

УДК 591.512 : 595.796

© 1990 г.

Ж. И. РЕЗНИКОВА, Б. Я. РЯБКО

ТЕОРЕТИКО-ИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ «ЯЗЫКА» МУРАВЬЕВ

В работе обобщаются результаты экспериментов, основанные на идеях теории информации, из которых следует, что муравьи способны запоминать и передавать друг другу до 6 бит информации, а время передачи сообщения пропорционально количеству информации в нем. Показано, что муравьи затрачивают значительно меньше времени на передачу сведений о «закономерных» последовательностях поворотов на пути к цели (типа «налево — направо — налево — направо»), чем на передачу сведений о случайных последовательностях той же длины.

ВВЕДЕНИЕ

Внимание многих этологов уже давно привлекает задача исследования элементарной рассудочной деятельности животных: способность к абстрагированию, экстраполяции, планированию поведения; умение переносить приобретенный опыт в новую ситуацию (Крушинский, 1958; Фирсов, Знаменская, 1975; Фабри, Русакова, 1983; Gellerman, 1933; Hallow, 1949; Mackintosh, 1965; Thorpe, 1950).

Исследования Г. А. Мазохина-Поршнякова (1968, 1974) убедительно продемонстрировала способность общественных насекомых к логическим операциям.

Значительное число исследований посвящено одному из высших проявлений рассудочной деятельности животных — языковому поведению. Конечно, прежде всего привлекают внимание животные с высокой степенью социальной организации — обезьяны, дельфины, пчелы, муравьи и т. п. Но до сих пор, несмотря на значительное число публикаций (Меннинг, 1982), способности к языковому поведению обнаружены только у двух групп животных. Фриш (Frisch, 1923) доказал существование языка танцев у медоносной пчелы: в его опытах пчелы передавали сведения о расстоянии до источника пищи и о направлении полета. Американские исследователи Гарднеры (Gardner R., Gardner B., 1969) обучили шимпанзе началам жестового языка глухонемых и тем самым показали, что приматам доступно использование сложной системы знаков — искусственных, придуманных человеком. Американский зоопсихолог Мензел (Menzel, 1971) изучал механизмы естественной коммуникации у шимпанзе: в его опытах создавалась ситуация, в которой обезьяны сообщали друг другу сведения о местоположении и о содержимом тайника с пищей. Из этих опытов следует, что шимпанзе способны к дистанционному наведению. Но вопрос о существовании у них сколько-нибудь развитого естественного «языка» пока открыт.

Сигнальная деятельность муравьев также привлекала внимание многих исследователей. Известно, что муравьи могут использовать для привлечения к источнику пищи самые различные способы коммуникации: пахучий след, звуковые сигналы, кинопсис (реакцию на возбужденные движения разведчика), тандемы и т. п. (Wilson, 1971; Hölldobler, 1985; Hölldobler et al., 1974).

Все эти коммуникативные системы считались генетически детерминированными и соответственно сигнальное поведение и ответы почти постоянными у всех особей данного вида (Wilson, 1972). Г. М. Длусский (1980) экспериментально показал, что помимо детерминированных (инстинктивных) у некоторых видов общественных насекомых имеются лабильные коммуникативные системы, основанные на способности к

обучению. При исследовании коммуникации муравьев особое внимание привлекал тактильный (или антеннальный) код. Предположение о существовании такого способа передачи информации было высказано еще в 1899 г. Васманном (Wassmann, 1899). Были попытки расшифровать данный код (Мариковский, 1958; Bonavita-Cougourdan, Morel, 1984), но эта задача не решена, хотя сам факт использования муравьями тактильного кода для дистанционного наведения можно считать доказанным (Забелин, 1979). Способность муравьев к решению логических задач и передаче сложных сведений путем дистанционного наведения была показана Ж. И. Резниковой (1969, 1979, 1983).

Нам кажется, что основные трудности в исследовании «языка» животных — методологические: усилия большинства исследователей были направлены на прямую расшифровку сигналов — на выявление «букв» и «слов». При таком подходе чаще всего остается непонятным, какие звуки и жесты имеют отношение к «языку», а какие — нет, а также добавляются технические трудности, связанные с высокой подвижностью животных, сложностью проведения наблюдений и часто с недоступностью сигналов для фиксации.

Мы предлагаем принципиально иной подход к изучению системы коммуникации животных, основанный на идеях теории информации (Резникова, Рябко, 1984, 1986). При этом в эксперименте создается ситуация, в которой муравьи для получения пищи должны передавать друг другу известное экспериментатору количество информации. Эта информация — сведения о последовательности поворотов на пути к кормушке в лабиринте «бинарное дерево». Время передачи информации измеряется экспериментатором.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Эксперименты проводились в 1982—1986 гг. с тремя видами муравьев: *Formica polyctena*, *F. sanguinea*, *Catponotus saxatilis*. Муравьи содержались группами, около 800 особей с расплодом и самкой (в дальнейшем, условно, «лабораторная семья»), в прозрачных пластиковых гнездах ($10 \times 15 \times 12$ см), позволяющих наблюдать их контакты друг с другом. Оптимальный для опытов размер лабораторной семьи был подобран эмпирически: при большей численности возникают технические трудности, при меньшей искажается картина групповой фуражировки. Надо отметить, что не все природные семьи муравьев оказались пригодны для лабораторного изучения процессов коммуникации. Из 18 семей *F. polyctena*, протестированных в течение 5 лет, у 5 семей не было обнаружено «языковое поведение». В двух случаях возможной причиной была общая высокая агрессивность муравьев, у остальных трех, по-видимому, была изначально низкая численность.

Муравьи содержались на аренах (150×100 см), разгороженных на две части: меньшую, жилую, где находилось гнездо, и большую, рабочую, где располагался лабиринт (рис. 1). Муравьи получали пищу раз в 3 дня только в лабиринте, так что они были очень заинтересованы в достижении цели. Все внегнездовые рабочие заранее получали индивидуальные метки, нанесенные нитрокраской.

Во всех опытах муравьи из каждой лабораторной семьи в течение примерно 10 дней привыкали брать пищу, посещая лабиринты упрощенного типа, с одной развилкой (рис. 2, а). В этих случаях привлечение фуражиров из гнезда и с арены происходило путем неспецифической активации и кинопсиса, т. е. за счет общего возбуждения и подражания друг другу. Кормушку посещало до 200 особей. Поведение муравьев резко менялось при усложнении задачи — например, при помещении кормушки на один из четырех «листьев» второй развилки «бинарного дерева». Среди внегнездовых рабочих выделялись группы, состоящие из одного разведчика и 5—8 фуражиров, и разведчик привлекал к кормушке только свою группу. У *F. sanguinea* и *F. polyctena* работало параллельно до 8—9 групп, у *C. saxatilis* — только 1 группа в течение дня.

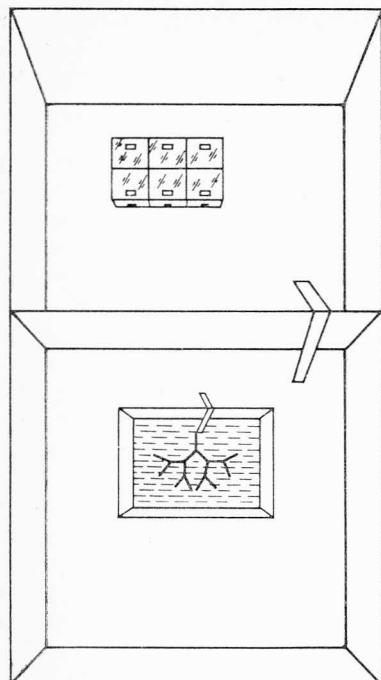


Рис. 1. Общий вид экспериментальной арены

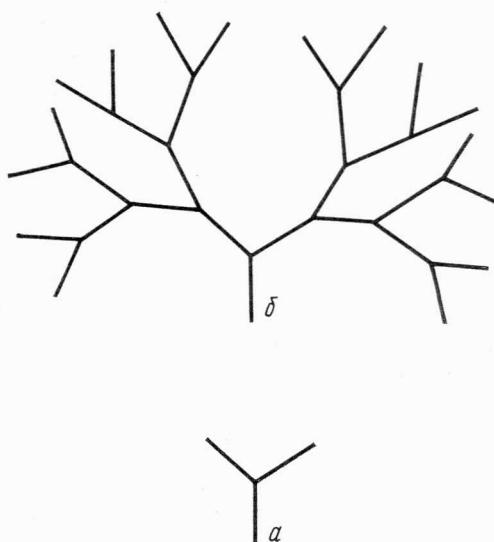


Рис. 2. Лабиринт «бинарное дерево» с одной (а) и с четырьмя (б) развилками

Во всех опытах участвовало более 200 фуражировочных групп трех видов муравьев. Рабочие в таких группах обычно диморфны: 1–2 крупных муравья, остальные—средние и мелкие. Крупные муравьи никогда не выступали в роли разведчиков. Оказалось, что не все разведчики могли запомнить путь к кормушке; более того, число таких разведчиков уменьшалось в зависимости от сложности задачи: например, в случае двух развилок на «бинарном дереве» работало 5–6 разведчиков и их групп в течение одного сеанса, а в случае шести развилок — только 1–2. Перспективных разведчиков выявляли в ходе предварительных опытов и работали с ними специально в течение нескольких сеансов. Они не только сразу запоминали дорогу, но и сравнительно легко перечувливались, когда в ходе одного сеанса менялось направление пути к приманке. Муравья-разведчика подсаживали на кормушку специально, затем он сам возвращался в гнездо. Иногда он сразу начинал контактировать с членами своей группы, и после контакта вся группа выходила из гнезда и двигалась по направлению к установке. В этом случае разведчика изымали пинцетом и изолировали, заставляя тем самым группу находить пищу самостоятельно. Но чаще разведчик после возвращения в гнездо покидал его один и один возвращался к кормушке; иногда он при этом ошибался и находил пищу после посещения нескольких пустых кормушек. Затем он снова возвращался в гнездо, контактировал со своей группой и либо выходил с этой группой, либо снова один. В первом случае разведчика мы изолировали, во втором все повторялось сначала. Иногда число одиночных рейсов разведчика достигало четырех, прежде чем он выводил свою группу. Наблюдая за его возбужденными действиями и получая от него пищу, группа постепенно подтягивалась к выходу из гнезда.

Во всех случаях мобилизации группы мы фиксировали время контакта разведчика с фуражирами в прозрачном гнезде с помощью секундомера. Началом контакта считалось прикосновение к первому муравью, окончанием — выход из гнезда первых двух фуражиров. Контакты сопровождались частыми и многочисленными ударами антенн. Разведчик «общался» с 1–4 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. После достижения цели действия членов группы, естественно, не были синхронны. Одни фуражиры питались на кормушке, не уходя в гнездо, другие за это время совершали по нескольку рейсов. Для статистической обработки брали только первый проход группы.

В течение одного сеанса работали только с одной рабочей группой, остальные не допускались на экспериментальную установку. Фуражиры всегда вынуждали искать кормушку самостоятельно, без разведчика. Во всех опытах исключалось использование пахучего следа: лабиринт или его части заменялись в то время, когда разведчик контактировал с фуражирами в гнезде (варианты подробно рассмотрены ниже). Во всех опытах исключалось действие прошлого опыта муравьев. Каждая последовательность поворотов, полученная однажды с помощью подбрасывания монеты, отрабатывалась в дальнейшем несколько раз с разными группами фуражиров (см. табл. 1, 3) и, наоборот, каждая группа фуражиров участвовала в опытах с разными последовательностями поворотов. В качестве примера можно привести «историю» двух фуражировочных групп лабораторной семьи *F. sanguinea* в течение сезона 1984 г. Группа I «отрабатывала» 14.VI последовательность поворотов «ЛЛ», 16.VI — «ЛП» (лево—право), 20.VI — опять «ЛЛ» и «ПП», 22.VI — «ПЛ» и «ЛЛ», 25.VI — «ЛЛЛ» и «ЛЛП», 2.VII — «ЛПЛЛ», 5.VII — «ППП», 25.VII — «ЛЛЛЛ». Группа VIII: 22.VI — «ПЛЛЛП», 25.VI — «ЛЛЛ», «ППП», 29.VI — «ЛПЛЛ», 2.VII — «ППЛПЛ», «ПППППП», 5.VII — «ЛЛЛЛЛЛ», 9.VII — «ППППП». Не все группы работали весь сезон, и время от времени в работу включались новые. Для выявления и тренировки таких групп 3–4 раза в течение сезона проводились специальные (неучитываемые) сеансы с упрощенными лабиринтами, во время которых происходило дополнительное мечение фуражиров.

В лабиринте «бинарное дерево» для получения пищи муравьи должны были передавать известное экспериментатору количество информации: сведения о последовательности поворотов на пути к кормушке. Каждый «лист» дерева заканчивался кормушкой, но лишь одна из них содержала сахарный сироп, остальные — воду.

В простейшем случае установка состояла из дерева с двумя «листьями» и соответственно с двумя кормушками, только в одной из которых был сироп (рис. 2, а). В такой ситуации разведчик должен был передать фуражирам 1 бит информации — идти надо либо направо, либо налево. В других опытах число узлов (развилок) возрастало до шести (на рис. 2, б изображен лабиринт с четырьмя развилками). Последовательность поворотов выбиралась случайно, с помощью подбрасывания монеты. При этом количество битов информации, необходимое для определения правильного пути в лабиринте, равно числу развилок на пути к кормушке.

В 1982–1984 гг. «бинарное дерево» монтировалось из спичек и пластилиновых шариков (диаметром 10 мм), в кювете с водой (60×60 см), чтобы муравьи не могли достичь цели «по прямой». На всех конечных «листьях» располагались кормушки, но все они содержали воду, и лишь одна сироп. Для того чтобы исключить возможное влияние пахучего следа, мы во время пребывания разведчика в гнезде каждый раз заменяли спички, по которым он проходил, новыми. Раз в три сеанса, во время контакта разведчика с фуражирами в гнезде, весь лабиринт заменялся тождественным (и установка, и кювета). В этих опытах участвовало четыре семьи *F. polycrena*, 2 — *F. sanguinea*, 1 — *C. saxatilis*. В 1985–1986 гг. была проведена другая серия экспериментов, в которых исключалось влияние не только возможного пахучего следа на пути к пище, но и гипотетическое влияние запаха пищи (часть опытов этой серии проведена аспирантом Биологического института СО АН ССР В. А. Харьковым). «Бинарное дерево» монтировалось из пластиковых

Результаты «экзаменов» (*F. Sanguinea*)

№ опыта	Дата	Номер («имя») разведчика	Последовательность поворотов, ведущих к кормушке	Номера («имена») фуражиров, участвовавших в поиске приманки		
				фуражиры, которые двигались к кормушке компактной группой	фуражиры, совершившие неверные повороты	фуражиры, не достигшие цели
1	20. XII. 1985	I	ППП	3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	—	—
2	20. XII. 1985	II	ЛПП	—	—	2, 13
3	20. XII. 1985	II	ЛПП	—	—	11, 12, 14
4	5.I.1986	III	ППП	—	—	4, 13, 15, 16, 17
5	5.I.1986	III	ПЛП	2, 13, 18, 19, 20, 21	—	—
6	5.I.1986	III	ППЛ	2, 4, 13, 18, 19, 20	—	—
7	5.I.1986	III	ПЛЛ	2, 4, 18, 19, 20, 24	—	—
8	10.I.1986	IV	ЛПЛ	25, 26, 28	29, 30, 31	—
9	10.I.1986	IV	ПЛЛ	11, 13, 25, 27	31, 32	—
10	10.I.1986	V	ПЛЛ	13, 25, 26, 27	31, 32	—
11	13.I.1986	VI	ЛПЛ	36, 37, 38	—	—
12	13.I.1986	VI	ЛПЛ	36, 37, 38, 39, 40	41, 42	—
13	13.I.1986	VI	ЛЛП	38, 39, 40, 41, 42	—	—
14	17.I.1986	VII	ЛПП	37, 43, 44, 45, 46	—	—
15	17.I.1986	VII	ЛЛЛ	37, 44, 45, 46	—	—
16	17.I.1986	VII	ПЛЛ	37, 44, 45	—	—
17	20.I.1986	VIII	ЛЛЛ	47, 48, 49	—	—
18	20.I.1986	VIII	ЛПЛ	47, 48, 49, 50	—	—
19	23.I.1986	IX	ЛЛП	4, 12, 51, 52	53, 54	—
20	23.I.1986	IX	ПЛЛ	4, 52, 53, 54, 55	—	—

Примечание. Номера («имена») разведчиков (I, II,...IX) и фуражиров (1, 2,...57) соответствуют их индивидуальным меткам; в большинстве случаев группы фуражиров сохраняли стабильность, но иногда фуражиры присоединялись к «чужой» группе. Знак «—» означает отсутствие муравьев.

трубок, каждая ветвь содержала три развилики. Во время пребывания разведчика в гнезде лабиринт заменялся, и на этот раз все кормушки содержали воду, т. е. исключалась возможность влияния запаха пищи. Группа фуражиров после контакта с разведчиком приходила к пустой кормушке. Такие опыты мы, используя термин Г. А. Мазохина-Поршнякова (1968), назвали экзаменами. В интервалах между экзаменами муравьи получали пищу в лабиринте с полной кормушкой, но в день экзамена они не могли питаться (кроме разведчика). В этих опытах участвовали две лабораторные семьи: *F. polycetena* и 2 — *F. sanguinea*.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ У МУРАВЬЕВ

Докажем сначала сам факт передачи информации путем дистанционного наведения. В табл. 1 представлены результаты экзаменов, когда фуражиры посещали «бинарное дерево» с пустыми кормушками. Сравним основную гипотезу H_0 , согласно которой фуражиры случайно находят кормушку, с альтернативной гипотезой H_1 о том, что фуражиры используют полученную от разведчика информацию. Вероятность случайного нахождения кормушки на «бинарном дереве» с тремя развиликами = $(\frac{1}{2})^3 = 1/8$. Как видно из табл. 1, в трех случаях группы фуражиров не нашли кормушку (линии 2, 3, 4), в пяти случаях (линии 8, 9, 10, 11, 12, 19) 2–3 муравья отставали от группы и в остальных 12 случаях фуражиры, двигаясь компактной группой, сразу достигали цели, без отставших. Будем рассматривать рейсы фуражировочных групп как испытания, случаи компактного прихода группы к цели — как «успех», а случаи, когда группа пришла не вся или вообще не пришла, — как «неуспех». Тогда мы имеем 20 независимых испытаний, где вероятность «успеха» (P) в случае подтверждения гипотезы H_0 равна $1/8$, против гипотезы H_1 , где P больше $1/8$. Имеется 12 случаев «успеха» против 8. Для сравнения гипотез H_0 и H_1 мы использовали биномиальный критерий

(Hollander, Wolf, 1973). В нашем случае гипотеза H_0 отвергается в пользу H_1 , на уровне значимости $<0,0001$. Кроме того, из табл. 1 следует, что разведчик способен передавать информацию о различных путях к приманке в течение одного сеанса. Это исключает гипотетическую возможность для групп фуражиров использовать свой прошлый опыт (см. линии 8, 9, 12, 13, 14–16). Таким образом, результаты экзаменов позволяют утверждать, что фуражиры не используют пахучий след и не ориентируются на гипотетический запах сиропа, а руководствуются дистанционным наведением.

Скорость передачи информации определялась по результатам опытов 1982–1984 гг., в которых варьировалось число развилок в лабиринте. Количество информации (бит), необходимое для выбора правильного пути в лабиринте, равно числу развилок. Мы предположили, что время контакта разведчика с группой фуражиров (t) должно быть равно $ai+b$, где i – число развилок, a – коэффициент пропорциональности, равный скорости передачи информации (бит/мин), а b – постоянная. Ее мы вводим потому, что муравьи могут передавать информацию, не имеющую прямого отношения к поставленной задаче, например сигнализировать «есть пища». Кроме того, не исключено, что разведчик начинает передавать сведения еще по дороге к своей группе фуражиров, используя визуальные или звуковые способы коммуникации. Вообще говоря, неизвестно, используют ли исследуемые нами виды эти средства общения, но такую возможность исключить нельзя. Для нас важно, что путь от лабиринта до гнезда, где разведчик встречался с фуражирами, во всех опытах был примерно один и тот же и, следовательно, время от начала антеннального контакта с фуражирами, которое разведчик гипотетически мог использовать для передачи сведений, примерно одно и то же во всех опытах и никак не зависит от числа развилок i . Тогда это гипотетическое, неучтенное нами время также войдет в постоянную b . По полученным данным оценивали параметры уравнения линейной регрессии и вычисляли выборочный коэффициент корреляции (см. табл. 2). Оказалось, что у всех трех видов зависимость между временем контакта разведчика и фуражиров (t) и количеством передаваемой информации (числом развилок i) близка к линейной, о чем свидетельствует большое значение выборочных коэффициентов корреляции (табл. 2). Это подтверждает нашу гипотезу (при уровне значимости 0,01).

У вида *F. sanguinea* скорость передачи информации, т. е. величина в уравнении $t=ai+b$ равна 0,738 бит/мин, у *F. polycetena* – 1,094, у *C. saxatilis* – 1,189 бит/мин. Мы не считаем эти значения видовыми константами, вероятно, они могут варьировать. Заметим, что эти величины примерно на порядок меньше, чем скорость передачи информации у человека при разговоре (Яглом, Яглом, 1973).

Подсчитаем теперь общее число возможных различных путей к корице. В простейшем бинарном дереве с одной развилкой 2 «листа» и, следовательно, 2 различных пути (см. рис. 2, a). В дереве с двумя развилками 2^2 пути, с тремя развилками – 2^3 , а с шестью развилками – 2^6 возможных путей; отсюда суммарное число различных путей равно $2+2^2+2^3+\dots+2^6=126$.

Таблица 2

Оценки коэффициентов уравнения линейной регрессии $t = ai + b$
и коэффициента корреляции r ; $x \pm \Delta$ – 95%-ный доверительный интервал для x ;
серия опытов «бинарное дерево»

Вид	$a \pm \Delta$	$b \pm \Delta$	r
<i>F. sanguinea</i>	0,738 ± 0,053	-0,768 ± 0,094	0,962
<i>F. polycetena</i>	1,094 ± 0,05	0,619 ± 0,46	0,791
<i>C. saxatilis</i>	1,189 ± 0,018	0,334 ± 0,032	0,967

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МУРАВЬЯМИ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ДЛЯ КОДИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ

Одна из важнейших характеристик языка и интеллекта его носителей — возможность быстро подмечать закономерности и использовать их для кодирования, «сжатия» информации. Тогда длина сообщения о некотором объекте или явлении должна быть тем больше, чем оно сложнее. Например, человеку легче запомнить и передать такую последовательность поворотов на пути к цели: «ЛП ЛП ЛП ЛП ЛП» (здесь Л — налево, П — направо), чем более короткую, но случайную последовательность (допустим, «ПЛ ЛЛ ПП ЛП»). Мы решили проверить, позволяет ли «язык» муравьев использовать простые закономерности «текста» для его «сжатия», где «текст» — последовательность поворотов на пути к кормушке. Результаты опытов приведены в табл. 3.

Так как объективной количественной меры сложности текста не существует (Колмогоров, 1965), то, строго говоря, мы можем только проверить, совпадают ли представления о простом и сложном тексте у людей и муравьев. По-видимому, большинство людей считают, что последовательности поворотов в строках 5 и 6 в табл. 3 проще, чем в строках 7 и 8, а они в свою очередь проще, чем «случайные» последовательности той же длины (строки 13—15). Оказалось, что время передачи сведений о последовательности поворотов у муравьев также возрастает от простого к сложному (см. строки 5—8 и 13—15).

Статистическая значимость полученного результата может быть строго доказана. Сравним основную гипотезу H_0 , согласно которой время передачи информации не зависит от сложности текста, с альтернативной гипотезой H_1 о том, что время передачи тем больше, чем текст сложнее. Проведенный эксперимент включает семь серий опытов с последовательностями поворотов одной длины (см. строки 5—8 и 13—15). Всего имеется $7!$ способов упорядочивания этих семи серий; поэтому при справедливости гипотезы H_0 опыт имеет $7!$ равновероятных исходов. Способов упорядочивания, при которых сперва идут самые простые последовательности поворотов 5 и 6, затем две промежуточные по сложности последовательности 7 и 8 и лишь после этого самые сложные последовательности 13 и 15, имеется $2!2!3!$. Таким образом, при справедливости гипотезы H_0 вероятность полученного в опыте упорядочивания равна $2!2!3!/7!=1/210$; малость этой вероятности заставляет отвергнуть гипотезу H_0 и принять альтернативную гипотезу H_1 .

Интересно отметить, что муравьи начинают использовать закономерности для сжатия только достаточно больших текстов, например на

Таблица 3

Время, затрачиваемое муравьями-разведчиками *Formica sanguinea* на передачу сведений о направлении к кормушке муравьями-фуражирами

№ опыта	Последовательность поворотов на пути к кормушке	Среднее время, с	Выборочное стандартное отклонение	Число опытов
1	ЛЛЛ	72	8	18
2	ППП	75	5	15
3	ЛЛЛЛЛ	84	6	9
4	ППППП	78	8	10
5	ЛЛЛЛЛЛ	90	9	8
6	ПППППП	88	9	5
7	ЛПЛПЛП	130	11	4
8	ПЛПЛПЛ	135	9	8
9	ЛЛП	69	4	12
10	ЛПЛЛ	100	11	10
11	ПЛЛЛП	120	9	6
12	ППЛПЛ	150	16	8
13	ПЛПППЛ	180	20	6
14	ППЛППП	220	15	7
15	ЛПЛЛПЛ	200	18	5

Примечание. 1—8 — «закономерные» последовательности поворотов; 9—15 — «случайные».

передачу сведений о последовательностях длины «3» из 1-й и 2-й строк (табл. 3) тратилось даже чуть больше времени, чем на «случайную» последовательность той же длины из 9-й строки.

Этот эксперимент также основан на идеях теории информации. Кроме определения понятия «количество информации», принадлежащего К. Шеннону (1948¹), известно алгоритмическое определение информации и сложности, введенное А. Н. Колмогоровым (1965). Это определение относится к словам или текстам, составленным из букв некоторого алфавита, например состоящего из двух букв «Л» и «П». Неформально сложность слова равна длине его наименьшего описания. Например, слово «ЛЛЛЛЛЛЛЛ» может быть описано как «8 Л», т. е. довольно коротко. Сложность и неопределенность его невелика, это слово несет немного информации. Основной вывод этого параграфа можно сформулировать так: муравьи передают друг другу «текст» тем быстрее, чем меньше в нем информации (по Колмогорову). Здесь, впрочем, необходимо отметить, что между обоими понятиями «количество информации» существует тесная связь (Звонкин, Левин, 1971; Рябко, 1984).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что потенциальный набор различных сообщений, которые муравьи могут передавать друг другу, довольно велик.

Показано, что скорость передачи информации о последовательности поворотов на пути к кормушке у разных видов муравьев изменяется от 0,7 до 1,2 бит/мин, причем время передачи сообщения пропорционально количеству информации в нем. Показано, что муравьи передают сведения о закономерных последовательностях поворотов значительно быстрее, чем о случайных.

Мы считаем, что эти результаты доказывают существование у муравьев развитого языкового поведения. Здесь необходимо сказать несколько слов о самом понятии «язык животных». В настоящее время сколько-нибудь общепринятого определения этого понятия не существует, более того, несмотря на большое количество работ, посвященных этому вопросу (подробный обзор см. в монографии Aitchison, 1986), по-видимому, нет и языка, на котором можно определить это понятие. Поэтому мы отметим только принципиальные, на наш взгляд, свойства, объединяющие исследованную нами систему коммуникации муравьев с современными языками человека: во-первых, в языках человека большое, практически неограниченное число потенциально возможных фраз или предложений. В описываемых опытах муравьи находили «фразы» для множества разнообразных сообщений о последовательности поворотов на пути к кормушке, причем для «простых» сообщений они находили короткие фразы. Во-вторых, на всех исследованных языках человека длина сообщения пропорциональна количеству информации в нем (Яглом, Яглом, 1973).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Длусский Г. М. Принципы коммуникации у муравьев//Чтения памяти Н. А. Холодковского. Л.: Наука, 1980. С. 3—33.
- Забелин С. И. Передача информации о направлении движения к приманке тактильным кодом у муравья *Taripota simrothi karavaievi*//Зоол. журн. 1979. Т. 58. Вып. 8. С. 1168—1172.
- Звонкин А. К., Левин Л. А. Сложность конечных объектов и обоснование понятий информации и случайности с помощью теории алгоритмов//Успехи мат. наук. 1971. Т. 25. № 6. С. 85—127.
- Колмогоров А. Н. Три подхода к определению понятия «количество информации»//Пробл. передачи информ. 1965. Т. 1. № 1. С. 3—11.
- Крушинский Л. В. Экстраполяционные рефлексы как основа рассудочной деятельности у животных//ДАН СССР. Сер. биол. 1958. Т. 121. Вып. 4. С. 762—765.
- Мазохин-Поршияков Г. А. Обучаемость насекомых и их способность к обобщению зрительных стимулов//Энтомол. обозрение. 1968. Т. 47. С. 362—379.

¹ Цитируется по русскому переводу 1963 г.

Мазохин-Поршняков Г. А. Проблема опознания образов и зрительное поведение насекомых//Чтения памяти Н. А. Холодковского. Л.: Наука, 1974. С. 3—17.
Мариковский П. И. К вопросу о сигнализации у муравьев//Энтомол. обозрение. 1958. Т. 37. Вып. 3. С. 557—562.

Менninger О. Поведение животных. М.: Мир, 1982.

Резникова Ж. И. Угловая ориентация и эффект обучения у рыжих лесных муравьев// Матер. VII науч. студ. конф. Сер. биол. Новосибирск, 1969. С. 23—24.

Резникова Ж. И. Пространственная ориентация и способность муравьев усваивать логическую структуру задачи//Этология насекомых и клещей. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1979. С. 18—24.

Резникова Ж. И. Межвидовые отношения муравьев//Новосибирск: Наука, 1983. 203 с.

Резникова Ж. И., Рябко Б. Я. Теоретико-информационный анализ языка муравьев// Тез. докл. VI Междунар. симпоз. по теории информации. Ч. 2. М., 1984. С. 147—150.

Резникова Ж. И., Рябко Б. Я. Анализ языка муравьев методами теории информации// Пробл. передачи информ. 1986. Т. 22. Вып. 3. С. 103—108.

Рябко Б. Я. Дважды универсальное кодирование//Пробл. передачи информ. 1984. Т. 20. № 3. С. 24—28.

Фабри К. Э., Русакова Г. Н. Попытка выявления зачатков интеллектуального поведения у серых крыс//Механизмы поведения. Матер. III Всесоюз. конф. по поведению животных. М., 1983. С. 159—160.

Фирсов Л. А., Знаменская А. Н. О сложных формах общения у обезьян//Вопросы зоопсихологии, этологии и сравнительной психологии. М.: Изд-во МГУ, 1975. С. 122—125.

Шеннон К. Математическая теория связи//Работы по теории информации и кибернетике. М.: Изд-во иностр. лит., 1963. С. 243—333.

Яглом А. М., Яглом И. М. Вероятность и информация. М.: Наука, 1973.

Aitchison J. The Articulate Mammal. An introduction to psycholinguistics//Hutchison Group (Publishers), 1986. 280 p.

Bonavita-Cougourdan A., Morel L. Les activités antennaires au cours des contacts trophallactiques chez la Fourmi *Camponotus vagus* Scop. ont-elles valeur de signal// Insectes sociaux. P. 1984. V. 31. № 2. P. 113—131.

Frisch K., von. Über die Sprache der Bienen//Zool. Jahrb. 1923. № 40. S. 1—119.

Gardner R. A., Gardner B. T. Teaching sign language to chimpanzee//Science. 1969. V. 169. P. 664—672.

Gellerman L. W. Form discrimination in chimpanzees and two-years-old children. I. Form (triangularity) per se//J. Genet. Psychol. 1933. V. 42. P. 1—3.

Harlow H. F. The formation of learning sets//Psychol. Rev. 1949. V. 56. P. 51—56.

Hollander N., Wolf D. Nonparametric statistical methods. N. Y., 1973. 518 p.

Hölldobler B. K. Liquid food transmission and antennation signals in ponerine ants// Israel J. Entomol. 1985. V. 19. P. 89—99.

Hölldobler B. K., Möglich M., Maschwitz U. Communication by tandem running in the ant *Camponotus sericeus*//J. Comp. Physiol. 1974. V. 90. P. 105—127.

Mackintosh N. J. Selective attention in animal discrimination learning//Psychol. Bull. 1965. V. 64. P. 124—150.

Menzel E. W. Communication about environment in a group of young chimpanzees// Folia Primatol. 1971. V. 15. P. 220—232.

Reznikova J. I. Interspecific communication between ants//Behaviour. 1982. V. 80. № 1. P. 84—95.

Thorpe W. H. A note on detoure experiments with *Ammophyla pubescens* Curt (Hymenoptera: Sphecidae)//Behaviour. 1950. V. 2. P. 257—263.

Wassmann E. Die psychischen Fähigkeiten der Ameisen//Zool. 1899. № 26. S. 1—133.

Wilson E. O. The insect societies//Cambridge, Mass.: Harvard Univ. Press, 1971. 250 p.

Wilson E. O. Animal communications//Sci. Amer. 1972. V. 227. № 3. P. 51—60.

Биологический институт СО АН СССР,
Новосибирск

Поступила в редакцию
21.XI.1988

THEORETICAL AND INFORMATIONAL ANALYSIS OF ANT «LANGUAGE»

Zh. I. REZNIKOVA, B. Ya. RYABKO

Biological Institute, Siberian Branch, USSR Academy of Sciences,
Novosibirsk

Laboratory experiments have been devised on the basis of the theory of information where ants had to pass a known amount of information to each other in order to obtain food. Ants were able to memorize and pass up to 6 bits of information, and the time of communication is proportional to the size of information. Ants spend much less time to transfer information on ordered sequence of turns on the way to the aim (e. g. «right-left-right-left») than to transfer information on random sequences of similar length. These data suggest that ants have a developed language behavior