

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ДОКАЗАТЕЛЬСТВО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЧИСЛИТЕЛЬНЫХ В ЯЗЫКЕ МУРАВЬЕВ

Резникова Ж. И., Рябко Б. Я.

Описаны опыты, в которых муравьям предлагалась установка в виде ствола с 60 ветками, на одной из которых была кормушка. Для получения пищи муравьи должны были передать друг другу информацию о номере ветки с кормушкой. Результаты опытов показывают, что муравьи умеют считать в пределах нескольких десятков, и их язык содержит числительные в этом диапазоне. Оказалось, что время передачи числа i в языке муравьев примерно пропорционально i , а не $\log i$, как в современных языках человека¹.

§ 1. Введение

Одной из ключевых проблем этологии — науки о поведении животных — является задача изучения механизмов обмена информацией у животных, но до недавнего времени вопрос о существовании у них сколько-нибудь развитого языка оставался открытым [1–3]. Это, по-видимому, объясняется значительными техническими и логическими трудностями, возникающими при попытках непосредственной расшифровки сигналов животных, даже таких высокосоциальных, как обезьяны, дельфины, термиты, муравьи и т. д. В работах [4–6] был предложен новый подход к изучению языка животных, основанный на идеях теории информации, позволивший доказать наличие языка у муравьев и оценить скорость передачи информации.

В данной работе описываются опыты, основанные на этом подходе, доказывающие, что, во-первых, муравьи исследованного вида *Formica polyctena* умеют считать в пределах нескольких десятков (в нашем опыте до 60), и во-вторых, в их языке есть средства для передачи сведений о числе объектов. Оказалось, что в языке муравьев время передачи числа i пропорционально i , а не $\log i$, как в современных языках человека.

Идея опытов в следующем: муравьям предлагалась экспериментальная установка, состоящая из длинного «ствола», от которого отходили «ветки» равной длины (использовались спички или тонкие одинаковые планки), расположенные на одинаковом расстоянии одна от другой (см. рис. 1, а). Каждая ветка закапчивалась кормушкой, но лишь одна из них содержала сироп, а остальные были пусты. Опыты были организованы так, что муравьи для получения пищи должны были передавать друг другу сведения о номере ветки с кормушкой. Время, затраченное ими на эту передачу, фиксировалось в опыте.

§ 2. Описание эксперимента

Муравьи жили на лабораторной арене площадью 2 м² в прозрачном гнезде из оргстекла, позволяющем фиксировать контакты между ними. Численность семьи составляла около 800 особей. Все муравьи, участвовавшие в опытах, были помечены индивидуальными метками с помощью цветных нитролаков. Муравьи получали пищу 1 раз в три дня и только на экспериментальной установке. Опыты проводили в 1984–1985 гг.

У муравьев исследуемого вида (*F. polyctena*) фуражировочная деятельность организована следующим образом: фуражиры разбиты на группы (5–8 особей), в каждой группе есть разведчик, который занимается по-

¹ Основные результаты работы докладывались на IX Всесоюзном симпозиуме по проблемам избыточности в информационных системах (Ленинград, июнь, 1986 г.).

ском пища. Обнаружив пищу, он сообщает об этом фуражирам (подробно в [5, 6]).

В нашем опыте разведчики специально подсаживались на ветку с заполненной кормушкой. Затем разведчик сам возвращался в гнездо. Иногда он сразу начинал контактировать с членами своей группы, и после контакта вся группа выходила из гнезда и двигалась по направлению к установке. В этом случае разведчика мы изымали пинцетом и изолировали, заставляя тем самым группу фуражиров отыскивать пищу самостоятельно. Но чаще разведчик после возвращения в гнездо покидал его один и один возвращался к кормушке; иногда он при этом ошибался и находил пищу после посещения нескольких пустых кормушек. Затем он снова возвращался в гнездо, контактировал со своей группой и либо выходил с этой группой, либо снова один. В первом случае разведчика мы изолировали, во втором все повторялось сначала. Иногда число одиночных рейсов раз-

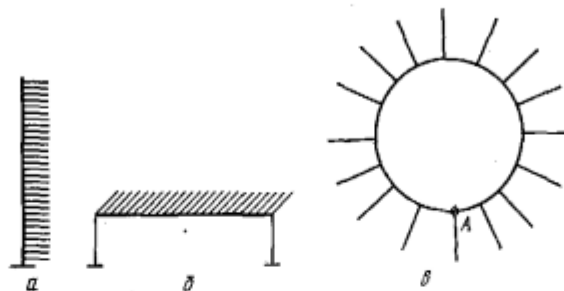


Рис. 1

ведчика достигало четырех, прежде чем он выводил свою группу. Во всех случаях мобилизации группы мы фиксировали время контакта разведчика с фуражирами в гнезде. Время измерялось в секундах. Началом контакта считалось прикосновение к первому муравью, окончанием — выход из гнезда двух первых фуражиров. Контакты сопровождалась частыми и многочисленными ударами антенн. Разведчик контактировал с одним — четырьмя членами группы поочередно, иногда с двумя муравьями сразу. В тех случаях, когда разведчик несколько раз один возвращался к кормушке, измерялось время каждого его контакта с фуражирами, но для дальнейших расчетов использовалось только время последнего контакта, после которого группа фуражиров выходила из гнезда за пищей.

Хотя известно, что муравьи данного вида не пользуются при фуражировке пахучим следом [7], в наших опытах установка заменялась на тождественную — новую — в то время, когда разведчик контактировал с фуражирами в гнезде. Пахучий след тем самым исключался.

В ходе эксперимента кормушка помещалась на разные ветки — от 1-й до 60-й. Номера веток в последовательных опытах выбирались в произвольном порядке: например, в первой серии опытов, приведенной в табл. 1, пища была на ветке № 10, во время второй — на ветке № 40 и т. д. (см. табл. 1). При этом в ходе каждого опыта с кормушкой, помещенной на i -й ветке, работали последовательно все группы фуражиров, которые были активны в этот день (от одной до четырех). Пока длился сеанс с первой группой, фуражиры из остальных групп на установку не допускались (с помощью перегородки, ограничивающей рабочую часть арены). Опыты были так организованы для того, чтобы проверить, нет ли заметных различий во времени передачи сведений о номере ветки для разных групп фуражиров.

Оказалось, что часть разведчиков практически неспособна правильно передать сведения о номере ветки с кормушкой: группа фуражиров после

Результаты опытов на установке «вертикальный ствол № 1»

№ опыта	Дата	Номер ветки с кормушкой	Время контакта разведчика и фуражиров, с	Номер группы «разведчик — фуражир»
1	10.VII.84	10	42	I
2	10.VII.84	10	40	II
3	10.VII.84	10	45	III
4	14.VII.84	40	300	II
5	14.VII.84	40	280	IV
6	17.VII.84	13	90	II
7	17.VII.84	13	98	I
8	17.VII.84	28	110	III
9	17.VII.84	28	120	V
10	19.VII.84	20	120	V
11	19.VII.84	20	110	III
12	19.VII.84	35	260	III
13	19.VII.84	35	250	V
14	23.VII.84	30	160	I
15	23.VII.84	30	170	III

контакта с этими разведчиками приходила на установку и неслась найти кормушку, перебирая ветки (как правило, им это не удавалось). После двух-трех сеансов такие «неспособные» разведчики выявлялись и в дальнейшем с ними не работали. Среди тех групп «разведчик — фуражир», которые успешно находили кормушку, достоверных различий во времени передачи сведений о номере ветки не обнаружено, поэтому при дальнейшей обработке данные по всем группам фуражиров были объединены. Заметим, что всего в течение 1984—1985 гг. в опытах участвовало 26 групп фуражиров, в 19 из них разведчики успешно передавали информацию о номере ветки, а в семи не могли передать.

На установке с вертикальным расположением всток — «вертикальный ствол» (рис. 1, а) — было проведено 15 сеансов, во время которых работало пять разведчиков и их группы фуражиров. Для того чтобы проверить, не зависит ли время передачи информации о номере ветки от ее длины, а также от расстояния между ветками, аналогичная серия опытов (всего 16) проводилась на таком «вертикальном стволе», где расстояние между ветками было вдвое больше, а сами ветки в пять раз длиннее. Для того чтобы исключить зависимость времени передачи информации от формы установки, ее ориентации относительно плоскости arenas, гнезда и т. д., 30 опытов проводилось на установке, расположенной горизонтально («горизонтальный ствол») и 38 — на установке «круг» (рис. 1, б, в). В точку А круга и в начальную точку горизонтального ствола муравьи попадали по мостику (установки монтировались в кюветах с водой, чтобы муравьи не могли двигаться к кормушке «по прямой»). На всех этих установках данные собирались по тому же принципу, что и на установке «вертикальный ствол № 1» (см. табл. 1).

На всех четырех установках работало в общей сложности 26 групп фуражиров (5 — в 1984 г. и 21 — в 1985 г.). Всего 130 раз группа фуражиров выходила из гнезда после контакта с разведчиком и направлялась к кормушке (напомним, что разведчик нами специально удалялся). При этом в 99 случаях группа фуражиров сразу приходила к ветке с пищей, не совершая ошибочных заходов к пустым кормушкам. В оставшихся случаях муравьи приходили к пустым кормушкам и начинали искать пищу путем перебора соседних веток. Эти случаи не использовались в дальнейших расчетах.

Во всех опытах (всего 31), когда фуражиры не находили кормушку, работали одни и те же «неспособные» разведчики. Они были выявлены в

ходе этих опытов и в дальнейшем не запускались на рабочую часть арены. Мы не обнаружили каких-либо различий между «способными» и «неспособными» разведчиками.

Поскольку на всех установках было не менее 25 веток, то вероятность прийти к ветке с кормушкой с первого раза случайно, наугад, меньше $1/25$. Отсюда легко видеть, что полученное в наших опытах соотношение может быть объяснено только тем, что группа фуражиров руководствовалась сведениями, полученными от разведчика (вероятность прийти к кормушке случайно не менее чем в 99 случаях из 130, меньше 10^{-10}).

В связи с этим отметим, что муравьи, в том числе разведчики, специально запускаемые на установку, но не знакомые с координатами кормушки в данный момент, как правило, не находили пищу, хотя активно искали ее, обследуя пустые ветки.

§ 3. Анализ результатов

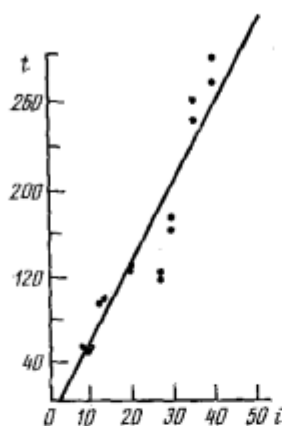


Рис. 2. Зависимость времени контакта разведчика с фуражирами t от номера ветки i . Установка «вертикальный ствол № 1»

На графике (рис. 2) приведены результаты опытов, проведенных на установке «вертикальный ствол № 1». Видно, что связь между номером ветки i и временем контакта разведчика с фуражирами t близка к линейной, описываемой уравнением $t=ai+b$, о чем свидетельствует также высокое значение коэффициента корреляции между t и i (см. первую строку в табл. 2, где также приведены значения оценок параметров

a и b). Для других установок также оценивались эти величины (см. табл. 2). Во всех четырех случаях коэффициенты корреляции достоверно отличны от нуля при уровне значимости 0,05.

На установке «круг» номер ветки с кормушкой i отсчитывался от точки A против часовой стрелки, так как во всех случаях муравьи-фуражиры двигались только в этом направлении, даже когда путь по часовой стрелке был значительно короче (причины этого нам неизвестны). Интересно также отметить, что на установке «вертикальный ствол» фуражиры после контакта с разведчиком сначала быстро поднимались до верхнего конца ствола, а после этого медленно возвращались обратно к ветке с пищей. Поэтому мы номер ветки i отсчитывали от верхнего конца ствола.

Первый и основной вывод, который можно сделать из описанных опытов, — муравьи умеют считать в пределах нескольких десятков и в их язы-

Таблица 2

Значения коэффициентов корреляции и выборочных коэффициентов уравнения линейной регрессии

Тип установки	Объем выборки	Максимальное число веток	Показатели		
			r	$a \pm \Delta a$	$b \pm \Delta b$
Вертикальный ствол № 1	15	40	0,93	$7,3 \pm 4,1$	$-28,8 \pm 0,51$
Вертикальный ствол № 2	16	60	0,99	$5,88 \pm 0,44$	$-17,11 \pm 0,65$
Горизонтальный ствол	30	25	0,91	$8,54 \pm 1,1$	$-22,2 \pm 0,62$
Круг	38	25	0,98	$8,62 \pm 0,52$	$-24,4 \pm 0,61$

Примечание. r — коэффициент корреляции, $\pm \Delta$ — 95% доверительный интервал.

ке есть средства для передачи числительных. То, что для наших установок разных типов зависимость времени передачи информации t от номера ветки i хорошо описывается уравнением вида $t=ai+b$ с близкими значениями a и b , делает весьма вероятным вывод о том, что муравьи передают сведения именно о номере ветки. Напомним, что у двух первых установок разное расстояние между ветками и разная их длина, третья установка расположена не вертикально, а горизонтально, а у четвертой «ствол» с ветвями замкнут в круг.

То, что в языке муравьев длина кодового слова числа i равна $ai+b$, где a и b — константы, резко контрастирует с языками человека. В современных языках длина кодового слова числа i примерно пропорциональна $\log i$ (при больших i). В связи с этим интересно отметить, что система счисления, близкая к «муравьиной», использовалась в архаичных языках человека. Там длина кода числа была пропорциональна его величине [8]. Например, числу 1 соответствовало слово палец, числу 2 — палец, палец, 3 — палец, палец, палец и т. д., а десятичная система счисления появилась в результате длительного и сложного развития.

Мы не объясняем различий представления числительных в современных языках человека и в языке муравьев примитивностью последнего. Для такого вывода требуется дополнительный эмпирический и теоретический анализ. В частности, необходим анализ частоты встречаемости различных числительных в естественной речи носителей языка, так как в «оптимальном» языке длина слова должна быть согласована с частотой его использования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дьюсбери Д. А. Поведение животных. М.: Мир, 1978.
2. Мейнинг О. Поведение животных. М.: Мир, 1981.
3. Марков В. И. Эволюция коммуникативных систем животных // Тр. I Всесоюз. конф. по проблемам эволюции. Тез. докл. М., 1984. С. 215—216.
4. Резникова Ж. И., Рябко Б. Я. Теоретико-информационный анализ языка муравьев // Тр. VI Междунар. симпозиум по теории информации. Тез. докл. Москва — Ташкент, 1984. С. 147—151.
5. Резникова Ж. И. Количественное исследование языка муравьев // ДАН СССР. 1985. Т. 280. № 5. С. 1120—1123.
6. Резникова Ж. И., Рябко Б. Я. Анализ языка муравьев методами теории информации // Пробл. передачи информ. 1986. Т. 22. № 3. С. 103—108.
7. Длусский Г. М. Муравьи рода *Formica*. М.: Наука, 1967.
8. Иванов В. В. Язык в сопоставлении с другими средствами передачи и хранения информации // Тр. конф. по переработке информации, машинному переводу и автоматическому чтению текста. Тез. докл. М., 1967. Вып. 7. С. 44—50.

Поступила в редакцию
17.VII.1986