

УДК 621.391.1:595.7

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

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИДЕЙ И МЕТОДОВ ТЕОРИИ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ
ИССЛЕДОВАНИЯ ПЛАСТИЧНОСТИ ЯЗЫКА МУРАВЬЕВ И ИХ
СПОСОБНОСТИ К СУММИРОВАНИЮ И ВЫЧИТАНИЮ
НЕБОЛЬШИХ ЧИСЕЛ¹**

В экспериментах для получения пищи муравьи 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 способны, во-первых, 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.

§ 1. Введение

В этологии (науке о поведении животных) интенсивно исследуются когнитивные способности животных, такие, как способность к экстраполированию, абстрагированию, счету, использованию простейших арифметических операций и т.п. Были обнаружены способности некоторых высших позвоночных животных, а также медоносных пчел и общественных ос к абстрагированию, оперированию пространственно-геометрическими признаками предметов [1-3]. Продемонстрирована способность к счету и к простейшим арифметическим операциям у шимпанзе [4], попугая серого жако [5] и врановых птиц [6], а также возможность использования приматами таких визуальных символов, как лексиграммы, буквы и цифры арабского алфавита [7, 8].

Существенное внимание привлекает задача изучения системы коммуникации высоко социальных животных, таких, как приматы, дельфины, муравьи, термиты, пчелы. К настоящему времени показано, что приматы и дельфины довольно легко овладевают символическими языками-посредниками, разработанными экспериментаторами [9-11]. В классических опытах К. Фриша и его последователей [12, 13], было доказано существование символического языка танцев у медоносных пчел и расшифрованы его элементы.

В настоящее время доказано существование достаточно развитого абстрактного языка у муравьев, причем доказательства базируются не на прямой "расшифровке" языка, а на экспериментах, основанных на идеях теории информации [14-16]. Этот подход также позволил доказать, что муравьи способны подмечать простейшие закономерности и использовать числительные в пределах нескольких десятков [17-21].

¹Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Международного научного фонда и Правительства России (ISF Grant JFM 100).

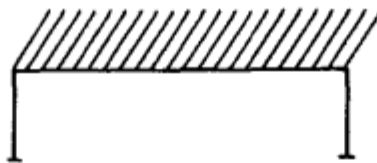


Рис. 1. Схематичное изображение экспериментальной установки

Мы считаем, что идеи и методы теории информации могут являться основой и для исследования других когнитивных способностей социальных животных. В данной работе исследуется способность муравьев к адаптации системы коммуникации к изменяющимся условиям и возможность использования простейших арифметических операций.

Эксперименты по исследованию пластичности языка муравьев основаны 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 (например, даже в официальных документах вместо "Правительство Российской Федерации" часто используют слово "Кремль", а вместо "Правительство Соединенных Штатов" – "Белый Дом" и т.п.). В значительной степени этой же цели служат слова профессиональных жаргонов, аббревиатуры, местоимения и т.п. Существуют гипотезы, объясняющие известный в лингвистике закон Ципфа также необходимостью согласования частоты использования слов с их длиной [22, 23].

Подчеркнем, что задача изменения длины сообщения при увеличении частоты его встречаемости решается коллективно носителями языка и, несомненно, относится к одному из проявлений когнитивных способностей.

В описываемых опытах муравьям предлагалась лабораторная установка в виде горизонтально расположенного "гребня" (рис. 1). Основа (или "ствол") длиной 70 см устанавливалась на ножках, покрытых скользким для муравьев веществом, так что они могли попасть только в начальную точку по съемному мостику. На равном расстоянии одна от другой от ствола отходили плоские "ветки" длиной 10 см. На каждой из них находилась кормушка, но только одна из них содержала сироп, а остальные воду. В эксперименте создавалась ситуация, когда муравьям для получения пищи необходимо было передавать сведения о номере ветки с кормушкой (такая же установка применялась при доказательстве использования числительных в языке муравьев [17]). В первой части эксперимента номер ветки с кормушкой, предлагаемый муравьям в очередном опыте, выбирался с помощью таблицы случайных чисел в пределах 30. Оказалось, что время передачи сообщения – кормушка на ветке № i – в этой части эксперимента было примерно пропорционально i , как и в аналогичных опытах, проводимых в 1984 – 1985 гг. [17].

Во второй части эксперимента мы резко увеличили необходимость использования двух сообщений – кормушка на ветке № 10 и кормушка на ветке № 20, – устанавливая кормушку на каждой из веток (№ 10 и № 20) с вероятностью $1/3$, а на каждой из остальных 28 веток – с вероятностью $1/84$.

После серии опытов из нескольких десятков повторностей муравьи существенно сократили время передачи сообщения – кормушка на ветке № 10 и кормушка на ветке № 20 – по сравнению с первой частью эксперимента, когда кормушки устанавливались на любой из 30 веток с равной вероятностью, т.е. изменили свою систему

коммуникации, уменьшив продолжительность двух часто встречающихся сообщений. Это, по-видимому, свидетельствует о достаточно высокой пластичности языка муравьев.

Идея эксперимента, позволившего, по нашему мнению, показать, что муравьи способны прибавлять и вычитать небольшие числа (в пределах 5), основана на трансформации используемой ими "системы счисления". Как сказано выше, на первом этапе и в аналогичных опытах, описанных в [17, 20], время передачи сведений о том, что кормушка расположена на ветке № i , было пропорционально величине i . Отметим, что это напоминает способ представления чисел, использовавшийся в некоторых архаичных языках человека: число 1 кодировалось словом палец, 2 - палец, палец, 3 - палец, палец, палец, палец и т.д., тогда как в современных языках человека время при произнесении числа i и длина его написания примерно пропорциональны $\log i$. 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, XII = X + II, IX = X - I и т.д. В эксперименте мы сознательно вырабатывали у муравьев систему счисления, напоминающую "римский" способ представления чисел.

Отметим, что схему эксперимента "подсказали" муравьи, сформировав такую систему самостоятельно в эксперименте, проведенном в 1989 г. Тогда муравьи работали с установкой такого же типа, но серия опытов была примерно втрое длиннее, чем в 1984 - 1985 гг. Сначала время передачи информации о номере ветки было пропорционально его величине, но затем ситуация изменилась. Создалось впечатление, что муравьи выделили три "особых" ветки, и время передачи информации о нахождении кормушки на каждой из них было очень небольшим. Для всех же остальных веток время передачи информации было тем меньше, чем ближе они находились к одной из особых веток. В экспериментах, описываемых в данной работе, мы создали такую ситуацию искусственно, выделив ветки № 10 и № 20 как особые путем резкого увеличения частоты их использования.

После второго этапа мы вернулись к той же схеме проведения опыта, что и на первом этапе, т.е. устанавливали кормушку на каждую из 30 веток с вероятностью $1/30$, причем номер ветки выбирался с помощью таблицы случайных чисел. Однако время передачи сообщения на этом третьем этапе существенно отличалось от наблюдаемого на первом этапе и было в среднем тем меньше, чем ветка с кормушкой находилась к веткам № 10 и № 20, либо к ветке № 1. Анализ времени передачи сообщений о номере ветки с кормушкой позволил предположить, что на третьем этапе эксперимента сообщения муравья-разведчика состояли из двух частей: информация о том, к какой из особых веток (№ 10 и № 20) ближе находится ветка с кормушкой и затем, какое расстояние от особой ветки до ветки с кормушкой (так, например, на передачу сообщения о том, что кормушка находится на ветке № 11 на первом этапе муравьи затрачивали 70-82 сек., а на передачу сообщения о первой ветке - 8-12 сек.; на третьем этапе на передачу сообщения о ветке № 11 затрачивалось 5-15 сек.) Полученные данные позволяют предположить, что муравьи передавали "имя" особой ветки (№ 10 или № 20), а потом число, которое надо прибавить или отнять для нахождения номера ветки с кормушкой. Здесь особые ветки как бы приняли роль особых римских цифр V, X или L. Таким образом, муравьи должны были прибавлять и отнимать небольшие числа (как делают люди, например, при приведении числа 11 к виду $10 + 1$).

§ 2. Описание эксперимента

Муравьи жили на лабораторной арене площадью 2 м^2 в прозрачном гнезде из оргстекла, позволяющем фиксировать контакты между ними. Численность лабораторных семей составляла около двух тысяч особей. Все муравьи, выходящие из

гнезда на арену и участвовавшие в опытах, были помечены индивидуальными метками с помощью цветных нитролаков. Муравьи получали пищу один раз в три дня и только на экспериментальной установке. Опыты проводились в 1991 – 1993 гг. с двумя семьями муравьев *Formica polyctena*. В 1991 г. эксперимент остался незаконченным, но позволил примерно оценить необходимую продолжительность второго этапа. Результаты 1992 – 1994 гг. весьма близки, поэтому здесь подробно анализируются только данные 1993 г.

Известно, что у муравьев исследуемого вида при необходимости группового решения сложных фуражировочных задач деятельность организована следующим образом: муравьи разбиваются на относительно постоянные группы (4–8 особей), причем в каждой группе есть разведчик, который занимается поиском пищи. Обнаружив пищу, он сообщает об этом фуражирам. Во всех опытах разведчики специально подсаживались на ветку с приманкой. 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 мы изымали разведчика пинцетом и изолировали, заставляя тем самым группу фуражиров отыскивать пищу самостоятельно (в случае успешного поиска, когда группа оказывалась на нужной ветке, мы сразу присоединяли к ней и разведчика, а в случае неудачного поиска разведчика возвращали в гнездо). 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 выходил либо с этой группой, либо снова один. В первом случае мы изолировали разведчика, 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 разведчика с фуражирами в гнезде. Время измерялось в секундах. Началом контакта считалось прикосновение к первому муравью, окончанием – выход из гнезда двух первых фуражиров. Контакты сопровождались 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. Мы использовали только время последнего контакта, так как обычно во время начальных контактов происходил трофаллаксис, т.е. обмен жидкой пищей разведчика с фуражирами, играющий дополнительную иницирующую роль в привлечении их к источнику пищи и занимающий до 5 сек., но, по-видимому, не несущий никакой специфической информации. Суммарное время таких контактов было обычно небольшим и, как было установлено в опытах 1983 – 1986 гг., добавление этого времени к продолжительности последнего контакта практически не влияло на результат.

Для того, чтобы полностью исключить использование муравьями пахучего следа, оставляемого разведчиком, или запаха сахарного сиропа, в наших опытах установка заменялась на тождественную (новую) в то время, когда разведчик контактировал с фуражирами в гнезде. При этом замененная установка не содержала пищи и муравьи приходили к пустой ветке, на которой до замены установки была кормушка. Если туда приходила компактная группа, на ветку быстро помещалась кормушка с сиропом. Если часть муравьев (более одного) совершали ошибочный выбор ветки, выбор группы в целом считался ошибочным. Муравьев осторожно удаляли с установки, возвращали в гнездо, и опыт с этой группой заканчивался.

В ходе эксперимента кормушка помещалась на разные ветки – от 1-й до 30-й (на установке было 40 веток, но мы не помещали кормушку на ветки 31–40, так как из ранее проводившихся экспериментов было известно, что при использовании веток,

Таблица 1

Посещение муравьями *Formica ruginosa* установки "горизонтальный ствол" при экспериментальном изменении частоты встречаемости сообщений в системе коммуникации

Номер опыта	Номер ветки с кормушкой	Число фуражировочных групп муравьев:	
		достигших цели после контакта с разведчиком	совершивших ошибки
1	5	2	—
2	16	1	—
3	15	1	1
4	1	2	—
5	20	2	—
6	1	1	—
7	11	2	—
8	2	1	—
9	A	1	1
10	B	2	—
11	A	3	—
12	B	3	—
13	B	3	—
14	13	1	—
15	B	2	—
16	B	2	—
17	A	3	—
18	A	2	—
19	B	2	1
20	14	2	1
21	A	3	—
22	B	2	1
23	9	2	—
24	A	2	—
25	B	3	—
26	A	3	—
27	12	2	1
28	26	2	—
29	30	2	—
30	27	2	—
31	24	3	—
32	3	2	1
33	8	3	—
34	16	3	—
35	4	2	—
36	16	2	—
37	22	2	—
38	18	3	1
39	15	3	1
40	20	3	—
41	6	2	—
42	16	2	—
43	1	2	—
44	15	3	—
45	14	3	1
46	17	2	—
47	11	3	—
48	1	2	—
49	4	2	1

близких к концу установки, муравьи при передаче информации начинают отсчитывать номер ветки не от первой, а от последней, что затрудняет анализ результатов.

Во время каждой серии опытов с кормушкой, помещенной на ветке № i , 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).

Эксперимент был разбит на три этапа, и в ходе каждого из них менялась закономерность размещения кормушки на ветках с различными номерами. На первом этапе (см. табл. 1, опыты 1-7) при выборе номера ветки с кормушкой использовалась таблица случайных чисел. При этом вероятность нахождения кормушки на любой из веток составляла $1/30$. На втором этапе (опыты 9-27) нами были выделены две особые ветки A и B (№ 10 и № 20 соответственно), на которых кормушка появлялась в ходе опытов значительно чаще, чем на остальных - с вероятностью $1/3$ для A и B , и с вероятностью $1/84$ для любой из остальных 28 веток. Таким образом, каждое из двух сообщений - "кормушка на ветке A " или "кормушка на ветке B " - имели значительно большую вероятность, чем любое из остальных 28 сообщений. На третьем этапе эксперимента (опыты 28-49) номер ветки с кормушкой опять выбирался случайно в диапазоне от 1 до 30, и все "сообщения" муравьев о номере ветки с кормушкой опять имели равные вероятности.

Следует отметить, что трем этапам эксперимента предшествовал предварительный (нулевой) этап, длящийся около трех недель, в течение которого муравьи привыкли работать на установке, и, главное, мы получали возможность определить и пометить разведчиков и членов их групп, которые впоследствии допускались на рабочую часть арены. На этом этапе номер ветки с кормушкой определялся случайно.

§ 3. Анализ результатов

Как видно из табл. 1, иногда несколько фуражиров из группы ошибались и приходили на "неправильную" ветку. Поэтому сначала мы докажем статистически сам факт передачи информации, используя данные по первой части эксперимента.

Введем нулевую гипотезу H_0 - муравьи-фуражиры не используют информацию, полученную от разведчика и приходят к "правильной" ветке случайно, наугад (вероятность этого равна $1/30$). Пусть H_1 - альтернативная гипотеза: муравьи совершают правильный выбор не случайно, а с вероятностью, большей, чем $1/30$. В наших опытах группа фуражиров пришла к правильной ветке семь раз из восьми. Легко видеть, что вероятность совершить такой выбор случайно меньше 10^{-10} . Следовательно, гипотеза H_0 отвергается в пользу гипотезы H_1 , т.е. полученные результаты свидетельствуют о том, что муравьи-фуражиры использовали сведения, полученные от разведчика при определении пути к кормушке.

Рассмотрим теперь зависимость времени передачи сведений о номере ветки с кормушкой от величины этого номера. Данные, полученные на первом и третьем этапах эксперимента, изображены на графике зависимости времени контакта разведчика с фуражирами (t) от номера ветки с кормушкой (i) (рис. 2). По данным, полученным на первом и третьем этапах, построены уравнения линейной регрессии. Как видно из рис. 2, на первом этапе зависимость времени передачи информации близка к линейной (выборочный коэффициент корреляции, характеризующий силу связи, равен 0,899).

На третьем этапе картина иная: во-первых, видно, что в среднем время передачи информации заметно сократилось и, во-вторых, заметно, что связь между временем передачи информации и номером ветки явно нелинейная - в окрестностях "особых" точек "10" и "20" на графике (рис. 2) некоторые повышения.

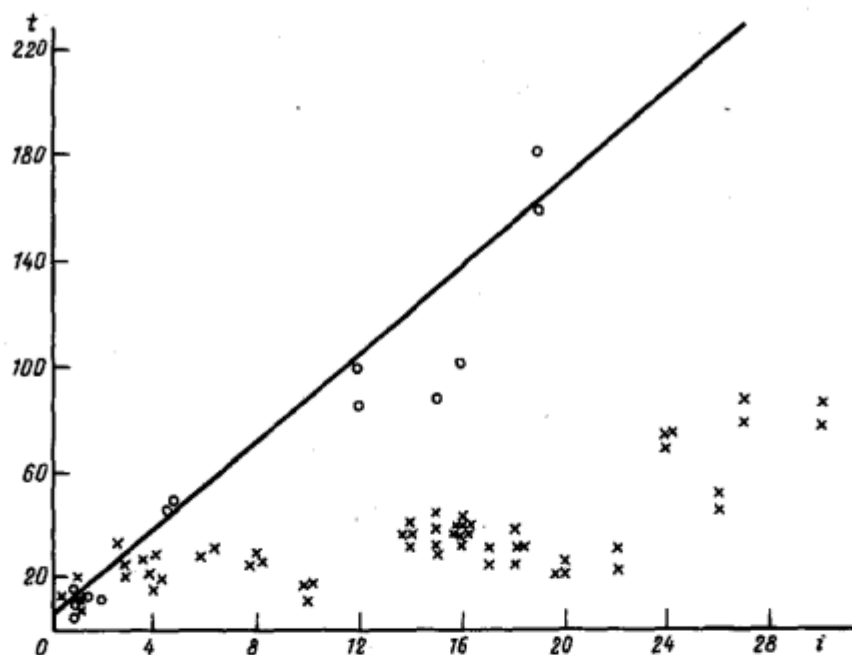


Рис. 2. Зависимость времени передачи информации (t) о номере ветки с кормушкой от ее номера (i) на первом (точки) и на третьем (крестики) этапах эксперимента. Прямая соответствует уравнению линейной регрессии, построенному по данным, полученным на первом этапе

Полученные данные показывают, что характер зависимости времени передачи информации от номера ветки с приманкой на первом и третьем этапах эксперимента существенно различаются. По-видимому, муравьи изменили способ представления сведений о номере ветки с кормушкой и перестроили систему коммуникации. Более того, складывается впечатление, что в окрестностях особых веток № 10 и № 20 время передачи информации о номере ветки с кормушкой тем меньше, чем ближе эта ветка к особой или к первой, т.е. к началу установки. 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. Для этого данные, полученные на третьем этапе эксперимента, преобразуем к виду, приведенному в табл. 2, считая, что начало лабиринта — также «особая» точка (№ 1). Коэффициент корреляции между временем передачи и расстоянием до ближайшей особой точки равен 0,751 и достоверно отличается от нуля (при уровне доверия 0,99).

Сходные данные были получены в 1992 и 1994 гг. Использовалась та же экспериментальная установка, но в качестве особых веток в 1992 г. были выбраны № 7 и № 14. Было проведено четырнадцать опытов на первом этапе, двадцать на втором и сорок шесть на третьем этапах. В опытах участвовало 13 разведчиков и их фуражировочных групп. На первом этапе муравьи затрачивали до 200 сек. на передачу информации о номере ветки с кормушкой, а на третьем этапе не более 60 сек. В 1994 г. особыми были ветки № 10 и № 19. Было проведено десять опытов на первом этапе, восемнадцать на втором и шесть на третьем этапах.

Таблица 2

Зависимость времени передачи информации (t)
от расстояния от ветки с кормушкой до ближайшей особой точки

Номер ветки на горизонтальном стволе	Расстояние до ближайшей особой ветки	Время передачи информации (t) о номере ветки (данные для разных разведчиков, разделенные запятой)
26	6	35, 30
30	10	70, 65
27	7	65, 72
24	4	58, 60, 62
3	3	22, 20, 25
8	2	20, 22, 25
16	4	25, 28, 25
4	4	25, 28, 30
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
1	1	12, 8
15	5	20, 25, 20
14	4	25, 28, 30, 26
17	3	17, 15
11	1	5, 12, 15
1	1	10, 12
4	4	20, 15, 20

В целом полученные результаты подтверждают гипотезу о том, что время передачи сведений о номере ветки тем меньше, чем ближе эта ветка к одной из особых (или к началу лабиринта). Причем высокое значение коэффициента корреляции показывает, что эта зависимость близка к линейной. Это, в свою очередь, позволяет предположить, что муравьи на третьем этапе эксперимента использовали систему счисления, напоминающую римские цифры, а числа 10 и 20 в первой, 7 и 14 во второй, 10 и 19 в третьей серии опытов играли роль римских цифр V и X. При этом муравьи должны были складывать и вычитать числа в пределах пяти.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крушинский Л.В. Биологическое значение экстраполяционных рефлексов у животных // Журн. общ. биологии. 1958. Т. 19. № 6. С. 457-466.
2. Мазохин-Поршняков Г.А. Обучаемость насекомых и их способность к обобщению зрительных стимулов // Энтомол. обозрение. 1968. Т. 47. № 2. С. 363-376.
3. Мазохин-Поршняков Г.А. Проблема опознания образов и зрительное поведение насекомых // Чтения памяти Н.А. Холодковского. Л.: Наука, 1974. С. 3-13.
4. Boysen S.T. Counting and number-related skills in chimpanzees (*Pan troglodytes*) // Proc. 23th Int. Ethological Conference. Torremolinos. Spain. 1993. P. 325.
5. Pepperberg I.M. Numerical competence in an african grey parrot: inferential evidence for a counting strategy // Proc. 23th Int. Ethological Conference. Torremolinos. Spain. 1993. P. 40.
6. Зорина Э.А. Рассудочная деятельность птиц. Дис. ... д-ра биологических наук. М.: МГУ, 1993.

7. *Matsuzawa T.* Isomorphism of symbol-use and tool-use in chimpanzees in captivity and in the wild // Proc. 23th Int. Ethological Conference. Torremolinos. Spain. 1993. P. 11.
8. *Povinelly D.J., Nelson K.E., Boysen S.T.* Inferences about guessing and knowing by chimpanzees (*Pan troglodytes*) // J. Comp. Psychol. 1990. V. 104. P. 203-210.
9. *Gardner B.T. & Gardner R.A.* Two-way communication with an infant chimpanzee // Behaviour of Non-Human Primates. New York: Academic Press, 1971. Vol. IV. Ch. 3. P. 738-750.
10. *Premack D.* Language in chimpanzee? // Science. 1971. № 172. P. 808-822.
11. *Aitchinson J.* The articulate mammal. An introduction to psycholinguistics. Hutchinson Co (Publishers) Ltd. London: 1986.
12. *Frisch K., von.* Über die Sprache der Bienen // Zool. Jahrb. Jena. 1923. V. 40. P. 1-119.
13. *Kirchner W.H., Lindauer M. & Michelsen A.* Honeybee dance communication: acoustical indication of direction in round dances // Naturwissenschaften. Berlin, 1988. V. 75. P. 629-630.
14. *Резникова Ж.И.* Количественное исследование языка муравьев // ДАН СССР. 1985. Т. 280. № 5. С. 1120-1123.
15. *Резникова Ж.И., Рябко Б.Я.* Теоретико-информационный анализ языка муравьев. Тез. докл. // Тр. VI Междунар. симпоз. по теории информации. М., 1984. Ч. 2. С. 147-150.
16. *Резникова Ж.И., Рябко Б.Я.* Анализ языка муравьев методами теории информации // Пробл. передачи информ. 1986. Т. 21. № 3. С. 103-108.
17. *Резникова Ж.И., Рябко Б.Я.* Экспериментальное доказательство использования числительных в языке муравьев // Пробл. передачи информ. 1988. Т. 24. № 4. С. 97-103.
18. *Резникова Ж.И., Рябко Б.Я.* Теоретико-информационный анализ "языка" муравьев // Журн. общ. биологии. 1990. Т. 51. № 5. С. 601-609.
19. *Reznikova, Zh.I., Ryabko B.Ya.* Information theory approach to communication in ants // Sensory systems and communication in arthropods. Advances in life science. Basel: Birkhäuser Verlag, 1990. P. 305-307.
20. *Reznikova, Zh.I., Ryabko B.Ya.* Ant aptitude for the transmission of information on the number of objects // Sensory systems of arthropods. Basel/Switzerland: Birkhäuser Verlag, 1993. P. 634-639.
21. *Ryabko, B.* Methods of analysis of animal communication systems based on the information theory // Sensory systems of arthropods. Basel/Switzerland: Birkhäuser Verlag, 1993. P. 627-633.
22. *Mandelbrot B.* On the theory of word frequencies and on related markovian models of discourse. In: The structure of language and its mathematical aspects // Proc. 12th Symp. Applied Math. 1961. P. 190-219.
23. *Рябко Б.Я.* Кодирование источника с неизвестными, но упорядоченными вероятностями // Пробл. передачи информ. 1979. Т. 15. № 2. С. 71-77.

Поступила в редакцию

14.06.94

После переработки

13.03.95