

Маленькие труженики большой науки

Ж.И.Резникова

Герои «Кибериады», произведения знаменитого фантаста С.Лема, неустанно исследуя процессы мироздания, создавали одну за другой крошечные цивилизации и наблюдали под микроскопом их расцветы и крушения, меняя условия развития. Но никакая фантастическая модель не заменит настоящей, непредсказуемой и загадочной, «цивилизации» на лабораторном столе, которую можно изучать, задавая все более сложные вопросы и получая все более интригующие ответы, если только вы овладели искусством общения с муравьями. Эти маленькие шестиногие создания, покрытые хитиновым панцирем и смотрящие на мир фасеточными глазами, сталкиваются в своей жизни с множеством проблем, общих для всех высокосоциальных видов, включая и наш собственный. Проблемы взаимопонимания и координации совместной деятельности требуют надежных систем коммуникации, обработки информации и разделения труда между членами сообщества. Муравьи решают и экологические проблемы. Они делят территорию и пищевые ресурсы с разными животными и вынуждены отвечать на непростые вопросы — как выгодно использовать одних и как с наименьшими усилиями избавиться от других. Полевые и лабораторные эксперименты помогают узнать, каким образом наши соседи по планете справляются со всем этим и в результате более точно представить себе, как функционируют сообщества животных на разных уровнях — от



Жанна Ильинична Резникова, доктор биологических наук, профессор, заведующая тематической группой этологических основ интеграции сообществ животных, а также заведующая кафедрой сравнительной психологии Новосибирского государственного университета. Специалист в области экспериментальной этологии и экологии.

семейных и популяционных до межвидовых. А проникая в тайны интеллекта и общения муравьев, исследователь может открыть закономерности, помогающие самопознанию человека и прояснению его места в природе. Результаты, полученные нашей тематической группой при изучении коммуникации и координации деятельности муравьев, представляют интерес не только для биологии, но и социологии, лингвистики и робототехники.

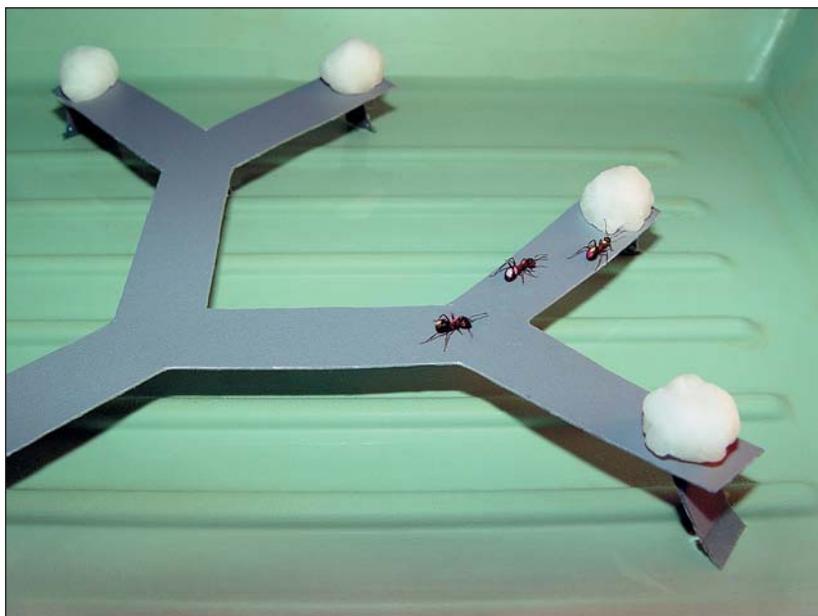
Интеллект муравьев — на службу науке

На обложке книги «Animal Intelligence: From Individual to Social Cognition»* группа муравьев движется по лабиринту «бинарное дерево». Это иллюстрация нашего эксперимента, позволившего описать символический «язык» муравьев, превосходящий по сложности изве-

стный «язык танцев» пчел**. Рыжие лесные муравьи стали первыми испытуемыми нового метода изучения языкового поведения животных. Этот метод, предложенный известным специалистом по теории информации и криптографии Б.Я.Рябко и разработанный в нашей лаборатории, теперь называется теоретико-информационным [1]. Он принципиально отличается от двух других ранее известных в этологии: прямой расшифровки сигналов животных (что громоздко и чаще всего практически неосуществимо) и применения искусственных языков-посредников, позволяющих нам общаться с представителями ограниченного количества видов (антропоидами, дельфинами, попугаями), способных овладеть языком, предложенным экспериментаторами. Суть теоретико-информационного подхода в том, что система коммуникации животных исследуется

* Эта книга, написанная автором статьи, опубликована в Кембридже (2007). — *Примеч. ред.*

** Это открытие в газете «The Independent on Sunday» названо одним из самых значительных результатов в биологии второй половины XX в. — *Примеч. ред.*



Группа муравьев в лабиринте «бинарное дерево».

Фото И.К.Яковлева

как средство передачи информации — конкретной, количественно измеримой величины. В экспериментах создается ситуация, когда животные вынуждены передать друг другу заранее известное экспериментатору количество информации. При этом измеряется время, затраченное на ее передачу, т.е. оценивается скорость передачи информации [2, 3].

В течение многих лет мы исследовали свойства и потенциальные возможности коммуникативной системы муравьев на лабораторных аренах с помощью лабиринта «бинарное дерево». Лабиринты монтировались в кюветах с водой, из пластиковых планок, куда муравьи могли зайти по съёмному 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 опытах количество развилки менялось, доходя до шести. На таких разветвленных лабиринтах мура-

вьи могли быстро отыскать корм, только если получали от разведчика сведения о последовательности поворотов типа «ЛПЛППЛ» (Лево, Право и т.д.). При шести развилках разведчикам необходимо было передать шесть битов информации, и в этом случае минимальное число сообщений в «языке» муравьев равнялось количеству конечных «листьев», т.е. $2^6 = 64$.

В экспериментах муравьев метили индивидуальными цветными метками и наблюдали в прозрачных лабораторных гнездах. Оказалось, что при решении сложных задач среди муравьев выделяются постоянные по составу рабочие группы, состоящие из одного разведчика и 4–7 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 «свежим», лишенным каких бы то ни было следов. Даже сироп уже не было, все кор-

мушки содержали воду. Так исключалось использование пахучей тропы, которую мог бы оставить муравей в лабиринте, а также самого запаха пищи. Фуражиры, пообщавшись с разведчиком, были вынуждены действовать самостоятельно: разведчика изымали пинцетом и временно отсаживали. Важно заметить, что муравьи были чрезвычайно заинтересованы в решении предложенной задачи: они получали пищу раз в два дня, и только в лабиринте.

Как уже сказано, в опытах с «бинарным деревом» количество информации (в битах), необходимое для выбора правильного пути в лабиринте, равно числу развилки. Оказалось, что у видов муравьев с групповой организацией фуражировки (высокосоциальных муравьиных «приматов») зависимость между временем контакта разведчика с фуражирами и количеством передаваемой информации близка к линейной. Зависимость эта описывается уравнением $t = ai + b$, где t — время контакта, a — коэффициент пропорциональности, равный времени, затрачиваемому на передачу одного бита информации, b — константа, введенная нами потому, что муравьи в принципе могут передавать дополнительную информацию, не имеющую прямого отношения к выбору пути, например сигнализировать «появился сироп». Полученная закономерность позволила узнать, что скорость передачи информации у муравьев по крайней мере в 10 раз ниже, чем у человека: около 1 бита в минуту. Однако и это немало, а возможности коммуникативной системы насекомых оказались, как будет видно, поистине впечатляющими.

Мы научились использовать механизмы коммуникации муравьев 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 областей. 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 так, как это делают приматы (в том числе люди) и слоны. Новокаледонские галки оказались, как 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 полагать, что некоторые виды муравьев — «гении 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 у насекомых весьма скромные интеллектуальные показатели. 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.

Применив лабиринт «бинарное дерево», мы исследовали одну из важнейших характеристик языка и интеллекта его носите-

лей, а именно способность быстро подмечать закономерности и использовать их для кодирования, сжатия, информации. При сжатии размер сообщения о некотором объекте или явлении должен быть тем меньше, чем он проще, т.е. чем легче в них обнаружить закономерности. Например, человеку легче запомнить и передать последовательность поворотов на пути к цели «ЛП-ЛП-ЛП-ЛП-ЛП-ЛП» (Лево, Право, и так семь раз), чем более короткую, но неупорядоченную последовательность «ПЛЛПППЛП». В опытах выяснилось, что «язык» муравьев и их интеллект 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 [4].

В серии опытов с другими установками мы выявили способность муравьев к счету и даже к простейшим арифметическим операциям. Муравьи опять-таки были поставлены перед необходимостью передать сородичам информацию о месте нахождения 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 они могли вводить «особые обозначения» тех веток, на которых приманка по воле экспериментаторов оказывалась значительно чаще, чем на остальных. Описание этих опытов заняло бы слишком много места. Они опубликованы во многих российских и зарубежных журналах и вошли в учебники автора, изданные в отечественных издательствах и в Кембридже (см., например, [5, 6]).

Полученные результаты доказывают наличие у муравьев развитого языкового поведения и целого комплекса когнитивных способностей, которых ранее не могли и предполагать (способность улавливать закономерности, «сжимать» информацию, считать). Не исключено, что пластичность коммуникативных систем — один из основных критериев интеллекта животных и может быть использован для изучения разных видов.

Я б в разведчики пошел, пусть меня научат!

В экспериментах по изучению коммуникации муравьев выяснились не только фантастические возможности их «языка», но и обозначились существенные различия между членами семьи, выполняющими разные функции. Разведчики, эти представители своеобразной «интеллектуальной элиты» в семье, проворны, инициативны, легко запоминают путь к приманке и быстро переучиваются, если экспериментаторы его меняют. А самое главное — способны передать информацию своей группе фуражиров (заметим в скобках, что у медоносных пчел все устроено проще — разведчица «танцует» на сотах, не адресуясь к определенной составу аудитории). Фуражиры понимают и запоминают переданные им сведения, но ни один из них, поставленный на место разведчика, не может выполнить его ответственную работу. Такая «интеллектуальная пропасть» заставляет задуматься о роли индивидуума в социуме, и в частности о роли отдельной особи в семье общественных насекомых.

У многих видов муравьев (а всего их около 11 тыс.) выполняемые функции тесно связаны с морфологическими признаками каст (точнее, субкаст в пределах касты рабочих особей). У разных видов по-разному



Солдат и рабочий — пример морфологической кастовой изменчивости (Аризона, США).

© Фото Э.Уайлда



Муравей *Odontomachus bauri* (Коста Рика) ловит подвижную добычу, широко раздвигая жвалы-капканы.

© Фото Э.Уайлда

му выражена морфологическая кастовая изменчивость: специфическая форма челюстей, головы, существенные различия в размерах. Солдаты обычно крупнее других, с большой головой, острыми челюстями (жвалами), рабочие, вырезающие кусочки листьев, вооружены жвалами-ножницами, а охотники на подвижную добычу —

жвалами-капканами. Однако у многих видов разграничение функций между рабочими основано только на различиях в поведении. И то и другое, как правило, — проявления дискретной фенотипической изменчивости. Достаточно изменения в составе пищи или даже механических воздействий на муравьиную личинку, чтобы ее развитие пошло по тому или иному пути, и получилась бы скромная нянька или грозный солдат (не забудем только, что у общественных перепончатокрылых все рабочие — не размножающиеся самки). Помимо фенотипической изменчивости, может, конечно, проявляться и генетическая неоднородность семьи. У многих видов муравьев в гнезде размножается множество «цариц», а даже если «царица» одна, она может накапливать сперму от нескольких самцов.

Нас интересуют ситуации, когда члены семьи внешне похожи и различаются только по поведению. Как они выбирают профессию? Какую роль играют их поведенческие и когнитивные особенности, такие как уровень агрессивности, склонность проявлять инициативу или подражать другим, способность решать определенного типа задачи? Как рано начинается профессиональная специализация, и может ли муравей переучиться, поменять профессию?

Муравьиные профсоюзы. Этологические механизмы разделения труда у муравьев исследовались с середины прошлого столетия, но выяснено было немного. Причина неудач, возможно, заключалась в методологическом подходе: изучалось поведение «безличных» функциональных групп в семье (сборщиков пади тлей, охотников, охранников, нянек, строителей). Мы первыми обратились к исследованиям профессиональной специализации муравьев на индивидуальном уровне.

Мы начали с одной из самых многочисленных функциональ-

ных групп, сборщиков сладких выделений тлей. Падь составляет основу рациона многих видов, в частности рыжих лесных муравьев, которые собирают за лето десятки килограммов этой углеводной пищи, поставляемой услужливыми симбионтами. Симбиоз муравьев и тлей был описан еще в начале XX в., однако до сих пор снующие по стволам сборщики пади с просвечивающими на солнце раздутыми от сиропа брюшками представляются исследователям своеобразными «живыми вагончиками» с довольно простым и однообразным поведением. Но в наших экспериментах с муравьями удалось выявить у них систему профессиональной специализации. На многочисленных колониях тлей, принадлежащих каждой семье, работают постоянные по составу группы сборщиков, среди которых мы выделили несколько профессий. Это пастухи, собирающие падь; сторожа, охраняющие колонии тлей; транспортировщики, относящие падь в гнездо, и координаторы, занятые поиском новых колоний в таком сложном для муравья пространстве, как крона дерева. Координаторы, подстерегающие появление новой колонии тлей в кроне березы, чтобы сообщить об этом членам группы, по своим функциям соответствуют разведчикам, передающим информацию на бинарном дереве в лаборатории. Оказалось, что такие профессионалы могут при необходимости стать, например, пастухами или охранниками, тогда как представители этих менее сложных профессий переучиться не способны [7].

Профессиональная ориентация в семье муравьев связана с поведенческой и когнитивной специализацией особей. Последнюю можно представить как результат группировки особей со сходными способностями решать определенные задачи. Однако помимо выраженных склонностей к этому, может су-

ществовать и запрет на решение каких-то задач представителями некоторых профессий. Рассмотрим, например, такую задачу, как обучение избегать опасности. Встречаясь с врагом, муравей-разведчик, возможно, обязан сохранить свою жизнь для новых интеллектуальных подвигов, направленных на благо семьи. Но охранник не должен прятаться, скорее наоборот, от него требуется бросок вперед без всяких «рассуждений». В экспериментах для рыжих лесных муравьев одним из «образов врага» служат их конкуренты — хищные жужелицы, которых мы успешно заменяли моделями с характерными признаками. В естественных условиях охотники и еще более агрессивные охранники нападают на врагов, а мирные сборщики пади уходят от контактов с опасными объектами. Это позволило использовать жужелиц как объект для раннего выявления у муравьев профессиональных склонностей. Из муравьев, выращенных в лаборатории, охранниками становились особи, с раннего «детства» проявлявшие высокий уровень агрессии и к тому же обладавшие явно выраженным врожденным «образом врага», а возможно, и набором образов. Будущие охранники не избегали врагов, а без устали нападали на них, хотя это и было смертельно опасно [8].

Итак, муравьи довели нас до самого порога решения такой общебиологической проблемы, как разделение функций в сообществах, основанное на поведенческой и когнитивной специализации индивидуумов. Однако функциональная структура сообщества держится не только на группировке членов с изначально сходными свойствами. В жизни общественных животных большую роль играет социальное обучение, т.е. подражание поведению других особей. Помогает ли муравьям социальное обучение совершенствовать свои профессиональные навыки?



Муравьи на колонии тлей. Пастух передает падь транспортировщику, сторож охраняет колонию от вторжения хищников и чужих муравьев.

Фото Т.А.Новгородовой



Гнездо рыжих лесных муравьев.

Фото Т.А.Новгородовой



Зеленые муравьи-ткачи *Oecophylla smaragdina*, сшивающие гнездо из листьев.

© Фото Э.Уайлда

Есть ли у муравьев культура?

Недавно палеонтологи нашли окаменевшее гнездо, изготовленное более миллиона лет назад муравьями-ткачами, известными тем, что они «сшивают» свои жилища из листьев. В качестве живых орудий ткачи используют своих же личинок, заставляя их направлять застывающее на воздухе шелкоподобное вещество не на строительство собственного кокона, а на скрепление деталей будущего дома. Наши современники — это уже другие виды, принадле-

жащие к роду муравьев-листорезов. Возможно, поменялись и используемые виды деревьев и детали постройки. Однако сохранилась основа сложнейшего поведенческого стереотипа, заставляющего одних членов семьи искать подходящие листья и сблизать их края, а других — сшивать листья столь необычным способом. Поведенческая модель оказалась надежным комплексным признаком, пронесенным группой сходных видов насекомых через миллионы лет. Инструкции гнездострое-

ния, конечно, записаны не в фоллиантах муравьиных библиотек, а в муравьиных генах.

Однако в меняющейся среде муравьи, как и все другие животные, сталкиваются с потоком неожиданных проблем, вызванных, скажем, переменами в климатических и ландшафтных условиях: привычная добыча может исчезнуть или появиться новая; могут объявиться незнакомые враги, прежние жилища — оказаться непригодными. Экологам известно, что виды «генералисты», в противоположность «узким специалистам», могут справиться с такими проблемами за счет гибкого поведения. В выигрыше окажутся популяции, в которых полезные навыки быстро распространятся и закрепятся. Однако животные консервативны, и новым формам поведения придется преодолевать «вязкую» среду исполнителей видотипического поведенческого репертуара. Примеров «учительства» у животных и описаний распространения культурных традиций в популяциях сравнительно немного в научной литературе, и они касаются главным образом высокосоциальных видов позвоночных [9].

Есть ли более простые и универсальные способы распространения полезных знаний и умений? Исследуя этот вопрос на примере охотничьего поведения муравьев рода *Myrmica*,



Жужелица и муравей в Y-образном лабиринте. Один его отсек безопасен для жука, а во втором, как злая собачка, привязан на тонком поводке муравей. Жужелица старается обогнуть врага (слева), но если это не удастся, будет убита.

Фото Е.А.Дорошевой и С.Н.Пантелеевой

мы открыли новую и, по-видимому, общую для многих видов животных форму передачи навыков в сообществах, которую назвали «распределенным социальным обучением».

Муравьи-мирмики, обычные обитатели лесной подстилки, оказались неутомимыми охотниками на прыгающих ногохвосток (*Collembola*) — крошечных беспозвоночных, в огромном количестве населяющих лесную почву и подстилку. Особый орган — прыгательная вилка — позволяет ногохвосткам быстро ускользать от преследователей. До недавнего времени считалось, что среди муравьев охотиться на ногохвосток могут лишь экзотические обитатели тропических лесов, снабженные челюстями, которые защелкиваются, как ловушка. Мы впервые обнаружили, что мелкие муравьи (и мирмики среди них), обитающие в почве и подстилке наших лесов и лугов, относятся к коллемболам как к массовой добыче. Мы наблюдали за охотничьим поведением в полевых экспериментах, используя стеклянные контейнеры с прозрачным субстратом, имитирующим лесную подстилку. Муравей, охотящийся на ногохвостку, действиями напоминает мышкующую лису. Быстро выяснилось, что в семьях муравьев есть и успешные охотники, и постоянно промахивающиеся «двоечники». Сравнив муравьев с другими ловцами ногохвосток, коротконадкрылыми жуками стафилидами, мы поняли, в чем их отличие: жуки не могут улучшить своих охотничьих показателей и переключаются на более простую для поимки добычу, а муравьи умеют обучаться. Обнаружилась и простая закономерность: чем больше ногохвосток водится вокруг муравьиного гнезда, тем богаче успешными охотниками эта семья. Такие виды муравьев, как мирмика, легко снимаются с места и могут всей небольшой семьей перебраться в более кормное место. Это означает, что в семье, попавшей

в биотоп, богатый вкусными «прыгунчиками», скоро оказывается достаточное количество успешных добытчиков [10].

Можно было предположить, что неуклюжие охотники постепенно перенимают приемы удачливых собратьев, наблюдая за ними: чем больше вокруг добычи, тем чаще совершаются успешные броски. Получается что-то вроде муравьиной «охотничьей культуры». Однако мы не спешили делать такой вывод и принялись экспериментировать с семьями, состоящими из муравьев, выращенных в лаборатории. Такие животные, воспитанные экспериментаторами в изоляции от исследуемых факторов и лишенные контактов со взрослыми, в этологии называются «наивными». Большинство «наивных» муравьев при первой встрече с ногохвостками вело себя с ними не как с потенциальными жертвами, а как с сородичами: ощупывали и даже соприкасались антеннами, выказывая самое дружеское расположение. Нужно подчеркнуть, что речь идет хотя и о «наивных», но полностью физиологически зрелых особях [11].

Казалось бы, вот убедительный аргумент в пользу того, что для проявления охотничьего поведения у молодых муравьев нужен пример старших. Чем не «муравьиная культура»? Тем не менее, мы продолжали тестировать членов «наивных» семей и... обнаружили несколько прирожденных охотников. У них слож-

ный стереотип охотничьего поведения проявлялся по принципу «все и сразу». Без колебаний эти муравьи бросались на прыгающую добычу и умерщвляли ее, используя стереотипную последовательность движений. Это говорит о том, что все элементы сложного охотничьего поведения могут быть у муравьев врожденными.

Однако в наших «наивных» муравьиных семьях носителей целостного стереотипа оказалось не более 10%. Эти особи служат «центрами кристаллизации» в процессе распространения охотничьих навыков в семье. Они обеспечивают социальное обучение остальных при условии достаточно высокой частоты встреч с потенциальной добычей. Здесь есть место для ответственного и далеко идущего предположения. Для муравьиных, да и не только для муравьиных, мозгов может быть слишком громоздок и «дорог», с эволюционной точки зрения, полный набор всех возможных стереотипов на разные случаи жизни. Сложные поведенческие модели, такие как обсуждаемый здесь специфический охотничий стереотип, могут присутствовать у большинства членов сообщества в виде «спящих» фрагментов, которые достраиваются до целого за счет взаимодействия с немногими «светочами врожденного знания». Это и есть, по нашему предположению, «распределенное социальное обучение».



Муравей *Myrmica rubra* убивает ногохвостку (слева), а «наивный» муравей, выращенный в лаборатории в отсутствие взрослых сородичей, выказывает ногохвостке дружеское расположение, соприкасаясь с ней антеннами.

Фото С.Н.Пантелеевой

Гипотезу «распределенного социального обучения» неожиданно подтвердили результаты исследований новокаледонских галок [12]. Птицы, способные в лабораториях ловко манипулировать разными предметами, у себя на родине изготавливают однотипные «крючки» и «грабли» из плотных листьев пандануса (напоминающего фикус) для добывания насекомых из-под коры деревьев. Сначала этологи расценили это как «орудийную культуру» у птиц. Однако сходство орудий и приемов их изготовления особями из пространственно разобщенных популяций заставило исследователей проверить, какую роль играет врожденная компонента в формировании орудийного поведения. В лаборатории из яиц вырастили четырех «наивных» птенцов. Трое из них владели лишь отдельными элементами орудийного поведения, а один уверенно взялся за изготовление типовых грабель. Объединив эти данные с нашими результатами, полученными на муравьях-охотниках, мы можем теперь объяснить поведение животных более экономично, без привлечения феномена «орудийной культуры» у галок и тем более — «охотничьей культуры» у муравьев.

«Культурная» передача навыков подразумевает имитацию — подражание последовательности удачных действий, приводящих к успеху. Подражание лежит в основе передачи информации негенетическим путем; известный российский генетик М.Е.Лобашев называл его сигнальной наследственностью. «Распределенное социальное обучение» включает использование генетически запрограммированных реакций и не требует такого сложного поведения, как имитация. Если в сообществе есть носители целостных поведенческих стереотипов, то носители «спящих» фрагментов этих стереотипов могут их достраивать до целостной поведенческой модели за

счет самых простых форм социального обучения. Здесь задействовано так называемое «социальное облегчение»: один только вид сородича, выполняющего какие-либо действия, уже помогает высвобождению и проявлению стереотипов, «дремлющих» в поведенческом репертуаре. Действует кумулятивный эффект: частые встречи с исполнителями поведенческих стереотипов помогают пробуждению такого же поведения у наблюдателей [13].

Необходимо отметить, что встроенные поведенческие стереотипы, хотя и весьма специфические, обладают некоторой универсальностью, предоставляя своим пользователям ту или иную степень свободы действий. Галки могут не только изготавливать типовые орудия, но и видоизменять их, если надо, до неузнаваемости. В наших опытах выяснилось, что стереотип «охотника на ногохвосток» действует во время охоты муравьев на жертв с определенными характеристиками движения, формой и размерами. В экспериментах муравьи охотились даже на невысоко летающих дрозофил. «Образ врага», с раннего «детства» запечатленный в мозгу будущих охранников, также оказался генерализованным. Муравьи реагируют на комплекс признаков, которые легко придать и искусственному врагу: темный цвет, определенный размер, двусторонняя симметрия и наличие выростов (ног, антенн). Если на смену врагам-жуелицам придут другие, со сходными признаками, муравьи встретят их во всеоружии. Подобные же обобщенные образы известны у птиц и зверей, реагирующих на хищников и врагов. Эти работы восходят к классическим опытам Н.Тинбергена и К.Лоренца, описавших паническую реакцию новорожденных цыплят на проносимую над ними картонную модель хищника (короткая «шея» силуэта впереди, длинный «хвост» сзади) и не реагирующих на ту же модель,

если она движется хвостом вперед (тогда из коршуна получается безопасный гусь). Важно отметить, что если врожденный стереотип сложен (как охота на «прыгунчиков»), то за счет некоторой его гибкости, по-видимому, оптимизируется процесс его «сборки» у большинства членов сообщества, которые обладают лишь отдельными его фрагментами.

Гипотеза «распределенного социального обучения» обсуждалась на международном этологическом конгрессе в августе 2007 г. и вызвала повышенный интерес специалистов в теории социального обучения. Ведь речь идет о неизвестной до сих пор и вместе с тем простой, по-видимому, универсальной форме распространения навыков в сообществах животных. А открыть ее нам помогли муравьи. Устройство муравьиного сообщества нам теперь тоже стало понятнее. Хотя и предстоит еще выяснить множество нерешенных проблем, мы, пусть в общих чертах, представляем себе, как муравьи выбирают профессию, как совершенствуют профессиональные навыки и какую роль играет в этом индивидуальный и социальный опыт.

Оркестр под управлением муравья

Экологи считают рыжих лесных муравьев «инженерной» группой видов, преобразующих ландшафт своей деятельностью (как, например, бобры). Муравьиные колонии насчитывают сотни муравейников и занимают многие гектары лесных массивов. Муравейники и муравьиные фуражировочные дороги фрагментируют жизненное пространство многих обитателей поверхности и верхних слоев почвы. Не только жук или паук, но и мышь не решится перебежать поток кусачих муравьев. Уж лучше держаться подальше. Так что одним своим присутствием муравьи воздействуют на

пространственное распределение и численность беспозвоночных и мелких позвоночных. А ведь для сотен видов животных муравьи — хищники, и еще для многих (от жужиц и пауков до птиц) — прямые или косвенные конкуренты.

Помимо «отрицательных» взаимодействий в экосистеме, муравьи формируют и множество «положительных». Муравейники дают приют огромному числу сожителей, среди которых массовые виды ногохвосток. Гнездо муравьев — это целый остров, со своими правилами общежития для многочисленных и разнообразных обитателей. В наших исследованиях выяснилось, что ногохвостки конкурируют за возможность заселения таких привлекательных местообитаний, как муравейники, и численность видов-победителей во много раз превышает количество видов в почве и подстилке вокруг гнезд муравьев. С сосущими хоботными насекомыми (такими как тли и цикадки) муравьи связывают прочные отношения симбиоза: они получают сладкую падь, защищая тлей от хищников и неблагоприятных погодных условий.

Члены нашей исследовательской группы получили много новых и интересных результатов, позволяющих представить общую картину роли муравьев в многовидовых сообществах животных. Важная составляющая наших комплексных исследований — выяснение эволюционных механизмов взаимодействия видов в сообществах с доминированием муравьев. Дело в том, что никто не подозревал, насколько гибким может быть поведение беспозвоночных. Среди них разве что перепончатокрылые, прежде всего муравьи, традиционно рассматривались как существа, способные к гибкому поведению, основанному на приобретенном опыте. Но жуки, пауки, тли и прочие... все они, за редкими исключениями, считались исполнителями

жестко закрепленных поведенческих стереотипов. Мы впервые экспериментально доказали, что муравьи не только формируют потоки численности животных, но и обучают их правилам поведения на общей территории. Это означает, что партнеры муравьев по межвидовым отношениям могут быстро усвоить их «уроки». Роль памяти и научения оказалась весьма значительной во взаимодействии беспозвоночных.

Например, выяснилось, что хищным жужицам достаточно одного-двух столкновений с рассерженным муравьем, чтобы у них надолго сформировалась тактика избегания конфликтов. В природе те жуки, которые научились лавировать или прятаться при встречах с муравьями, получают доступ к дополнительным пищевым ресурсам. Помимо живой добычи, которую можно найти на солнечных, хорошо прогреваемых муравьиных территориях, жужицы не прочь поживиться остатками хозяйских трапез. Привлекают жуков и «кладбища», места, куда муравьи аккуратно приносят и складывают трупы своих сородичей — истинное лакомство для жужиц. Однако все эти блага доступны только тем, кто быстро учится хорошо себя вести в присутствии хозяев [8].

По сравнению с активной жизненной позицией хищных муравьиных конкурентов, нежные и пугливые тли ведут себя скромно и проявляют полную готовность снабдить своих защитников сладкой пищей. Исследования, посвященные взаимодействию симбионтов на разных уровнях, от индивидуального до межвидового, позволили выявить ранее неизвестные поведенческие коадаптации и впервые описать драматическую картину борьбы за ресурсы как с той, так и с другой стороны. Члены многовидового сообщества муравьев стараются получить как можно больше углеводной пищи от

симбионтов, вкладывая поменьше усилий. В ход идут вооружение и обман, в терминах экологии описываемые как разные формы клептопаразитизма [14]. Разные виды тлей «соревнуются» за внимание муравьев, обеспечивающих им защиту и в конечном итоге рост численности популяций.

Оказалось, что поведенческий репертуар мирмекофильных (связанных с муравьями постоянными отношениями) и немирмекофильных тлей значительно различается. Поведение первых видов почти полностью состоит из элементов, адаптированных к симбиозу. Большая часть реакций направлена на привлечение внимания муравьев и коммуникацию с ними, а также на увеличение времени сохранения сладких выделений на кончике или внутри брюшка для последующей передачи муравьям. В репертуаре мирмекофилов практически отсутствуют защитные реакции, ведь тли находятся под охраной муравьев. На раздражающие или пугающие воздействия тли отвечают выделением капли пади, своего рода «взятки» потенциальному врагу. Поведение немирмекофильных тлей более гибко и разнообразно. В его состав входят элементы пассивной защиты, от спрыгивания с растения на землю до показа «устрашающих» поз, что позволяет им, по крайней мере частично, избежать нападения хищников [15]. Могут ли тли расширить свой поведенческий репертуар, научиться полезным для себя взаимодействиям? Этот вопрос требует детальных исследований, но основания для них есть: оказалось, что факультативно мирмекофильные виды, «колеблющиеся» между симбиотической зависимостью и самостоятельной жизнью, обладают некоторой гибкостью поведения. Определенно можно сказать, что зависимость мирмекофильных видов тлей от муравьев оказалась еще более глубокой, чем предполагалось ра-

нее. Однако до сих пор не был выявлен реальный вклад муравьев разных видов в потенциал численности и процветание популяций мутуалистов — прокормителей.

В нашей лаборатории впервые обнаружена зависимость между поведением муравьев, эффективностью их ухода за симбионтами и количеством видов тлей, связанных с разными видами хозяев. Из этого вытекают новые представления о разделении ролей в многовидовых сообществах, основанном на неравномерных вкладах разных видов муравьев в процветание популяций тлей на совместной территории, т. е. в развитие общей кормовой базы. Были выявлены совершенно несхожие поведенческие схемы взаимодействия разных видов муравьев с тлями. Профессиональная специализация с разделением труда между членами групп, работающих на колониях тлей, оказалась присущей только этологическим доминантам — рыжим лесным муравьям. Среди других видов, которые тоже «пасут» тлей, только доминанты обеспечивают им реальную защиту от хищников и неблагоприятных условий. В частности, как выяснилось, они образуют «защитную сеть», прикрывая тлей своими телами от дождя и ветра. Остальные

члены муравьиного многовидового сообщества — мирмики, более мелкие муравьи рода *Formica*, черные садовые лазиды, муравьи-древоточцы — взаимодействуют с тлями по более простым схемам. Они основаны либо на частичном разделении ролей в группах, либо на деятельности не связанных между собой фуражиров [16].

Эффективность ухода за тлями можно оценить как разницу между количеством колоний (выживших к концу сезона), посещаемых муравьями и изолированных от них. Мы проводили многолетние эксперименты с поочередной изоляцией (с помощью пластикового воротничка, надетого на ствол дерева) колоний тлей от муравьев, чтобы выявить такую эффективность. В результате оказалось, что инвестиции членов их многовидового сообщества в процветание совместно используемых популяций тлей неодинаковы. У этологических доминантов (рыжих лесных муравьев), с их глубокой профессиональной специализацией, показатель эффективности в 3-4 раза выше, чем у видов с частичным разделением труда. Получается, что именно доминанты вносят основной вклад в потенциал численности и процветания тлей. Остальные члены многовидового сообщества муравь-

ев так или иначе используют колонии тлей на общей территории, прибегая к клептопаразитизму — прямому воровству пади и косвенному [7, 16].

Итак, мы изучили взаимодействие муравьев с их симбионтами и конкурентами в естественных условиях и поняли, что эти насекомые выполняют функции «дирижеров» многовидового сообщества. Это помогло нам представить, в чем состоит выигрыш от сложных форм коммуникации и разделения труда в семьях муравьиных «приматов». Виды с языковым поведением и глубокой профессиональной специализацией в полной мере используют свои преимущества, играя роль «гегемонов» в таких сообществах.

Полученные результаты заставляют нас увидеть окружающий мир совсем не таким, каким мы себе представляли его ранее. В этом, новом для нас, мире такие скромные создания, как муравьи, умеют считать и обладают развитым символическим языком, благодаря которому передают друг другу абстрактные сведения. А сонмы других насекомых, казавшихся прежде запрограммированными «живыми машинками», на самом деле способны обучаться и гибко перестраивать поведение в быстро меняющейся среде межвидовых отношений. ■

Литература

1. *Reznikova Zh.* // Acta Ethologica (Springer). 2007. V.10. P.1—12.
2. *Резникова Ж.И., Рябко Б.Я.* // Журн. общ. биологии. 1990. Т.51. №5. С.601—609.
3. *Новгородова Т.А.* // Зоол. журн. 2006. Т.85. №4. С.493—499.
4. *Ryabko V.Ya., Reznikova Zh.I.* // New York. 1996. V.2. №2. P.3742.
5. *Резникова Ж.И., Рябко Б.Я.* // Журн. высшей нервной деятельности. 1999. Т.49. №1. С.12—21.
6. *Резникова Ж.И.* Интеллект и язык животных и человека: введение в когнитивную этологию. Учебное пособие для вузов (Гриф Минобразования РФ). М., 2005.
7. *Резникова Ж.И., Новгородова Т.А.* // Усп. соврем. биологии. 1998. Т.118. №3. С.345—356.
8. *Дорошева Е.А., Резникова Ж.И.* // Журн. общ. биологии. 2006. Т.67. №3. С.190—206.
9. *Резникова Ж.И.* // Журн. общ. биологии. 2004. Т.65. №2. С.136—152.
10. *Резникова Ж.И., Пантелеева С.Н.* // Усп. соврем. биологии. 2003. Т.123. №3. С.234—242.
11. *Резникова Ж.И., Пантелеева С.Н.* // Докл. РАН. 2005. Т.401. №1. С.1—3.
12. *Kenward B., Weir A.A.S., Rutz C., Kacelnik A.* // Nature. 2005. V.433. P.121—122.
13. *Резникова Ж.И.* // Усп. соврем. биологии. 2007. Т.127. №2. С.166—174.
14. *Резникова Ж.И.* // Зоол. журн. 2003. Т.82. №7. С.816—824.
15. *Новгородова Т.А.* // Журн. общ. биологии. 2004. Т.65. №2. С.153—166.
16. *Новгородова Т.А.* // Докл. РАН. 2005. Т.401. №6. С.848—849.