

УДК 595.796:591.5

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБНОСТЕЙ
МУРАВЬЕВ К ПРОСТЕЙШИМ АРИФМЕТИЧЕСКИМ ОПЕРАЦИЯМ,
ОСНОВАННОЕ НА ТЕОРЕТИКО-ИНФОРМАЦИОННОМ ПОДХОДЕ
К ИЗУЧЕНИЮ СИСТЕМ КОММУНИКАЦИИ ЖИВОТНЫХ**

© 1995 г. Ж. И. Резникова, Б. Я. Рябко

Представлено академиком В.К. Шумным 03.02.95 г.

Поступило 27.02.95 г.

В последние годы в этологии интенсивно исследуются когнитивные способности животных. В частности, доказано, что некоторые виды птиц и приматы способны к простейшим арифметическим операциям [1 - 3]. В данной работе приводятся результаты экспериментов, позволяющие сделать вывод о том, что муравьи способны прибавлять и вычитать небольшие числа. Эксперименты основаны на теоретико-информационном подходе, предложенном авторами и позволившем ранее доказать, что муравьи обладают развитым "языком" [4 - 7] и способны использовать числительные в пределах нескольких десятков [8 - 10].

Организация экспериментов. Для исследований были выбраны муравьи *Formica polyctena* Foerst., отличающиеся высоким уровнем социальной организации и лабильностью индивидуального поведения. Лабораторная семья численностью около 2 тыс. особей помещалась на арену площадью 2 м² в прозрачном гнезде, позволявшем фиксировать контакты между ними. Все муравьи, участвовавшие в опыте, были помечены индивидуальными метками с помощью цветных нитролаков. Муравьи получали пищу раз в три дня и только на экспериментальной установке. Опыты проводили в 1992 - 1994 гг. с тремя семьями, после отработки методики в 1991 г. Результаты 1992, 1993 и 1994 гг. весьма близки, поэтому здесь анализируются подробно только данные 1993 г.

Муравьям предлагалась установка в виде горизонтально расположенного "ствола" с 40 "ветками" длиной по 10 см, на каждой из которых нахо-

дилась кормушка, но только одна из них содержала сироп, а остальные - воду. В начальную точку "ствола" муравьи попадали по мостику. Для получения пищи муравьям необходимо было передавать сведения о номере ветки с кормушкой. Как было показано ранее [6], 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 об этом фуражирам. Во всех опытах мы специально подсаживали разведчика на "ветку" с пищей. Затем он возвращался в гнездо самостоятельно. Иногда он сразу начинал контактировать с членами своей группы, после чего группа выходила из гнезда и направлялась к установке. В этом случае мы временно изолировали разведчика, заставляя фуражиров отыскивать пищу самостоятельно. Но чаще разведчик после возвращения в гнездо возвращался к кормушке один и иногда находил пищу только после поиска на соседних "ветках". Затем он снова контактировал со своей группой в гнезде и выходил либо вместе с ней, либо снова один. В первом случае разведчика мы изолировали, во втором все повторялось сначала. Иногда число одиночных рейсов разведчика достигало 4 - 5, прежде чем он выводил свою группу. Во всех случаях мобилизации группы мы фиксировали время контакта (в секундах) разведчика с фуражирами в гнезде. Началом контакта считалось прикосновение к первому муравью, окончанием - выход из гнезда двух первых фуражиров. В расчетах мы использовали продолжительность последнего контакта, после которого фуражиры выходили из гнезда за пищей, так как обычно во время начальных контактов происходил трофаллаксис (обмен пищей) разведчика

*Институт систематики и экологии животных
Сибирского отделения Российской Академии наук,
Новосибирск*

*Сибирская государственная академия
телекоммуникации и информатики, Новосибирск*

с фуражирами, играющий иницирующую роль в привлечении их к источнику пищи, занимающий немного времени (до 5 с) и, по-видимому, не несущий специфической информации.

Для того чтобы исключить гипотетически возможное использование пахучего следа, а также запаха сахарного сиропа, установка заменялась на тождественную в то время, когда разведчик 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 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. Во время каждой серии опытов с кормушкой, помещенной на i -й ветке, работали последовательно все группы фуражиров, которые были активны в этот день (от одной до трех). Пока длился сеанс с одной группой, фуражиры из остальных групп на установку не допускались (с помощью перегородки, ограничивающей рабочую часть арены).

Идея эксперимента 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 какого-либо сообщения длина кодирующего его слова уменьшается.

Эксперимент был разбит на три этапа: на первом из них вероятность помещения кормушки на любую из веток составляла $1/30$; на втором нами были выделены две "особые" ветки А и В (в 1993 г. – № 10 и 20, в 1992 г. – № 7 и 14, в 1994 г. – № 10 и 19), на которых приманка стала появляться существенно чаще – с вероятностью $1/3$ для А и для В (и с вероятностью $1/84$ для любой из остальных 28 веток). Таким образом, частота сообщений "пища на ветке А" и "пища на ветке В" резко возросла и, как оказалось, к концу второго этапа муравьи существенно сократили время передачи об этих двух сообщениях. На третьем этапе номер ветки с приманкой опять выбирался с равной вероятностью, в диапазоне от 1 до 30, т.е. так же, как на первом этапе.

Оказалось, что зависимость времени передачи (t) сведений о том, что кормушка находится на ветке с номером i на первом этапе эксперимента, близка к линейной (выборочный коэффициент корреляции, характеризующий силу связи, равен 0.899). На третьем этапе характер зависимости оказался существенно иным: время передачи о номере ветки i было в среднем тем меньше, чем ближе ветка находилась к одной из "особых", № 10 и 20, или к началу лабиринта. Так, например, на передачу сообщения о том, что кормушка находится на ветке № 11, на первом этапе муравьи затрачивали 70 - 82 с, а на передачу сообщения о первой ветке – 8 - 12 с. На третьем этапе на передачу сообщения о ветке № 11 затрачивалось 5 - 15 с.

Анализ времени передачи сообщений муравьями позволяет предположить, что на третьем этапе эксперимента 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. Отметим, что это напоминает римскую систему счисления (например, VII представляется как V + II, IX = X - I и т.д.).

Для того чтобы доказать это статистически, мы подсчитали коэффициент корреляции между временем передачи информации о том, что кормушка находится на ветке i и расстоянием от i до ближайшей "особой" ветки, по данным, полученным на третьем этапе. Он во всех трех сериях экспериментов превосходит 0.7 и достоверно отличается от нуля.

В целом полученные результаты подтверждают гипотезу о том, что на третьем этапе эксперимента время передачи сведений о номере ветки тем меньше, чем ближе эта ветка к одной из "особых" (или к первой). Высокое значение коэффициента корреляции между этими величинами показывает, что эта зависимость близка к линейной. Это, в свою очередь, позволяет предположить, что муравьи на третьем этапе эксперимента использовали "систему счисления", напоминающую римскую, а числа 10 и 20 в первой серии опытов, 7 и 14 и 10 и 19 – во второй и в третьей играли роль, аналогичную роли римских цифр V и X. При этом муравьи должны были складывать и вычитать небольшие числа (одно из слагаемых и вычитаемые в наших опытах изменялись от 1 до 5).

Исследования поддержаны Российским фондом фундаментальных исследований (грант № 93-04-07733, Ж.И. Резниковой).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Pepperberg I.M.* XXIII Intern. Ethol. Conference. 1993. Torremolinos. Spain. 1993. P. 4.
2. *Matsuzawa T.* Ibid. P. 11.
3. *Зорина З.А.* Рассудочная деятельность птиц. Дис. ... докт. биол. наук. М.: МГУ, 1993.
4. *Резникова Ж.И., Рябко Б.Я.* Тез. докл. VI Междунар. симп. по теории информации. М.: Наука, 1984. Ч. 2. С. 147 - 150.
5. *Резникова Ж.И.* // ДАН. 1985. Т. 280. № 5. С. 1120 - 1123.
6. *Резникова Ж.И., Рябко Б.Я.* // Журн. общ. биологии. 1990. Т. 51. № 5. С. 601 - 609.
7. *Reznikova Zh.I., Ryabko B.Ya.* // Mem. Zool. 1994. V. 48. P. 219 - 236.
8. *Reznikova Zh.I., Ryabko B.Ya.* In: Sensory Systems and Communication in Arthropods / K. Wiese et al. Eds. Basel: ALS Birkhäuser Verlag, 1990. P. 305 - 307.
9. *Резникова Ж.И., Рябко Б.Я.* // ДАН. 1987. Т. 294. № 3.
10. *Reznikova Zh.I., Ryabko B.Ya.* In: Sensory Systems of Arthropods. // K. Wiese et al. Eds. Basel: ALS Birkhäuser Verlag, 1993. P. 634 - 639.