



Фото В. Глулова



# ЯЗЫК



# МУРАВЬЕВ

# ДО ОТКРЫТИЯ ДОВЕДЕТ

РЕЗНИКОВА Жанна Ильинична — доктор биологических наук, профессор, заведующая кафедрой сравнительной психологии Новосибирского государственного университета, заведующая тематической группой этологических основ интеграции сообществ животных Института систематики и экологии животных СО РАН (Новосибирск).  
Специалист в области экспериментальной этологии и экологии, член международного консюлата общества по изучению поведения животных.  
Автор более 200 научных публикаций, нескольких учебников и монографий







Муравейник рыжих лесных муравьев рода *Formica* — активных хищников, защищающих лес от насекомых-вредителей. Окрестности Новосибирского научного центра. Фото Т. Новгородовой

На планете насчитывается около 11 тысяч видов муравьев. Большинство из них решает свои жизненные задачи, не прибегая к таким сложным способам общения, как символический язык. Они используют пахучий след, феромоны тревоги, даже перекидывают с дерева на дерево живые дорожки, сплетенные из собственных тел. Только немногочисленные «муравьиные приматы», к которым принадлежат обычные для нас рыжие лесные муравьи, могут передавать друг другу содержательные сообщения и способны изменять способы коммуникации в зависимости от решаемой задачи. Возможно, это одна из причин значительного биологического прогресса этих видов, который выражается в обширных ареалах, захватывающих несколько природных зон, численности семей — до нескольких миллионов особей, сотнях гектаров контролируемой территории

На обложке новой книги автора, опубликованной в издательстве Cambridge University Press, группа муравьев уверенно движется к цели по лабиринту «бинарное дерево». По условиям эксперимента, муравьи лишены возможности использовать пахучий след или какие-либо другие способы ориентации, помогающие найти кормушку. Все, чем они располагают, это информация, полученная ими от разведчика, вернувшегося из удачного похода. Однако разведчика в лабиринт не пускают, группа должна найти цель самостоятельно. Это иллюстрация эксперимента, позволившего описать символический «язык» муравьев, превосходящий по сложности известный «язык танцев» пчел

Рыжие лесные муравьи стали первыми испытателями нового метода изучения языкового поведения животных, предложенного известным специалистом по теории информации и криптографии профессором Б. Я. Рябко и разработанного в Институте систематики и экологии животных СО РАН (Рябко, Резникова, 1986; Ryabko, 1993; Ryabko,

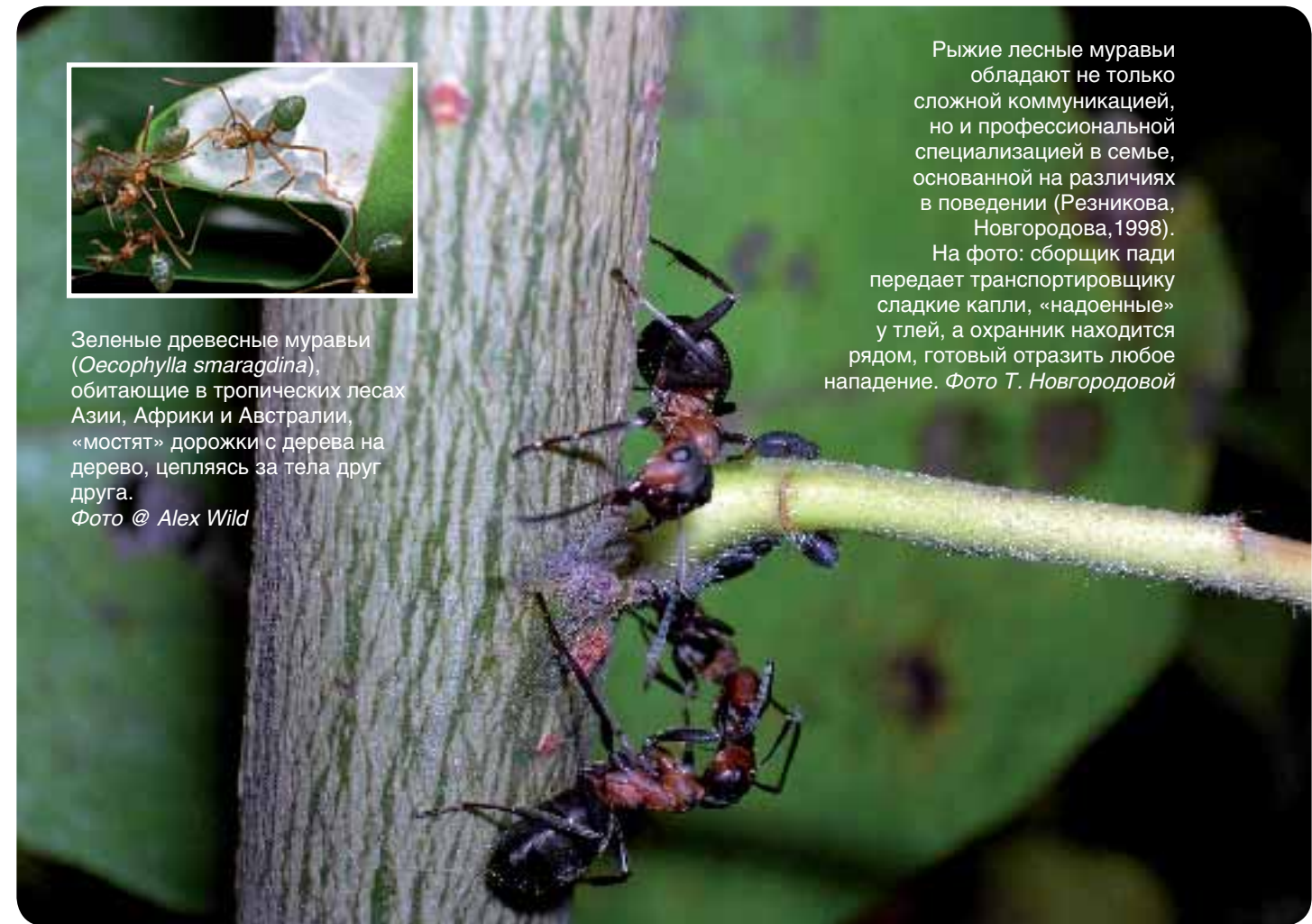
Reznikova, 1996). Этот метод теперь называется теоретико-информационным, в отличие от двух других ранее известных в этологии методов исследования коммуникации животных.

Первый из этих методов основан на попытках расшифровки сигналов. Пытаясь решить одну из самых волнующих проблем этологии — понять, каким образом животные общаются между собой и насколько сложную информацию они могут передать друг другу — исследователи пытались расшифровать «языки» разных видов. Однако в природе очень редки ситуации, когда достаточно выразительные сигналы соответствуют часто повторяющимся и легко наблюдаемым ситуациям. В отсутствие таких ситуаций, которые могли бы служить «ключами» к неизвестному для нас «языку», расшифровка сигналов животных является громоздкой и чаще всего практически неосуществима. Блистательным, но практически единственным успехом в этой области, является пример расшифровки символического языка танцев пчел, осуществленный Карлом фон Фришем. Его исследования, начатые еще в 20-е гг. XX в., за кото-

У одних видов рабочие муравьи различаются размерами головы, а у других — скорее размерами «ума»



Рабочие муравьи рода *Pheidole* выполняют в семье функции солдата (справа) и фуражира (слева). Фото @ Alex Wild



Зеленые древесные муравьи (*Oecophylla smaragdina*), обитающие в тропических лесах Азии, Африки и Австралии, «мостят» дорожки с дерева на дерево, цепляясь за тела друг друга. Фото @ Alex Wild

Рыжие лесные муравьи обладают не только сложной коммуникацией, но и профессиональной специализацией в семье, основанной на различиях в поведении (Резникова, Новгородова, 1998). На фото: сборщик пади передает транспортировщику сладкие капли, «надоевшие» у тлей, а охранник находится рядом, готовый отразить любое нападение. Фото Т. Новгородовой

рые он в 1973 г. получил Нобелевскую премию, успешно продолжают его ученики, в том числе, Ю. Таутц (см. статью в этом номере журнала).

Настоящую революцию в постижении «лингвистического» потенциала животных осуществили в конце 60-х гг. прошлого столетия исследователи, применившие второй метод, основанный на использовании искусственных языков-посредников между людьми и животными. В частности, язык жестов глухих позволил человеку вступить в прямой диалог с шимпанзе,

а картинки-лексиграммы используются в общении как с приматами, так и с дельфинами и даже с собаками. Этот метод, однако, дает возможность общаться с представителями ограниченного количества видов (антропоиды, дельфины, попугаи), способных овладеть языком, предложенным экспериментаторами (Резникова, 2008; Reznikova, 2007). Кроме того, этот метод не дает возможности судить о способах естественной коммуникации животных.





И в природе, и в лаборатории рыжие муравьи передают информацию с помощью быстрых и разнообразных движений антенн, ног и нижнечелюстных щупиков. Фото Т. Новгородовой



## Язык животных и теория информации

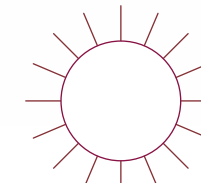
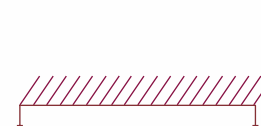
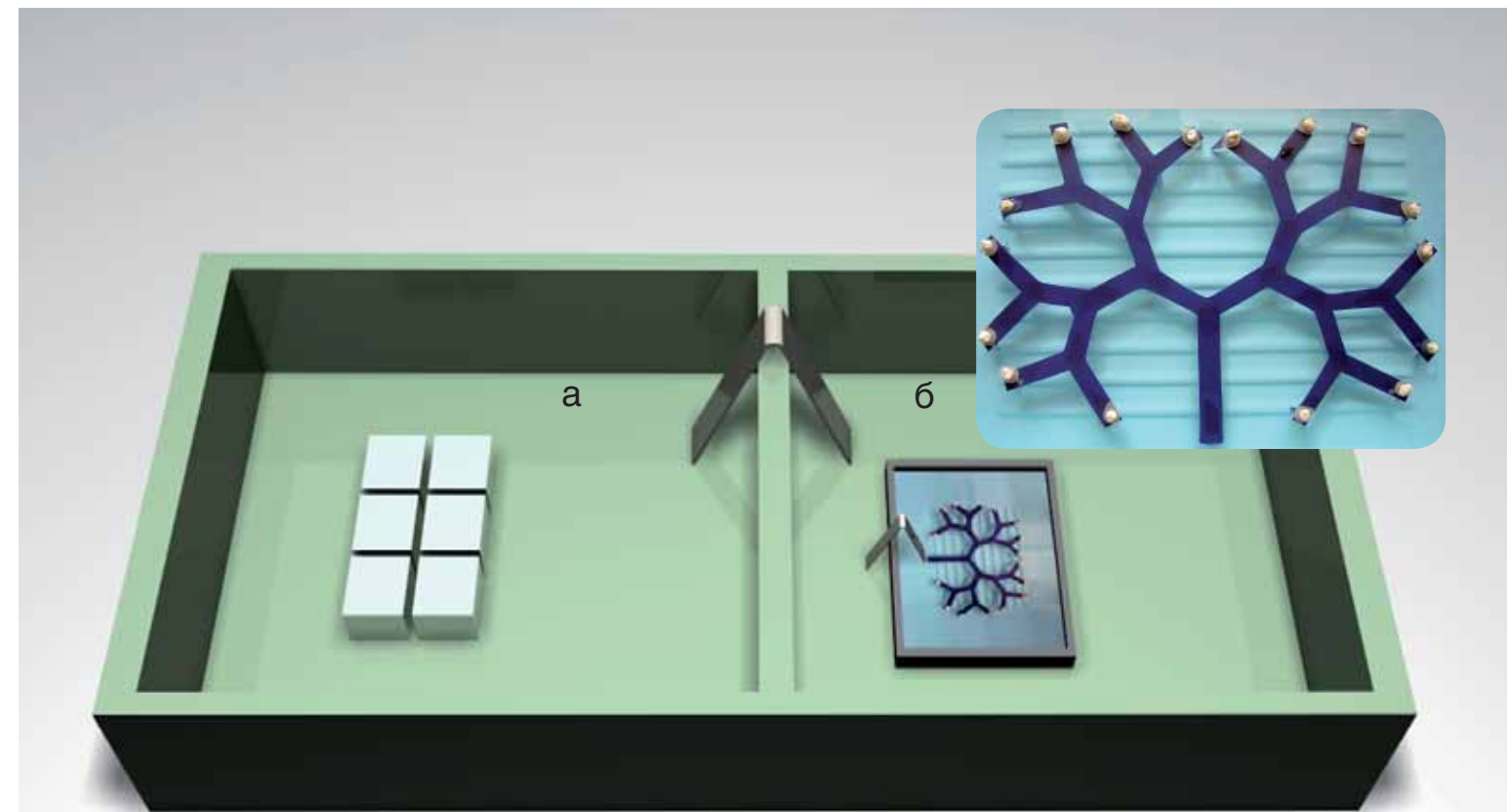
Суть нового, теоретико-информационного подхода, состоит в том, что система коммуникации животных исследуется как средство передачи информации — конкретной, количественно измеримой величины. В экспериментах создается ситуация, когда животные вынуждены передать друг другу заранее известное количество информации. При этом измеряется время, затраченное на ее передачу, т. е. оценивается скорость передачи информации. Этот подход не дает сведений о природе коммуникативных сигналов, зато открывает новые возможности оценки таких свойств систем коммуникации, как скорость передачи информации, адаптивность коммуникативных систем животных, их способность улавливать закономерности и использовать их для «сжатия» передаваемых сообщений.

В течение многих лет мы исследовали свойства и потенциальные возможности коммуникативной си-

Открытие символического «языка» муравьев в британской газете *The Independent on Sunday* (от 15 ноября 1998 г.) названо одним из самых значительных результатов, достигнутых в биологии во второй половине XX в. (Michie, 1998)

стемы муравьев на «лабораторных аренах» с помощью лабиринта «бинарное дерево» (Резникова, Рябко, 1986, 1990). Лабиринты монтировались из пластиковых планок, в кюветах с водой, куда муравьи могли зайти по съемному мостику. В простейшем случае «дерево» состояло из одной развилки, а на концах двух «листьев» находились кормушки: одна пустая, другая с сиропом. Чтобы найти ее, муравьи должны были сообщить друг другу сведения: «иди налево» или «иди направо», т. е. 1 бит информации. В других опытах количество развилки менялось, доходя до шести. На таких разветвленных лабиринтах муравьи могли быстро отыскать корм только в том случае, если получали от разведчика сведения о последовательности поворотов типа «ЛПЛППЛ» (Левое, Правое, ... и т. д.). При шести развилках в лабиринте разведчикам необходимо было передать 6 битов информации. Для того чтобы оценить потенциальную продуктивность муравьиного языка, выявленную с помощью бинарного дерева, подсчитаем минимальное количество сообщений, необходимое насекомым при работе с лабиринтами. Бинарное дерево с двумя развилками содержит  $2^2$  возможных путей, с тремя —  $2^3$ , а с шестью —  $2^6$  путей; следовательно, общее число возможных путей к цели равно  $2 + 2^2 + 2^3 + \dots + 2^6 = 126$ . Это минимальное количество сообщений, которые разведчики должны передавать, чтобы другие муравьи смогли достичь кормушки, помещенной на любой лист бинарного дерева с шестью развилками.

В экспериментах муравьев метили индивидуальными цветными метками и наблюдали за ними в прозрачных лабораторных гнездах. Оказалось, что при решении сложных задач среди муравьев выделяются постоянные рабочие группы, состоящие из одного разведчика и 4–8 фуражиров. Каждый разведчик, найдя пищу, вступает в контакт только со своей группой. Когда разведчик возвращался к гнезду после удачного похода за сиропом, мы измеряли длительность его контактов с фуражирами, соответствующую времени передачи информации. В это время лабиринт заменяли тождественным, но «свежим», лишенным каких бы то ни было следов. Даже сироп уже не было — все кормушки содержали воду. Таким образом, исключалось использование пахучей тропы, которую мог бы оставить муравей в лабиринте, а также самого запаха пищи. При этом фуражиры, пообщавшись с разведчиком, были вынуждены действовать самостоятельно: разведчика изымали пинцетом и временно отсаживали. Важно заметить, что



Схематическое изображение разных вариантов «счетных лабиринтов». Муравьи в разных опытах должны передать друг другу информацию о том, на какой «ветке» счетного лабиринта находилась кормушка с сиропом. Для того чтобы исключить зависимость муравьиного сообщения от формы лабиринта или размера ветки, их меняют в разных сериях экспериментов. Засчитываются только результаты муравьиных «экзаменов»: группа фуражиров после контакта с разведчиком должна прийти на свежий (лишенный пахучего следа) лабиринт, на котором в это момент отсутствует кормушка с едой

муравьи были чрезвычайно заинтересованы в решении предложенной задачи: они получали пищу раз в два дня и только в лабиринте.

Как мы уже знаем, в опытах с «бинарным деревом» количество информации (в битах), необходимое для выбора правильного пути в лабиринте, равно числу развилки. Оказалось, что у муравьев с групповой организацией фуражировки (высоко социальных муравьиных «приматов», таких как рыжие лесные муравьи), зависимость между временем контакта разведчика с фуражирами и количеством передаваемой информации близка к линейной. Она описывается уравнением  $t = ai + b$ , где  $t$  — время контакта разведчика с фуражирами,  $i$  — число развилки (равное количеству передаваемой информации),  $a$  — коэффициент пропор-

Принципиальная схема лабораторной установки для исследования коммуникации муравьев с помощью лабиринта «бинарное дерево». Муравьи находятся в жилой части лабораторной арены (а) в прозрачном гнезде, чтобы можно было наблюдать их контакты друг с другом. На рабочую часть арены (б), где в кювете с водой из пластиковых планок монтируется сменный лабиринт, муравьи попадают по съемному мостику

циональности, равный скорости передачи информации (1 бит в минуту),  $b$  — константа, введенная нами, так как муравьи, в принципе, могут передавать дополнительную информацию, не имеющую прямого отношения к поставленной задаче, например, сигнализировать: «появился сироп». По полученным эмпирическим данным оценивались параметры уравнения линейной регрессии  $a$  и  $b$  и вычислялся выборочный коэффициент корреляции  $r$ . Такие данные получены для рыжих лесных муравьев и еще для двух высоко социальных видов из того же подсемейства (отметим, что в опытах участвовали и другие виды муравьев, у которых не казалось ничего похожего на «символический язык»). Большие значения коэффициентов корреляции для трех видов «муравьиных приматов» подтвердили гипотезу о том,





Группа муравьев пришла на нужную «ветку» «счетного лабиринта», хотя ни пахучей тропы, ни кормушки здесь уже нет. Фото автора

что зависимость между временем контакта разведчика и фуражиров и количеством передаваемой информации (числом развилки  $i$ ) близка к линейной. Полученная закономерность позволила узнать, что скорость передачи информации у муравьев примерно в 10 раз ниже, чем у человека — около 1 бита в минуту. Однако и это немало, а возможности коммуникативной системы насекомых оказались, как мы сейчас увидим, поистине впечатляющими.

## Гении общения

«Договорившись» с муравьями, мы научились использовать механизмы их коммуникации для изучения общих свойств интеллекта. Дело в том, что в современной когнитивной этологии накопилось множество сведений, позволяющих предположить, что разные виды животных могут проявлять признаки очень высоко развитых познавательных способностей в пределах довольно узких доменов. Такие области «интеллектуального прорыва» нелегко бывает обнаружить. Например, сойки и белки способны запомнить расположение тысяч тайников, в которых они спрятали пищу, но это еще не значит, что они смогут, скажем, найти выход из сложного лабиринта успешнее, чем это сделает крыса. А вот крыса далеко превзойдет в этом

искусстве человека, зато ей не дано индивидуально распознать и запомнить сотни своих сородичей, как это делают приматы (в том числе люди) и слоны. Новокаледонские галки оказались, как это недавно выяснилось, «гениями» орудийной деятельности: в способностях быстро преобразовывать разные предметы и использовать их для решения сложных пространственных задач эти птицы превосходят столь признанных наукой умельцев, как шимпанзе. Теперь, после четвертьвековых исследований, у нас есть веские основания считать, что некоторые виды муравьев являются «гениями общения»: они могут решать сложнейшие, доступные немногим видам животных задачи, но только в тех ситуациях, когда надо запомнить и эффективно передать сородичам информацию о богатом источнике пищи. В других обстоятельствах насекомые демонстрируют скромные интеллектуальные возможности. Однако и этого мостика, который удалось перекинуть в неведомую доселе область когнитивной деятельности существ, столь непохожих на нас, оказалось достаточно, чтобы обнаружить проявления общих закономерностей и предложить методы, которые, можно надеяться, послужат для изучения интеллекта разных видов социальных животных.

Лабиринт «бинарное дерево» позволил нам исследовать одну из

важнейших характеристик языка и интеллекта его носителей, а именно: способность быстро подмечать закономерности и использовать их для кодирования, «сжатия», информации. Для языков человека показано, что размер сообщения о некотором объекте или явлении должен быть тем меньше, чем оно «проще», т.е. чем легче в нем обнаружить закономерности. Например, человеку легче запомнить и передать последовательность поворотов на пути к цели «ЛПЛПЛ-ПЛПЛПЛПЛП» (налево—направо, и так 7 раз), чем более короткую, но неупорядоченную последовательность «ПЛЛПППЛП». Опыты с «бинарным деревом» показали, что «язык» и интеллект муравьев позволяют им использовать простые закономерности «текста» для его сжатия (здесь «текст» — последовательность поворотов на пути к кормушке). Так, муравьи затрачивали в несколько раз меньше времени на передачу сообщения «ЛЛЛЛЛ» (пять раз налево), чем на передачу сведений о случайной последовательности той же длины.

Серии опытов с другими экспериментальными установками выявили способность муравьев к счету и даже к осуществлению простейших арифметических операций. В этих опытах муравьи опять-таки были поставлены перед необходимостью передать сородичам информацию о местонахождении приманки, которая помещалась то в одной из точек по-разному искривленных координатных сетей, то на одной из десятков «веточек», отходящих от прямого, горизонтального или вертикального ствола. Система коммуникации муравьев оказалась настолько пластичной, что это позволило им «вводить» особые «обозначения» для тех веток, на которых приманка по воле экспериментаторов оказывалась значительно чаще, чем на остальных.

Описание этих опытов заняло бы слишком много места. Они опубли-

кованы во многих российских и зарубежных журналах и вошли в учебники автора, изданные в Кембридже и в российских издательствах (Резникова, 2005, 2007; Резникова, Рябко, 1995, 1999; Reznikova, Ryabko, 1994, 2001, 2003).

Полученные результаты позволили доказать наличие у муравьев развитого языка и комплекса когнитивных способностей, о которых ранее не могли и думать (способность к улавливанию закономерностей, «сжатию» информации, счету). Можно предположить, что пластичность коммуникативных систем — один из основных критериев интеллекта животных, и этот критерий может быть использован для изучения разных видов социальных животных. Применение нового метода изучения языкового поведения, основанного на идеях и методах теории информации, открывает новые перспективы не только в сравнительной и когнитивной этологии, но также в лингвистике и робототехнике.

### Литература

Резникова Ж.И. Различные формы обучения у муравьев: открытия и перспективы // Успехи совр. биологии. — 2007. — Т. 127, вып. 2. — С. 66—174.

Резникова Ж.И. Современные подходы к изучению язы-

кового поведения животных // Разумное поведение и язык. Языки славянских культур. М., 2008. — С. 293—337.

Резникова Ж.И., Новгородова Т.А. Индивидуальное распределение ролей и обмен информацией в рабочих группах муравьев // Успехи совр. биологии. — 1998. — Т. 118, вып. 3. — С. 345—356.

Резникова Ж.И., Рябко Б.Я. Анализ языка муравьев методами теории информации // Проблемы передачи информации. — 1986. — Т. XXII, № 3. — С. 103—108.

Резникова Ж.И., Рябко Б.Я. Теоретико-информационный анализ «языка» муравьев // Журн. общ. биологии. — 1990. — Т. 51, № 5. — С. 601—609.

Reznikova Zh. Animal Intelligence: From Individual to Social Cognition. — Cambridge University Press, 2007. — 488 p.

Reznikova Zh. Dialog with black box: Using Information Theory to study animal language behaviour // Acta Ethologica (Springer). — 2007. — № 10. — P. 1—12.

Reznikova Zh., Ryabko B. A study of ants numerical competence // Electronic Transactions on Artificial Intelligence. — 2001. — № 5. — P. 111—126.

Ryabko B., Reznikova Zh. Using Shannon Entropy and Kolmogorov Complexity to study the communicative system and cognitive capacities in ants // Complexity. — New York. — V. 2, N2. — P. 37—42.

Рисунок П. Рябко

