит, указывая им направление к источнику пищи. Свита пассивных [фуражиров](#) сопровождает разведчика до обнаруженного им района сбора семян.

Г.М.Длусский обобщил и систематизировал сведения, касающиеся способов передачи информации муравьями, которые обнаружили богатый источник пищи. [Мобилизация](#) им определяется как процесс, в результате которого разведчик направляет [фуражиров](#) к конкретному участку, где он нашел что-либо, достойное внимания [фуражиров](#), и выделяет следующие способы мобилизации:

1. [Мобилизация](#) танделом (один муравей приводит другого, который движется почти вплотную, касаясь ведущего антеннами; явно это не самый эффективный способ мобилизации - был один муравей, стало два).
2. [Мобилизация](#) с помощью [кинопсиса](#). [Кинопсис](#) - это реакция одних животных на возбужденные действия других. У муравьев разведчик своими возбужденными движениями привлекает внимание [фуражиров](#), они смотрят, откуда разведчик приносит добычу, а затем сами идут в этом направлении.
3. [Мобилизация](#) приводом группы: разведчик приводит к пище цепочку [фуражиров](#). Здесь муравьи используют ту же технику, что и при движении танделом, группа движется “гуськом”, касаясь друг друга, как слепцы на картине Брейгеля.
4. [Мобилизация](#) по следу: [фуражиры](#) самостоятельно отыскивают источник пищи по пахучему следу, оставленному разведчиком.

Задача исследователя, занимающегося коммуникацией муравьев, осложняется тем, что системы коммуникации у них довольно мобильны и включают как наследственные компоненты, так и составляющие, связанные с обучением. Система коммуникации, которую используют муравьи, тесно связана со способами ориентации, которые они предпочитают. В лабораторных экспериментах было показано, что одна и та же [семья](#) может использовать в темноте пахучий след, а на свету - зрительные ориентиры. При разных условиях муравьи могут предпочитать то ориентацию по пахучему следу, то по цепочке вех, то по точечному источнику света. У африканского муравья-портного выявлено пять систем мобилизации членов [семьи](#) из гнезда: [мобилизация](#) на источник пищи с использованием пахучего следа, обмена пищей и тактильных стимулов; [мобилизация](#) на новую территорию (пахучий след и удары антеннами); [мобилизация](#) на переселение, которая начинается с того, что пассивных членов [семьи](#) складывают в широко известную для муравьев “позу чемоданчика” и уносят; ближняя [мобилизация](#) на врагов (“ближний бой”), с использованием пахучего следа; дальняя [мобилизация](#) на врагов (“дальний бой”), которая обеспечивается сочетанием химических и тактильных стимулов и приводом особей в нужное место.

Если муравьи мобилизованы из гнезда на источник пищи, то интенсивность этого процесса тоже будет зависеть от многих факторов. Например, у муравьев-жнецов рода *Pogononotus* это зависит от параметров самого источника пищи (расстояние до него, количество и величина семян), а также от присутствия враждебных семей и расстояния до них. У *Monomorium venustum* разведчики, для того чтобы заставить [фуражиров](#) выйти из гнезда, устраивают довольно сложную демонстрацию, состоящую из особых движений-виляний из стороны в сторону, толчков головой, ударов усиками, судорожных пробежек. По мере иссякания источника корма демонстрация упрощается: сначала отпадает виляние, затем удары усиками и, наконец, пробежки.

Муравьи могут использовать совершенно разные способы коммуникации, если они нашли пищу на разном расстоянии от гнезда. Это было выяснено в полевых экспериментах, проведенных в степях Тувы муравьями - древоточцами *Camponotus saxatilis*. Эти крупные черные муравьи, хотя и называются древоточцами, в степях живут в подземных гнездах. Оказалось, что если разведчик нашел пищу в периферийной зоне [кормового участка](#) (10-15 м от гнезда), он не пытается привлечь к ней [фуражиров](#) и действует самостоятельно. Если пища находится на расстоянии 7-10 м, разведчик приводит к ней группы [фуражиров](#) “гуськом”. В течение одного периода суточной активности (в жаркой каменистой степи это 3-4 часа) он успевает привести 2 группы, в каждой из которых до 6 особей. Если же пища находится на расстоянии до 6-7 м от гнезда, разведчик производит массовую мобилизацию по пахучему следу, но действует при этом оригинально: оставляет след не на ровной поверхности, а метит концом брюшка отдельно стоящие травинки (как собака “метит” столбики). Такой способ оставления следа был выявлен у муравьев впервые. Для того чтобы это проверить, проводился следующий эксперимент: на прямоугольнике 2.5 x 5 м, в дальнем конце которого располагалась кормушка, была удалена вся растительность, а вместо нее густо расставлены спички. Когда разведчик возвращался от кормушки в гнездо, каждую спичку, на которую он взбирался, заменяли новой, а спички, предположительно помеченные разведчиком, расставляли в ложном направлении. Тогда активированные разведчиком [фуражиры](#), выйдя из гнезда, идут туда, куда ведут спички.

Все частные случаи способов коммуникации у муравьев весьма интересны и отражают их видовое разнообразие и разнообразие [экологических](#) условий, в которых эти [насекомые](#) решают различные поисковые задачи. Однако есть ли здесь «язык», поддающийся расшифровке, как у медоносной [пчелы](#)? Способны ли муравьи, подобно [пчелам](#), к

символической передаче абстрактной информации? Есть ли у них дистанционное наведение?

Однако до сих пор не было ни одного прямого ответа ни на один из перечисленных выше вопросов. Были высказаны лишь предположения о том, что процесс обмена информацией “про добычу и про путь” у многих видов муравьев может быть связан с тактильным, или антеннальным, кодом: 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](#). В 1899 г. немецкий зоолог Е. Васманн предложил гипотезу антеннального кода - своеобразного языка жестов, основанного на быстрых движениях антенн муравьев.

Были основания полагать, что антеннальный код является одним из путей дистанционного наведения у муравьев. Наблюдения за мобилизацией у тропических муравьев *Eciton hamatum* показали, что разведчик использует тактильные контакты для того, чтобы направить [фуражиров](#) к новому источнику пищи по меченой им тропе. С.И.Забелин (1979) в лабораторных опытах показал, что у муравья рода *Taripoma* использование антеннальных контактов облегчает выбор правильного пахучего следа, ведущего к пище.

Первые попытки расшифровать антеннальный код муравьев принадлежат П.И.Мариновскому (1958), который описал и зарисовал 14 отдельных сигналов, дав им поведенческое обоснование. Он попытался выделить “слова”, такие как “прошу дать поесть”, “тревога” и т.п. Развитие техники кино съемки привело к появлению большого количества работ, главным образом, французских и немецких исследователей, посвященных исследованиям антеннального кода. Начало им было положено детальными исследованиями движений антенн, щупиков и ног и организацией последовательностей таких движений во время [трофаллаксиса](#) у [пчел](#) и [ос](#), когда исследователи применяли модели головы [насекомого](#) с нанесенным запахом и вибрирующими антеннами. Эти ранние аналоги [пчелы](#)-робота имеют лишь исторический интерес, так как заметных результатов они не дали. Впоследствии было установлено, что развитие и становление последовательности движений антенн, щупиков и ног при [трофаллаксите](#) происходит у муравьев постепенно после выхода из коконов, при контакте со взрослыми особями и является достаточно сложным процессом.

К началу 90-х годов интерес к исследованию комплексов движений муравьев во время предполагаемой передачи информации угас, так как стало ясно, что если у муравьев и есть «язык», то он не содержит таких четко выраженных структурных единиц, которые бы соответствовали фиксируемым ситуациям, как это имело место у [пчел](#). Иными словами, прямой расшифровке «антеннальный код» муравьев не поддается.

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 могут столкнуться 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 мною в серии лабораторных экспериментов, проведенных в 1970 г. с муравьями-древоточцами [Camponotus herculeanus](#). Муравьи жили в искусственном гнезде на лабораторной арене,

разделенной на две части: в меньшей помещалось гнездо, а в большей, скрытой от муравьев высокой загородкой, - 10 одинаковых искусственных “деревьев”, каждое из которых имело 12 “веток”, укрепленных в горизонтальной плоскости веером на одном “стволе”. 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 муравьи могут осуществлять дистанционное наведение. Так был продемонстрирован сам факт возможности передачи муравьями информации абстрактного характера дистанционным путем. Возможности муравьиного “языка”, основанного на дистанционном наведении, были выявлены позднее с помощью принципиально нового подхода.

Библиография

Брайен М. [Общественные насекомые](#). Экология и поведение. М.: Мир, 1986.

Дьюсбери Д. Поведение животных: Сравнительные аспекты. М.: Мир, 1981.

Линден Ю. Обезьяны, человек и язык. М.: Мир, 1981.

Лоренц К. Год серого гуся. М.: Мир, 1984.

Мазохин-Поршняков Г.А. Как оценить [интеллект](#) животных?//Природа. 1989. № 4.

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

Резникова Ж.И. [Интеллект](#) и язык: Животные и человек в зеркале эксперимента. М.: Наука, 2000.

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

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

Резникова Ж.И., Рябко Б.Я. Передача информации о количественных характеристиках объекта у муравьев//Журн. высш. нервн. деят. 1995. Т 45. № 3.

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

Резникова Ж.И., Рябко Б.Я. Экспериментальные исследования способности муравьев к сложению и вычитанию небольших чисел//Журн. высш. нервн. деят. 1999. Т.49. Вып.1.

Тинберген Н. [Осы](#), птицы, люди. М.: Мир, 1970.

Фриш К. Из жизни [пчел](#). М.: Мир, 1980.

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

Hölldobler B., Wilson E.O. The Ants. Berlin: Springer Verlag, 1990.

Michie D. Ants: They really can talk//The Independence on Sunday. 1998. November of 15.

Reznikova J. Interspecific communication between ants//Behaviour. 1982. № 80.