

УДК 595.796-591.5+591.513

© 1999 г. РЕЗНИКОВА Ж.И., РЯБКО Б.Я.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СПОСОБНОСТИ
МУРАВЬЕВ К СЛОЖЕНИЮ И ВЫЧИТАНИЮ НЕБОЛЬШИХ ЧИСЕЛ**

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. При этом 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 [11, 12]. 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 [10, 13, 14]. Врановые оказались способны к переносу сформированного обобщения на новый диапазон ранее никогда не предъявлявшихся множеств, содержащих до 20 элементов [3]. 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 [5, 6], обладают индивидуальной иерархией [2] и лабильной системой коммуникации [1]. Новый экспериментальный подход к исследованию рассудочной деятельности и коммуникации животных, основанный на идеях и методах теории информации, позволил выяснить, что муравьи высокосоциальных видов обладают развитым символическим языком, более сложным, чем язык танцев медоносной пчелы; при этом они способны улавливать закономерности и использовать их для увеличения скорости передачи информации [7, 15].

Нами было установлено, 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 [8, 16]. Поскольку описываемые в настоящей 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. Предварительные данные кратко изложены в работе [9].

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 участвовали в общей сложности 32 рабочие 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 (подробнее методика описана ниже). Всего 152 раза группы фуражиров выходили из гнезда после контакта с разведчиком и направлялись к кормушкам. При этом в 117 случаев 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 $t = ai + b$. 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 (подробно см. [8]).

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 "пaleц", числу два – "пaleц, пaleц", числу три "пaleц, пaleц, пaleц" и так далее, а десятичная система счисления появилась в результате длительного и сложного развития [4]. 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 настоящей 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: информации 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 использовали пять лабораторных семей этого вида, взятые из муравейников лесопарковой зоны Новосибирского Академгородка. Лабораторную семью численностью около 2 тыс. особей помещали на арену (рис. 1) площадью 2 м² в прозрачном гнезде (10 × 20 см), позволявшем учитывать контакты между ними (1). Арену была разделена на две части – меньшую, жилую, где располагалось гнездо, и большую, рабочую, где помещалась лабораторная установка. На рабочую часть вел мостик (2), 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 нитро-краски, нанесенных на разные части тела. Муравьи получали пищу раз в 3 дня и только на экспериментальной установке (3), подробно описанной в работе [8]. Установка 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 (4). Для получения пищи муравьям было необходимо передавать сведения о номере ветки с кормушкой.

В более ранних экспериментах [7] мы выяснили, что у муравьев исследуемого вида при необходимости группового решения сложных задач фуражировочная деятельность организована следующим образом: действуют постоянные по составу группы (по четыре–восемь 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 с) и сопровождались обменом пищей.

Для того чтобы исключить гипотетически возможное использование пахучего следа, а также запаха самого сахарного сиропа, установку за-

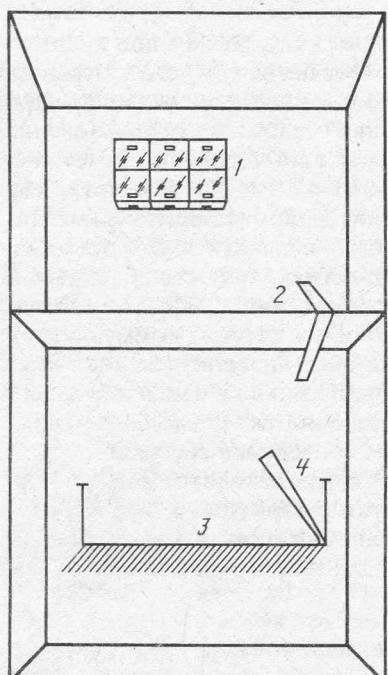


Рис. 1. Схематическое изображение лабораторной арены с экспериментальной установкой. 1 – гнездо; 2 – мостик; 3 – экспериментальная установка; 4 – мостик, ведущий в начальную часть ствола. Объяснения в тексте

меняли 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 помещали кормушку 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 кормушку помещали на разные ветки – от 1-й до 30-й. Пока длился сеанс с одной группой, фуражиров и разведчиков из остальных групп на установку не допускали.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

1. Пластиность 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 создавали ситуацию, когда частота использования одних чисел была существенно больше, чем других. При этом проверяли способность муравьев изменять длину сообщения в зависимости от частоты его встречаемости. Опыты проводили в 1992–1995 гг. на четырех семьях *F. polyctena* (данные 1992 г. носят предварительный характер, так как не содержат достаточно повторностей для статистического анализа). Использовали лабораторную установку "горизонтальный ствол", с 40 ветками, но приманку помещали только на ветки № 1–30.

Табл. 1 иллюстрирует принцип разделения эксперимента на три стадии, в каждой из которых изменялась последовательность использования веток с приманкой. Приведены данные 1994 г. в качестве примера. На первой стадии (опыты № 1–9, табл. 1) номер ветки с кормушкой, предлагаемой муравьям в очередном опыте, выбирался с помощью таблицы случайных чисел в пределах 30 (и когда номер был выбран, данная ветка поочередно предлагалась одному-трем разведчикам, активным в этот день). Таким образом, поскольку использовалось 30 веток, вероятность появления кормушки на любой из них была 1/30. На второй стадии (опыты № 10–66, табл. 1) мы выбрали две специальные ветки А и Б (№ 7 и 14 в 1992 г., № 10 и 20 в 1993 и № 10 и 19 в 1994 – см. также рис. 2, 3 и табл. 2), на которых кормушка с сиропом появлялась значительно чаще, чем на остальных ветках – с вероятностью 1/3 для А и 1/3 для Б и с вероятностью 1/84 для каждой из остальных 28 веток. Таким образом, два "сообщения" – "кормушка на ветке А" и "кормушка на ветке Б" имели гораздо большую вероятность, чем остальные 28. На третьей стадии эксперимента (опыты № 67–92, табл. 1) номер ветки с кормушкой опять выбирался случайно, и опять все сообщения муравьев имели равные вероятности.

Рассмотрим связь между временем, затрачиваемым муравьями-разведчиками на передачу сведений о ветке с кормушкой, и номером этой ветки. Из рис. 2 можно видеть, что на первой стадии эксперимента эта зависимость близка к линейной (коэффициент корреляции, характеризующий силу связи, равен 0,95 в 1993 г. и 0,96 в 1994, см. также табл. 3). 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 веток (№ 10 и 20 в 1993 г., см. рис. 2).

В 1995 г. мы использовали только одну специальную ветку А (ветка № 15). На

Таблица 1

Ход эксперимента с *Formica polyctena* (специальные ветки № 10 и 19)

№ опыта	Дата	Но- мер ветки с при- ман- кой	Длитель- ность контакта развед- чика с фуражи- рами, с	Номер ("имя" рабочей группы муравьев, соотв- тствует "имени" развед- чика)	№ опыта	Дата	Но- мер ветки с при- ман- кой	Длитель- ность контакта развед- чика с фуражи- рами, с	Номер ("имя" рабочей группы муравьев, соотв- тствует "имени" развед- чика)
Первая стадия									
1	20 июня'94	5	50	I	47	21 июля'94	19	90	I
2	20 июня'94	5	45	III	48	21 июля'94	19	100	X
3	22 июня'94	16	92	V	49	23 июля'94	16	90	I
4	24 июня'94	15	78	VI	50	23 июля'94	16	80	III
5	24 июня'94	15	85	I	51	23 июля'94	16	85	IV
6	27 июня'94	1	10	III	52	23 июля'94	10	75	I
7	27 июня'94	1	5	VI	53	23 июля'94	5	20	IV
8	29 июня'94	11	80	VII	54	23 июля'94	5	22	III
9	29 июня'94	11	76	I	55	26 июля'94	19	350	XII
Вторая стадия									
10	1 июля'94	19	100	IV	56	26 июля'94	19	300	I
11	1 июля'94	19	110	III	57	26 июля'94	19	250	X
12	1 июля'94	19	95	II	58	26 июля'94	19	280	IV
13	4 июля'94	10	70	I	59	28 июля'94	10	250	IV
14	4 июля'94	10	75	III	60	28 июля'94	10	280	XI
15	6 июля'94	10	80	I	61	28 июля'94	19	290	III
16	6 июля'94	10	65	X	62	28 июля'94	19	300	I
17	6 июля'94	10	70	III	63	28 июля'94	19	250	IV
18	8 июля'94	10	80	II	64	31 июля'94	10	15	XI
19	8 июля'94	10	68	VII	65	31 июля'94	10	18	I
20	8 июля'94	10	65	X	66	31 июля'94	10	15	III
Третья стадия									
21	10 июля'94	19	105	II	67	2 августа'94	5	55	VIII
22	10 июля'94	19	120	IV	68	2 августа'94	5	50	IV
23	10 июля'94	19	110	VII	69	2 августа'94	6	60	IX
24	10 июля'94	19	115	III	70	2 августа'94	6	65	III
25	12 июля'94	19	100	II	71	4 августа'94	18	12	XII
26	12 июля'94	19	110	XI	72	4 августа'94	18	10	III
27	15 июля'94	10	60	I	73	4 августа'94	20	15	VII
28	15 июля'94	10	65	X	74	4 августа'94	20	13	IX
29	15 июля'94	10	80	VII	75	6 августа'94	24	60	VII
30	16 июля'94	4	45	XII	76	6 августа'94	24	58	XII
31	16 июля'94	4	40	X	77	6 августа'94	18	10	VIII
32	16 июля'94	4	50	III	78	6 августа'94	18	8	II
33	16 июля'94	3	35	I	79	6 августа'94	5	50	I
34	16 июля'94	3	30	X	80	6 августа'94	5	45	X
35	16 июля'94	3	12	III	81	6 августа'94	1	6	X
Первая стадия									
36	19 июля'94	10	60	XII	82	8 августа'94	1	8	III
37	19 июля'94	10	68	X	83	8 августа'94	11	8	III
38	19 июля'94	10	65	IV	84	8 августа'94	11	5	I
39	19 июля'94	10	70	X	85	10 августа'94	9	10	III
Первая стадия									
40	19 июля'94	10	62	IV	86	10 августа'94	9	12	X
41	19 июля'94	19	90	II	87	10 августа'94	9	8	V

Таблица 1 (окончание)

№ опыта	Дата	Но- мер ветки с при- ман- кой	Длитель- ность контакта развед- чика с фуражи- рами, с	Номер ("имя" рабочей группы муравьев, соотв- тствует "имени" развед- чика)	№ опыта	Дата	Но- мер ветки с при- ман- кой	Длитель- ность контакта развед- чика с фуражи- рами, с	Номер ("имя" рабочей группы муравьев, соотв- тствует "имени" развед- чика)
42	19 июля'94	19	95	IV	88	10 августа'94	16	25	IX
43	19 июля'94	19	105	XI	89	10 августа'94	16	20	V
44	21 июля'94	19	110	III	90	10 августа'94	28	90	III
45	21 июля'94	19	105	XII	91	10 августа'94	28	75	V
46	21 июля'94	19	95	II	92	12 августа'94	17	15	IV

Таблица 2

Зависимость времени передачи информации (*t*) от расстояния ветки с приманкой от ближайшей специальной ветки (1993 г., специальные ветки № 10 и 20)

Номер ветки с приманкой (после- довательные эксперименты в раз- ные дни)	Расстояние до ближайшей спе- циальной ветки	Время передачи информации (последовательно разными разведчиками в разные дни), с
26	6	35, 30
30	10	70, 65
27	7	65, 72
24	4	58, 60, 62
8	2	22, 20, 25
16	4	25, 28, 25
16	4	25
22	2	15, 18
18	2	20, 25, 18, 20
15	5	30, 28, 35, 30
20	0	10, 12, 10
6	4	25, 28
16	4	30, 25
15	5	20, 25, 20
14	4	25, 28, 30, 26
17	3	17, 15
11	1	10, 12

Таблица 3

Значения коэффициента корреляции (*r*) в экспериментах с разными специальными ветками

Год	Число экспериментов	Номер специальной ветки	<i>r</i> для первой стадии экспериментов	<i>r</i> для третьей стадии экспериментов
1993	150	10, 20	0,95	0,80
1994	92	10, 19	0,96	0,91
1995	99	15	0,99	0,82

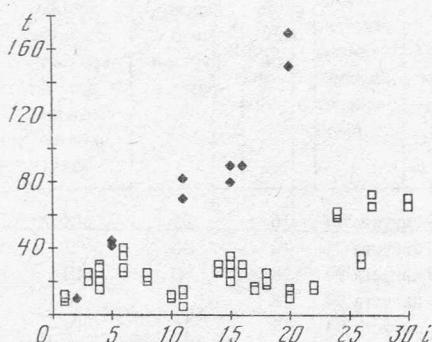


Рис. 2

Рис. 2. Зависимость времени (t) передачи информации муравьями *Formica polyctena* (с) о номере ветки с приманкой от номера ветки (i) на первой и на третьей стадиях эксперимента 1993 г. В качестве специальных выбраны ветки № 10 и 20. Тёмные квадраты – время передачи информации на первой стадии эксперимента, светлые – то же, на третьей стадии

Рис. 3. Зависимость времени (t) передачи информации муравьями *Formica polyctena* (с) о номере ветки с приманкой от номера ветки (i) на первой и на третьей стадиях эксперимента 1995 г. В качестве специальной выбрана ветка № 15. Обозначения как на рис. 2

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. Как видно из рис. 3, 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 (№ 10 и 20, рис. 2; № 15, рис. 3; № 10 и 19, табл. 2) 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 с, чтобы передать информацию о том, что кормушка находится на ветке № 11, и 8–12 с на то, чтобы передать сведения о ветке № 1. На третьей стадии контакт разведчика с фуражирами после его возвращения с ветки № 11 занимал 5–12 с.

Рассмотрим кратко поведение муравьев на втором этапе, когда они формировали новый способ представления чисел. В 1992–1994 гг. на второй стадии эксперимента, в течение 40–50 опытов (с 12-го по 15-й день эксперимента) разведчики, вернувшись 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 с, а когда на ветке № 19 (Б), – 100–120 с. Затем наступал такой период, когда муравьи, вернувшись со специальных веток, посвящали контактам с фуражирами исключительно длительное время: 200–350 с, а в отдельных случаях до 500 с (см. опыты № 55–62, табл. 1). После таких контактов наблюдалась массовая неспецифическая активация фуражиров на арене

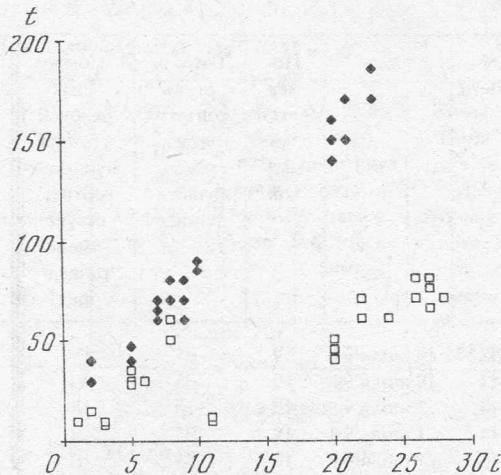


Рис. 3

(явление неспецифической активации впервые описано Г.М. Длусским [1]), но при этом только "информированная" группа направлялась к мостику, ведущему на рабочую часть арены. Такие периоды занимали по 2 дня экспериментов в 1992 и в 1994 г. и 4 дня в 1993 г. В 1995 г. мы не наблюдали такого явления: возможно, это 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: информации 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. Для этого данные, полученные на третьей стадии эксперимента, следует представить в такой форме, как в табл. 2, где в качестве примера представлены данные 1993 г. При этом мы исключали данные, касающиеся веток № 1–4, поскольку в этих случаях муравьи не сталкивались с необходимостью прибавлять и отнимать.

Из табл. 3 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 выше экспериментах муравьи для сокращения времени передачи сообщений о номере ветки с кормушкой могут прибавлять и отнимать небольшие числа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Муравьи с высоким уровнем социальной организации *Formica polyctena* в лабораторных экспериментах оказались способны не только к передаче информации о координатах одной из 40 расположенных на горизонтальном стволе веток с кормушкой, но и к согласованию продолжительности сообщения с частотой необходимости использования этого сообщения, что говорит о значительных резервах пластичности их системы коммуникации.

Детальный анализ времени, затрачиваемого муравьями на передачу информации о различных координатах кормушки, позволяет предположить, что они используют для представления чисел способ, аналогичный тому, что используется в римской системе счисления, что требует умения складывать и вычитать небольшие числа в пределах 5.

Мы полагаем, что полученные результаты важны для таких областей науки как физиология высшей нервной деятельности, зоопсихология, лингвистика, а также для таких дисциплин как теория искусственного интеллекта и робототехника.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования РФ в области фундаментального естествознания (грант № ЗН-229-98) и Российского фонда фундаментальных исследований (гранты № 96-50-155; 96-06-00052).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Длусский Г.М. Принципы коммуникации у муравьев // Чтения памяти Н.А. Холодковского. Л.: Наука, 1981. С. 3.
2. Захаров А.А. Индивидуальная территориальная конкуренция у муравьев // Журн. общ. биологии. 1978. Т. 39. № 3. С. 444.
3. Зорина З.А., Смирнова А.А. Количественные оценки у серых ворон: обобщение по относительному признаку "большое множество" // Журн. высш. нерв. деят. 1995. Т. 45. № 3. С. 490.
4. 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. Вып. 7. М., 1967. С. 44.
5. Мазохин-Поршняков Г.А. Обучаемость насекомых и их способность к обобщению зрительных символов // Энтомол. обозрение. 1968. С. 362.
6. Резникова Ж.И. Пространственная ориентация и способность муравьев усваивать логическую структуру задачи // Этология насекомых и клещей. Томск, 1979. С. 18.
7. Резникова Ж.И., Рябко Б.Я. Теоретико-информационный анализ "языка" муравьев // Журн. общ. биологии. 1990. Т. 51. № 5. С. 601.
8. Резникова Ж.И., Рябко Б.Я. Передача информации о количественных характеристиках объекта у муравьев // Журн. высш. нерв. деят. 1995. Т. 45. № 3. С. 500–509.
9. Резникова Ж.И., Рябко Б.Я. Экспериментальное исследование способностей муравьев к простейшим арифметическим операциям, основанное на теоретико-информационном подходе к изучению систем коммуникации животных // Доцл. РАН. 1995. Т. 343. № 3. С. 420–422.
10. Boysen S.T., Berntson G.G. Numerical competence in a chimpanzee (*Pan troglodytes*) // J. Compar. Psychol. 1989. V. 103. P. 23.
11. Harlow H.F. The formation of learning sets // Psychol. Rev. 1949. V. 56. P. 51–65.
12. Hicks L.N. An analysis of number – concept formation in the rhesus monkey // J. Compar. and Physiol. Psychol. 1956. V. 49. P. 212.
13. Matsuzawa T. Isomorphism of symbol – use and tool – use in chimpanzees in captivity and in the wild // Proc. 23th Intern. Ethological Conference. Torremolinos, Spain, 1993. P. 11.
14. Pepperberg I.M. Acquisition of the same – different concept by an African Grey Parrot (*Psittacus erithacus*): Learning with respect to categories of colour, shape and material // Anim. Learn. and Behav. 1987. V. 15. P. 423.
15. Reznikova Zh.I., Ryabko B.Ya. Experimental study of the ants' communication system with the application of the Information Theory approach // Memorabilia Zoologica. 1994. V. 48. P. 219.
16. Reznikova Zh., Ryabko B. Distant learning and cognition in ants // Advances Ethol. 1997. V. 32. P. 192.

Новосибирский государственный университет,
Институт систематики и экологии животных
СО РАН, Сибирская академия
телекоммуникаций и информатики

Поступила в редакцию
2.IV.1998

Принята в печать
14.V.1998

EXPERIMENTAL STUDY OF ANT CAPABILITY FOR ADDITION AND SUBTRACTION OF SMALL NUMBERS

REZNIKOVA Zh.I., RYABKO B.Ya.

Novosibirsk State University; Institute for Animal Systematics
and Ecology, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch; Siberian National
Academy of Telecommunication and Computer Sciences, Novosibirsk

In the laboratory experiments *Formica polyctena* ants had to transmit the information about the position of a "branch" situated on a long "trunk". Each branch ended in an empty trough,

save one filled with syrup. The food was placed on different branches with different frequencies; on the preliminary chosen special branches the troughs were filled substantially more frequently than on the others. For example, in 1993 we chose two special branches, nos. 10 and 20, on which the food was placed with a probability of $1/3$, while for any of the other 28 branches the probability was $1/84$. When the ants had learnt this, they changed the way of information transmission about the coordinates of the branch containing food and spent less time to transmit the messages about branches nos. 10 or 20. Careful analysis of time required for transmitting messages about trough coordinates suggests that ants "present" the number of a branch in a way similar to that for the Roman figures, and the "special" numbers (10 and 20 in the case) have the same significance as the basic Roman figures V, X, L, etc. Thus, the ants seem to be able, first, to put the duration of a message into agreement with its frequency and, second, to add and subtract small numbers, as people do when use the Roman figures.