

УДК 595.796 ÷ 591.5 + 591.513

© 1995 г. РЕЗНИКОВА Ж. И., РЯБКО Б. Я.

ПЕРЕДАЧА ИНФОРМАЦИИ О КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ ОБЪЕКТА У МУРАВЬЕВ *

Описываются результаты лабораторных экспериментов, показывающие, что муравьи способны оценивать число объектов в пределах нескольких десятков и передавать эту информацию другим особям. Показано, что муравьи могут использовать эти способности для передачи сведений о координатах объекта.

В настоящее время установлено, что наиболее высокоорганизованные млекопитающие (приматы, дельфины, морские коты, некоторые псовые), а также врановые птицы способны к элементам абстрагирования, экстраполяции и могут формулировать для себя некоторые эмпирические правила на основе подмеченных ими закономерностей [5, 8, 19, 22]. Новым этапом в развитии этологии явилось использование языков-посредников, которым животные обучались у экспериментаторов. Была продемонстрирована способность высших обезьян семантически использовать символы, группировать сходные понятия и целенаправленно их комбинировать для выражения желаний [18]. Однако вопрос о существовании у них развитого естественного языка остается открытым.

Одним из высших проявлений когнитивной деятельности животных является их способность формировать понятия о количественных признаках предметов. В многочисленных экспериментах было показано, что некоторые виды млекопитающих и птиц способны различать множества, состоящие из разного числа элементов, и осуществлять выбор по признаку «больше-меньше» [1, 6, 15, 17]. Опыты на приматах и попугаях, обученных языкам-посредникам, дают основания полагать, что у них есть зачатки способностей к счету с помощью символов-числительных [18, 21]. Однако пределы их возможностей к формированию понятий о количестве еще не установлены.

Не менее интенсивно исследовались и когнитивные способности насекомых. Здесь прежде всего надо отметить классические работы К. фон Фриша и его последователей, показавших наличие у медоносной пчелы «языка танцев», имеющего характер символической сигнализации [3, 9, 16, 20].

К настоящему времени установлено, что общественные перепончатокрылые способны к элементам абстрагирования, формирования эмпирических правил, обладают лабильной системой коммуникации, а также индивидуальной иерархией [4, 7, 10, 11]. Известно, что муравьи высоко социальных видов способны к совместной, достаточно сложной деятельности, включающей содержание колоний тлей и цикадок в густых кронах деревьев, групповую фуражировку в высоком травостое и охрану границ обширных кормовых территорий [2, 4, 25].

Несмотря на многочисленные работы, посвященные изучению коммуникационных способностей животных, вопрос о наличии развитого языкового поведения для большинства высокосоциальных видов оставался открытым (единственным исключением является «язык танцев» медоносной пчелы). Это представляется парадоксальным, если учесть, что такие животные достаточно легко овладевают сложными языками-посредниками, предлагаемыми экспериментаторами. По-видимому, выявление естественного языкового поведения

* Часть исследований выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 93-04-07733).

у таких высокосоциальных муравьев, требует разработки этологов, изучавших их, но пытались обнаружить единицы в системе их коммуникации и элементов.

Суть этого подхода, в чем: в эксперименте должны были передаваемые величины, известное муравьям.

Так, в работах [1] помощью лабиринта «дерева» с двумя развилками (a, b, c, d), три из которых кормушкой с сиропом. Поворачивать ли ему: опытах число развилок.

В экспериментах со топологией приманки используя только эти величины в проведенных «ва» (точка h на рис. 1) изменялась от 1 до 6, пропорционально числу.

В представленной лабиринтов продолженные величины (в пределах о числе объектов и о координатах).

Эксперименты проведены с *polyctena Foerst*. Муравьям в прозрачных группах обитания разделялась гнездо, и большую, раму. Муравьи получали пищу в новке. Все внегнездовые.

Известно, что при исследуемого вида ор группы (3—8 особей); о только своих фуражиров.

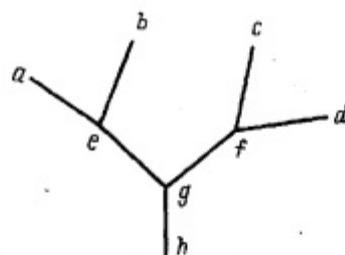


Рис. 1. Схема лабиринта «бинарное дерево»

у таких высокосоциальных видов, как высшие приматы, дельфины, термиты, муравьи, требует разработки адекватного методологического подхода. Большинство этологов, изучавших системы коммуникации социальных животных, явно или неявно пытались обнаружить «слова», «фразы» и тому подобные лингвистические единицы в системе их коммуникации, т. е. составить нечто вроде словаря.

Ранее мы предложили принципиально иной подход к изучению систем коммуникации и элементарной рассудочной деятельности у муравьев [12, 13, 23, 24]. Суть этого подхода, названного теоретико-информационным, состоит в следующем: в эксперименте создавалась ситуация, когда муравьи для получения пищи должны были передавать друг другу сведения о некоторой количественно измеряемой величине, известной экспериментатору. При этом измерялось время, затрачиваемое муравьями на передачу сведений.

Так, в работах [12, 13, 23, 24] представлены результаты, полученные с помощью лабиринта «бинарное дерево». На рис. 1 изображена схема такого «дерева» с двумя развилками на каждой ветке. У такого «дерева» четыре «листа» (a, b, c, d), три из которых оканчиваются пустой кормушкой, и только один — кормушкой с сиропом. Муравей, начиная движение из точки h , должен выбирать, поворачивать ли ему направо или налево в точке g и затем в точках e и f . В разных опытах число развилок изменялось от одной до шести.

В экспериментах создавалась ситуация, когда муравей, осведомленный о местоположении приманки, передавал сообщения об этом другим муравьям, которые, используя только эти сведения, находили кормушку самостоятельно, практически не совершая ошибочных поворотов (подробно см. в работе [13]). Измеряемой величиной в проведенных экспериментах было число поворотов от «корня дерева» (точка h на рис. 1) до «листа» с кормушкой. Эта величина в разных опытах изменялась от 1 до 6, и оказалось, что время передачи информации муравьями пропорционально числу развилок.

В представленной работе с помощью модификации экспериментальных лабиринтов продолжено изучение способности муравьев оценивать количественные величины (в пределах нескольких десятков) и передавать сородичам сведения о числе объектов и о координатах объектов на плоскости.

МЕТОДИКА

Эксперименты проводили в 1984—1987 гг. и в 1992 г. с муравьями *Formica polyctena* Foerst. Муравьев содержали группами (800—1500 особей) с расплодом и самкой в прозрачных гнездах на лабораторных аренах площадью 2 м². Территория обитания разделялась на две части: меньшую, жилую, на которой находилось гнездо, и большую, рабочую, где располагалась экспериментальная установка. Муравьи получали пищу 1 раз в 2—3 дня и только на экспериментальной установке. Все внегнездовые рабочие были индивидуально помечены.

Известно, что при решении сложных задач поисковая деятельность муравьев исследуемого вида организована следующим образом: фуражиры разбиты на группы (3—8 особей); один из группы — разведчик, найдя пищу, привлекает к ней только своих фуражиров [13].

Результаты опытов на установке «вертикальный ствол» № 1

№ опыта	Дата (1984 г.)	Номер ветки с кормушкой	Время контакта разведчика и фуражиров, с	Номер группы разведчик-фуражиры
1	10.VII	10	42	I
2	10.VII	10	40	II
3	10.VII	10	45	III
4	14.VII	40	300	II
5	14.VII	40	280	IV
6	17.VII	13	90	II
7	17.VII	13	98	I
8	17.VII	28	110	III
9	17.VII	28	120	V
10	19.VII	20	120	V
11	19.VII	20	110	III
12	19.VII	35	260	III
13	19.VII	35	250	V
14	23.VII	30	160	I
15	23.VII	30	170	III

Для изучения способности муравьев к оценке количественных величин и к передаче сведений о числе объектов использовали экспериментальную установку «лестница» (рис. 2, а, б, в). Ветками служили спички или пластмассовые стержни. Каждая ветка заканчивалась кормушкой. Одна из кормушек содержала сироп, остальные были пустыми. Муравьи должны были передавать друг другу сведения о номере «ветки» с кормушкой.

Разведчика для ознакомления подсаживали на «ветку» с заполненной кормушкой. 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 изолировали, заставляя тем самым группу фуражиров отыскивать пищу самостоятельно. Но чаще после ознакомления с местоположением 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 разведчика с фуражирами в гнезде. Началом контакта считалось прикосновение к первому муравью, окончанием — выход из гнезда двух первых фуражиров. Для расчетов использовали время последнего контакта разведчика с фуражирами, после которого группа выходила из гнезда за пищей.

Для того чтобы исключить возможность использования пахучего следа, во всех вариантах опыта установку заменяли на тождественную (новую) в то время, когда разведчик контактировал с фуражирами в гнезде. В ходе эксперимента кормушку помещали на разные «ветки» — от 1-й до 60-й. Номера «веток» в последовательных опытах выбирались в произвольном порядке. В ходе каждого опыта с кормушкой, расположенной на i -той ветке, работали последовательно все группы фуражиров, которые были активны в этот день (от I до IV). Всего в 1984—1985 гг. в опытах участвовало 26 групп фуражиров из двух лабораторных семей *F. polyctena*, а в 1992 г. — 6 групп из одной семьи. На установке с вертикальным расположением «веток» («вертикальный ствол» — рис. 2, а) было проведено 15 опытов, во время которых работало 5 разведчиков и их группы фуражиров (группы I—V в табл. 1). Для того, чтобы проверить, не зависит ли время передачи информации о номере «ветки» от ее длины, а также от расстояния между «ветками», аналогичную серию

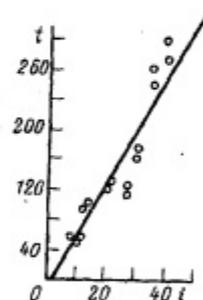
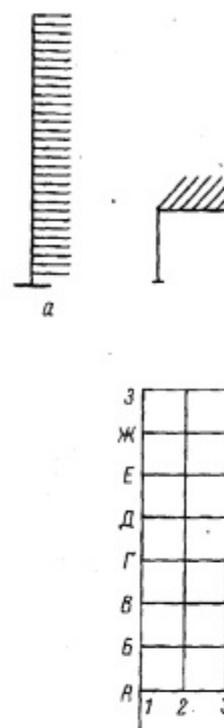


Рис. 3

опытов (всего 16) проводили между «ветками» было разным (всего 16 опытов). Чтобы формы установки, мы их проводили в 1984—1985 установке «круг» — рис.

Исследование способностей объекта проводили в 15 плоской решетки из тон (рис. 2, в), покрашенной б

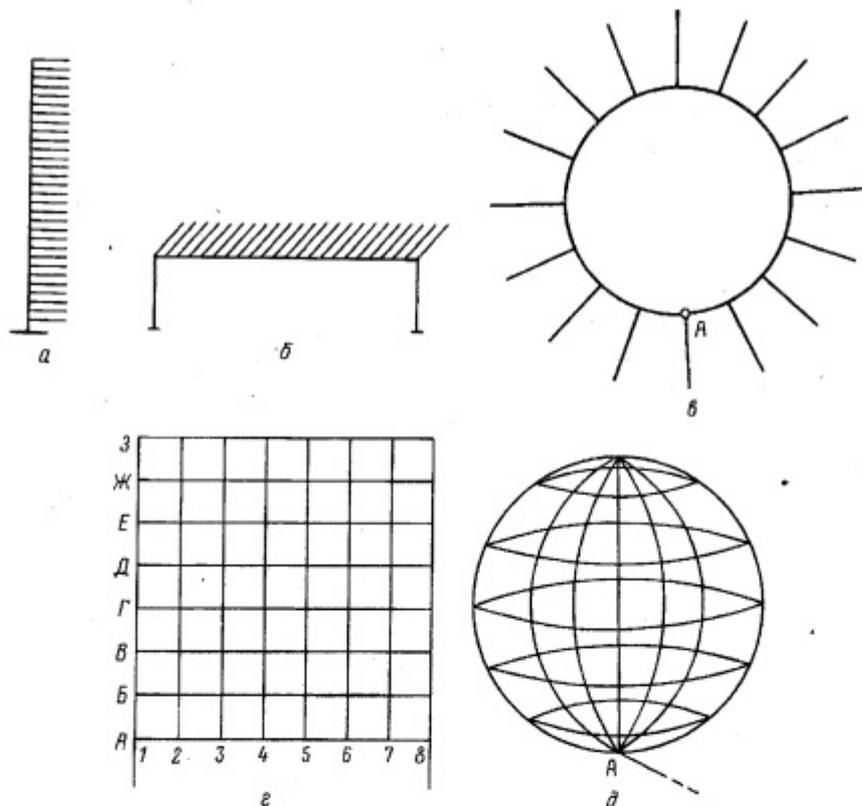


Рис. 2.

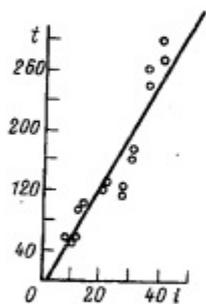


Рис. 3

Рис. 2. Экспериментальные установки для исследования способности муравьев к счету и передаче сведений о координатах кормушки: а — «вертикальный ствол», б — «горизонтальный ствол», в — «круг», г — «декартовы координаты» («решетка»), д — «глобус»

Рис. 3. Зависимость времени контакта разведчика с фуражирами t от номера «ветви» с кормушкой i . Установка «вертикальный ствол» № 1

опытов (всего 16) проводили на таком же «вертикальном стволе», где расстояние между «ветками» было вдвое больше, а сами «ветки» в 3 и в 5 раз длиннее (для разных опытов). Чтобы исследовать, зависит ли время передачи информации от формы установки, мы использовали «горизонтальный ствол» (рис. 2, б; 30 опытов проводили в 1984—1985 гг. и 10 опытов — в 1992 г.; 38 опытов проводили в 1985 г. на установке «круг» — рис. 2, в).

Исследование способности муравьев к передаче информации о координатах объекта проводили в 1986 г. с помощью установки «декартовы координаты» — плоской решетки из тонких металлических прутьев (8×8 , 6×6 , 5×5 линий — рис. 2, г), покрашенной белой нитроэмалью и укрепленной так, что муравьи могли

попасть по мостику только в начальную точку лабиринта (точка А на рис. 2, г). Дальнейшее передвижение было возможно только по прутьям решетки. В одном из вариантов решетка имела вид «глобуса» с пятью «меридианами» и пятью параллелями, причем мостик вел на нижний «полюс» (рис. 2, д). В ходе опытов кормушка перемещалась на разные узлы решетки, а на остальных располагались пустые кормушки. На четырех установках работало 5 групп фуражиров из двух лабораторных семей *F. polycтена*.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

I. Способность муравьев к оценке числа объектов и к передаче этой информации фуражирам. На всех пяти установках работало в общей сложности 32 группы фуражиров (5 — в 1984, 21 — в 1985 и 6 — в 1992 г.). 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 «ветке» с кормушкой, не совершая ошибочных заходов к пустым кормушкам. В оставшихся случаях муравьи приходили к пустым кормушкам и начинали искать пищу путем перебора соседних «веток». Во всех опытах (всего 35), когда фуражиры не находили кормушку, работали одни и те же «неспособные» разведчики. Они выявлялись в ходе опытов и в дальнейшем не допускались на рабочую часть arenas. В табл. 1 в качестве примера приведены результаты опытов на одной из установок.

Поскольку на всех установках было не менее 25 «веток», то вероятность случайного прихода к «ветке» с кормушкой с первого раза не больше 1/25. Таким образом, высокую вероятность подхода к кормушке с первой попытки можно объяснить только тем, что группа фуражиров руководствовалась сведениями, полученными от разведчика (вероятность прийти к кормушке случайно не менее чем в 117 случаях из 152 меньше 10^{-100}). В контрольных тестах муравьи, в том числе и разведчики, допущенные на установку между сеансами и не знакомые с координатами кормушки, как правило, не находили пищу, хотя активно искали ее, обследуя пустые «ветки».

На графике (рис. 3) приведены результаты опытов, проведенных на разных установках. Видно, что связь между номером «ветки» i и временем контакта разведчика с фуражирами t близка к линейной, о чем свидетельствует также высокое значение коэффициентов корреляции (см. табл. 2). На установке «круг» номер «ветки» с кормушкой i отсчитывался от точки А против часовой стрелки, так как во всех случаях муравьи после контакта с разведчиком двигались только в этом направлении, даже когда путь по часовой стрелке был значительно короче (причины этого нам не известны). Интересно также отметить, что на установке «вертикальный ствол» фуражиры после контакта с разведчиком сначала быстро поднимались до верхнего конца «ствола», а затем медленно возвращались обратно, к «ветке» с пищей. Поэтому номер «ветки» i мы отсчитывали от верхней точки «ствола».

Для всех наших установок, имеющих различную форму и ориентацию, а также разную длину веток и разное расстояние между ними, зависимость времени передачи информации t от номера «ветки» i одинаково хорошо описывается эмпирическим уравнением вида $t = ai + b$.

II. Передача информации о координатах объекта. На четырех экспериментальных установках работало в общей сложности 5 групп разведчик — фуражиры. Всего 40 раз группа выходила из гнезда и направлялась к кормушке. Напомним, что разведчика специально удаляли. При этом в 31 случае фуражиры приходили к кормушке менее чем за 5 мин. В оставшихся случаях муравьи приходили к пустым кормушкам и начинали искать пищу путем перебора «узлов».

Интересно отметить, что в тех случаях, когда группа направлялась к кормушке после контакта с разведчиком, фуражиры двигались от начальной точки достаточно быстро, но не компактной группой, а достигали «узла» с кормушкой каждый своим путем, причем далеко не всегда путь, выбранный фуражиром в первый раз, использовался им при повторных рейдах. Конкретные траектории приведены в

Коэффициенты коррел

Тип установки

«Вертикальный ствол» №
«Вертикальный ствол» №
«Горизонтальный ствол» 1
«Горизонтальный ствол» 1
Круг

Примечание. r — коэффициент

Траектории мурав

Дата, координаты кормушки	Траект
31.VII.1986 Б ₆	
9.VIII Г ₄	
11.VIII Г ₄	

Примечание. Звездочкой о
ляет траектории разных ос

табл. 3. В табл. 4 пр
контакт со своими гр

Для того чтобы пр
кормушки руководств
на серия контрольные
«решетке» 8 × 8, в
ходить по нему 15 ми

2, з).
ДНОМ
ЯТЬЮ
ЫТОВ
ЛЫШ
ДВУХ

фор-
и 32
уппы
сь к
ке» с
ихся
уем
дили
ходе
стве

юсть
ским
жно
ями,
еене
том
ые с
кали

зных
раз-
кое
омер
к во
рав-
того
ный
ь до
е» с

кже
мени
ется

мен-
к —
шке.
иры
авьи
юв».
туш-
ста-
дый
раз,
ны в

Таблица 2

Коэффициенты корреляции и доверительные интервалы для коэффициентов уравнения линейной регрессии

Тип установки	Объем выборки (число опытов)	Максимальное число веток	Показатели		
			r	a ± Δa	b ± Δb
«Вертикальный ствол» № 1	15	40	0,93	7,3 ± 4,1	-28,8 ± 0,51
«Вертикальный ствол» № 2	16	60	0,99	5,88 ± 0,44	-17,11 ± 0,65
«Горизонтальный ствол» № 1	30	25	0,91	8,54 ± 1,1	-22,2 ± 0,62
«Горизонтальный ствол» № 2	21	17	0,88	4,92 ± 1,27	-18,94 ± 47,5
Круг	38	25	0,98	8,62 ± 0,52	-24,4 ± 0,61

Примечание. r — коэффициент корреляции, ±Δ — 95%-ный доверительный интервал.

Таблица 3

Траектории муравьев при движении к кормушке на «решетке» 8 × 8 линий (рис. 1, з)

Дата, координаты кормушки	Траектории разведчика	Траектории фуражиров	Траектории фуражиров, не достигших цели
31.VII.1986 Б ₆	A ₁ I ₁ I ₃ I ₁ I ₃ B ₃ B ₆ * A ₁ I ₁ I ₃ I ₄ G ₄ Г ₃ B ₃ B ₆ * A ₁ A ₆ B ₆	A ₁ I ₁ I ₈ B ₈ B ₆ A ₁ B ₁ B ₆ A ₁ A ₈ B ₈ B ₇ B ₇ B ₈ B ₇ B ₇ A ₇ A ₈ B ₈ B ₆ A ₁ A ₈ B ₈ B ₆ A ₁ B ₁ B ₈ B ₆ B ₆ A ₁ B ₁ B ₆ A ₅ A ₆ B ₆	A ₁ D ₁ D ₃ I ₃ I ₆ I ₁ A ₁ A ₆ B ₆ I ₆ I ₈ E ₈ E ₄ I ₄ И ₇ I ₁ A ₁ I ₁ A ₁ A ₁ G ₁ G ₂ E ₂ E ₄ E ₃ I ₃ I ₁ B ₁ A ₁ B ₁ B ₂ B ₂ B ₁ B ₅ Ж ₆ Ж ₉ B ₉ B ₁ A ₁
9.VIII Г ₄	A ₁ A ₃ Г ₃ Г ₄	A ₁ A ₃ B ₃ B ₂ Ж ₁ B ₁ I ₁ Ж ₁ A ₁ I ₁ I ₈ B ₈ B ₆ Г ₄ A ₁ A ₃ Г ₃ Г ₄ A ₁ A ₃ Г ₃ Г ₄ * A ₁ I ₁ A ₁ I ₁ I ₈ З ₉ B ₉ B ₆ B ₄ B ₆ Г ₆ Г ₄ A ₁ A ₂ B ₂ B ₆ Г ₆ Г ₄	A ₁ I ₁ I ₈ I ₁ A ₁ A ₈ A ₆ B ₆ Д ₆ Д ₄ И ₄ И ₈ I ₁ A ₁ A ₁ A ₈ A ₃ Г ₃ Д ₃ Д ₅ I ₃ I ₁ I ₃ И ₁ A ₁ B ₁ B ₂ I ₂ I ₄ E ₄ Ж ₄ И ₄ I ₁ B ₁ A ₁ A ₂ I ₂ I ₁ B ₁ A ₁
11.VIII Г ₄	A ₁ B ₁ B ₂ B ₆ Г ₆ Г ₄	A ₁ A ₉ Г ₉ Г ₄ A ₁ A ₈ Г ₈ Г ₄ A ₁ Г ₃ Г ₃ Г ₄ * A ₁ A ₂ I ₂ I ₄ Г ₄ A ₁ A ₃ Г ₃ Г ₄	A ₁ A ₈ A ₄ I ₄ I ₈ З ₈ I ₈ A ₈ A ₁ A ₁ B ₁ B ₈ A ₈ A ₁

Примечание. Звездочкой отмечены повторные траектории фуражиров или разведчиков; знак «*» разделяет траектории разных особей.

табл. 3. В табл. 4 приведены данные о времени, затраченном разведчиками на контакт со своими группами.

Для того чтобы проверить, действительно ли муравьи-фуражиры при посещении кормушки руководствуются сведениями, полученными от разведчика, была проведена серия контрольных опытов, когда все муравьи получали возможность доступа к «решетке» 8 × 8, в одном из «узлов» которой находилась кормушка, и могли ходить по нему 15 мин. (Напомним, что в экспериментах разведчика подсаживали

Результаты опытов на установках «декартовы координаты»

Экспериментальная установка	Номер опыта	Координаты кормушки	Число фуражиров, достигших (+) и не достигших (-) кормушки		Время, затраченное разведчиком на контакт с фуражирами, с
			«+»	«-»	
«Решетка» 8 × 8	1	Ж ₇	4	2	60
	2	Б ₆	5	2	70
	3	Б ₆	3	1	80
	4	Б ₆	5	0	65
	5	Г ₄	4	2	90
	6	Г ₄	4	2	100
	7	Г ₄	7	1	95
	8	З ₄	6	2	90
	9	З ₄	5	0	105
	10	Ж ₂	5	1	110
	11	Ж ₂	5	0	105
6 × 6	12	В ₂	6	0	60
	13	В ₂	7	0	55
	14	В ₄	5	0	70
	15	Д ₂	6	0	44
	16	Д ₂	5	1	52
	17	Д ₂	6	1	48
5 × 5	18	В ₆	4	0	40
	19	В ₆	4	0	45
	20	В ₆	5	1	40
	21	В ₂	6	2	50
	22	Б ₁	4	0	56
«Глобус»	23	Б ₄	3	0	80
	24	Б ₄	4	1	72
	25	Б ₄	4	0	65
	26	Г ₄	4	0	50
	27	Г ₄	4	0	58
	28	Г ₂	6	1	45
	29	Г ₂	5	2	52
	30	Г ₂	3	0	50
	31	Г ₂	3	0	60

Результаты:

Экспериментальная установка

«Решетка»
8 × 8

6 × 6

5 × 5

«Глобус»

муравьи способны перемещаться по плоскости.

в кормушку специально.) Результаты приведены в табл. 5. Положительным считался результат, когда за отведенное время (15 мин) кормушку нашел хотя бы один муравей. В 22 случаях из 30 ни один фуражир не находил пищу.

Введем две статистические гипотезы: H_0 — вероятность обнаружения кормушки в опытах, когда муравьи «направлены» разведчиком, такая же, как и в опытах со свободным поиском кормушки; альтернативная гипотеза H_1 — вероятность обнаружения пищи «направленными» фуражирами больше, чем в случаях свободного поиска кормушки. Для проверки H_0 против H_1 используем критерий χ^2 [14]. Вычисления показывают, что гипотеза H_0 отвергается в пользу H_1 при уровне значимости 0,001. Таким образом, из приведенных данных следует, что

Из описанных в ра-
объектов в пределах
друг другу. Гипотеза
«ветки», а скажем, о
характеристиках, на
предположение спра
количественными ха

Результаты контрольных опытов на установках «декартовы координаты»

Экспериментальная установка	Номер	Координаты кормушки	Число муравьев, посетивших лабиринт	Результаты 15-минутных поисков
«Решетка» 8 × 8	1	Ж ₇	12	+
	2	Б ₆	7	—
	3	Б ₆	10	—
	4	Б ₆	6	—
	5	Г ₄	12	—
	6	Г ₄	4	—
	7	Г ₄	1	—
	8	З ₄	9	—
	9	З ₄	5	+
	10	Ж ₂	8	—
6 × 6	11	В ₄	8	—
	12	В ₄	8	—
	13	В ₄	6	—
	14	Д ₂	4	—
	15	Д ₂	9	+
	16	Д ₂	2	—
5 × 5	17	В ₆	4	—
	18	В ₆	5	+
	19	В ₆	6	—
	20	Б ₂	6	—
	21	Б ₂	3	—
	22	Б ₄	3	—
	23	Б ₄	9	+
	24	Б ₄	10	—
«Глобус»	25	Г ₄	11	—
	26	Г ₄	10	—
	27	Г ₂	6	+
	28	Г ₂	7	—
	29	Г ₂	12	—
	30	Г ₂	3	—

муравьи способны передавать друг другу сведения о координатах кормушки на плоскости.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Из описанных в разделе I опытов следует, что муравьи могут оценивать число объектов в пределах нескольких десятков и способны передавать эти сведения друг другу. Гипотетически муравьи могли бы передавать сведения не о номере «ветки», а скажем, о расстоянии до нее или о каких-либо других количественных характеристиках, например, о числе «шагов» до кормушки и т. п. Даже если это предположение справедливо, то следует вывод о том, что муравьи оперируют количественными характеристиками и передают информацию о них друг другу.

Однако для всех наших установок, имеющих различную форму и ориентацию, а также разную длину «веток» и разное расстояние между ними, зависимость времени передачи информации t от номера «ветки» i одинаково хорошо описывается эмпирическими уравнениями вида $t = ai + b$. При этом значения параметров a и b близки для всех вариантов, и не зависят ни от длины «веток», ни от других характеристик установок. Следовательно, весьма вероятен вывод о том, что муравьи передают сведения именно о номере «ветки».

Результаты опытов с установкой «декартовы координаты» (раздел II) показали, что муравьи способны запоминать и передавать сведения о местоположении кормушки на плоскости. Априори можно предположить разные механизмы кодирования или представления сведений о местоположении кормушки: один гипотетический способ — пронумеровать все узлы решетки и передавать номер узла с кормушкой. Другой способ, условно названный нами «координатным», таков: запомнить и передать номер строки и номер столбца, на пересечении которых находится кормушка. Например, на рис. 1, а координаты кормушки кодируются числами «2» и «6». Конечно, возможны и другие способы.

Сопоставление полученных результатов с данными о времени передачи информации о числе объектов, проведенное выше позволяет отвергнуть первый вариант: «нумеруя» все узлы решетки, муравьи должны были бы передавать все числа от 1 до 64 (в среднем 32 в случае лабиринта 8×8). Для передачи числа 32 у данного вида муравьев затрачивается 170—250 с, а в опытах с решеткой 8×8 время контакта разведчика с фуражирами составляло 60—150 с (среднее 87,2), т. е. примерно вдвое меньше. В случае с решетками 6×6 и 5×5 среднее время передачи сведений о координатах кормушки также в 2—2,5 раза меньше, чем при передаче чисел 18 и 12 соответственно. Таким образом, полученные данные позволяют отвергнуть гипотезу «нумерации» ячеек решетки муравьями и не противоречат гипотезе использования ими «координатного» способа.

Приведенные результаты, так же как и данные предыдущих работ [12, 13, 23, 24], позволяют сделать вывод о достаточно высоком уровне элементарной рассудочной деятельности отдельных особей муравьев вида *Formica polyctena*, что включает наличие сравнительно развитого языкового поведения. Способность муравьев этого вида ориентироваться в кронах деревьев и в высоком травостое в пределах обширных охраняемых территорий [2, 4, 25] является хорошим тому подтверждением.

ВЫВОДЫ

1. Муравьи *Formica polyctena* способны воспринимать, запоминать и передавать друг другу сведения о числе объектов в пределах нескольких десятков.
2. Отдельные особи муравьев могут запоминать и передавать сведения о местоположении объекта на плоскости, используя, по-видимому, координатный способ представления информации.
3. Наличие сравнительно развитого языкового поведения дает представление о достаточно высоком уровне элементарной рассудочной деятельности у муравьев.
4. Предлагаемый теоретико-информационный подход может быть применен для изучения систем коммуникации и элементарной рассудочной деятельности других видов социальных животных.

Авторы благодарят З. А. Зорину за плодотворную дискуссию по сравнительному анализу элементарной рассудочной деятельности беспозвоночных и позвоночных животных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дериш-Оглу Е. Н., Егорова Г. В. Экспериментальное исследование способности к различению числа стимулов у птиц (на примере мухоловки-пеструшки *Muscicapa hypoleuca*) // Зоол. журн. 1982. Т. 61. № 10. С. 1543.

2. Длусский Г. М. Мура
3. Еськов Е. К. Акустик
4. Захаров А. А. Органи
5. Зорина З. А. Сравнител
6. Зорина З. А. Физиолог
7. Карась А. Я., Удалов
8. Крушинский Л. В. Би
9. Левченко И. А. Пере
10. Мазохин-Поршняко
11. Мазохин-Поршняко
12. Резникова Ж. И. Кол
13. Резникова Ж. И., Р.
14. Урбах В. Ю. Биометр
15. Davis H., Memmot J.
16. Frisch K. Tanzsprache
17. Callistel C. R. Animal
18. Gardner R. A., Gardn
19. Herman L. M.,
20. Lindauer M. Commun
21. Pepperberg I. M. Acq
22. Rumbaugh D. M., P.
23. Reznikova Zh. I., Ryg
24. Reznikova Zh. I., Ryg
25. Rosengren R., Forte

Институт систематики и
СО РАН,
Новосибирский электр
институт связи

TRANSMISSI

Novosib

In the laborator
(*Formica polyctena*
coordinates of obje
branches ended in:
consisted of the lat
of the through and
as being able to e
nestmates as well

2. Длусский Г. М. Муравьи рода *Formica*. М.: Наука, 1967. 236 с.
3. Еськов Е. К. Акустическая сигнализация общественных насекомых. М.: Наука, 1979. 207 с.
4. Захаров А. А. Организация сообществ у муравьев. М.: Наука, 1991. 277 с.
5. Зорина Э. А. Сравнительные исследования некоторых сложных форм обучения у птиц//Сравнительная физиология ВНД человека и животных. Л.: Наука, 1990. С. 21.
6. Зорина Э. А. Рассудочная деятельность птиц: Автореф. ... дисс. докт. биол. наук. М.: МГУ, 1993. 61 с.
7. Карась А. Я., Удалова Г. П., Загорова Е. В. Роль мотивации при обучении муравьев *Myrmica rubra* в многоальтернативном лабиринте//Вестн. ЛГУ. 1986. Сер. 3. № 4. С. 43.
8. Крушинский Л. В. Биологические основы рассудочной деятельности. М.: МГУ, 1977. 272 с.
9. Левченко И. А. Передача информации о координатах источника корма у пчелы медоносной. Киев: Наук. думка, 1976. 250 с.
10. Мазохин-Поршняков Г. А. Обобщение зрительных стимулов как пример решения пчелами отвлеченных задач//Зоол. журн. 1969. Т. 48. С. 1125.
11. Мазохин-Поршняков Г. А. Как оценить интеллект животных?//Природа. 1989. № 4. С. 18.
12. Резникова Ж. И. Количественное исследование языка муравьев//Докл. АН СССР. 1985. Т. 280. № 5. С. 1120.
13. Резникова Ж. И., Рыбко Б. Я. Теоретико-информационный анализ языка муравьев//Журн. общ. биол. 1990. Т. 51. Вып. 5. С. 601.
14. Урбах В. Ю. Биометрические методы. М.: Наука, 1964. 410 с.
15. Davis H., Memmot J. Counting behaviour in animals: A critical evaluation//Psychol. Bull. 1982. V. 92. P. 547.
16. Frisch K. Tanzsprache und Orientierung der Bienen. Berlin, Heidelberg, N.-Y.: Springer-Verlag, 1965. 560 s.
17. Callistel C. R. Animal cognition: The representation of space, time and number//Ann. Rev. Psychol. 1986. V. 40. P. 155.
18. Gardner R. A., Gardner B. T. Teaching sign language to a Chimpanzee//Science. 1969. V. 165. P. 664.
19. Herman L. M., Richards D. G., Wolz J. P. Comprehension of sentences by bottlenosed dolphins//Cognition. 1984. V. 16. P. 129.
20. Lindauer M. Communication among Social Bees. Cambridge: Harvard Univ. Press, 1961. 560 p.
21. Pepperberg I. M. Acquisition of the same — different concept by an African Grey parrot (*Psittacus eritacus*): Learning with respect to categories of colour, shape and material//Anim. Learn and Behav. 1987. V. 15. P. 423.
22. Rambaugh D. M., Pate J. I. The evolution of cognition in primates: a comparative perspective//Ania. Cognition/Eds. H. L. Ratlat, T. C. Bever, H. S. Terrace. Hillsdale, N.-Y.: Erlbaum, 1984. P. 569.
23. Резникова Ж. И., Рыбко Б. Я. Information Theory approach to communication in ants//Sensory systems and communication in Arthropods//Advances Life Sci. Basel, 1990. P. 305.
24. Резникова Ж. И., Рыбко Б. Я. Experimental study of the ants communication system with the application of the information theory approach//Memorabilia Zoologica. 1994.
25. Rosengren R., Fortelius W. Trail communication and directional recruitment to food in red wood ants (*Formica*)//Ann. Zool. Fennici. 1987. V. 24. P. 137.

Институт систематики и экологии животных
СО РАН,
Новосибирский электротехнический
институт связи

Поступила в редакцию
16.II.1994
Принята в печать
21.IX.1994

TRANSMISSION OF INFORMATION ON QUANTITATIVE CHARACTERISTICS OF AN OBJECT IN ANTS

REZNIKOVA Zh. I., RYABKO B. Ya.

*Institute of Systematics and Ecology of Animals,
Russian Academy of Sciences, Siberian Branch*

Novosibirsk Electro-Engineering Institute of Communication, Novosibirsk

In the laboratory experiments devised on the basis of the Information Theory, ants (*Formica polyctena* Foerst.) had to transmit definite information on the number and coordinates of objects. One of the experimental sets consisted of a long «trunk» with branches ended in an empty trough, except for one filled with sugared water. Another set consisted of the lattice which simulated Cartesian coordinates. Ants had to learn position of the through and transmit its coordinates on the lattice. Obtained results suggest ants as being able to estimate the number of objects and transmit this information to their nestmates as well as the information on the coordinates of objects.