

НОВЫЙ ПОДХОД: ТЕСТИРОВАНИЕ ГИПОТЕЗЫ ЯЗЫКА ТАНЦЕВ У ПЧЕЛ

Глава из книги А.М. Веннера и П.Х. Уэллса «Анатомия научного противостояния. Есть ли «язык» у пчел?», которая выйдет на русском языке в 2011 г. В книге опровергается гипотеза К. фон Фриша о сигнальной и информативной функциях так называемого «языка танцев» у пчел.

Transition in approaches: testing the dance language hypothesis. Chapter from the book by A.M. Wenner and P.H. Wells «Anatomy of a controversy. The question of a “language” among bees». In the book the dance language hypothesis by K. von Frish has been disproved.

«Как могу я убедить сэра Карла..., что он призывает видеть в утке кролика? Как я могу показать ему, каков будет мир, увиденный через мои очки, если он уже научился смотреть через свои на всё, о чем говорю я?»

Томас Кун (Kuhn), 1970б: 3

«В соответствии с методом «правящей теории» усилия направлены на поиски фактов, поддерживающих ее. В случае применения рабочей гипотезы факты ищут, чтобы сделать заключение и продемонстрировать его. Здесь гипотеза служит не более, чем средством научного поиска»

Томас Чровдер Чемберлин (Chamberlin), (1890) 1965: 755

Биологи обычно не принимают во внимание результаты поисков философов науки, а также социологов и психологов, занимающихся ее проблемами. Как правило, биологам кажется, что все это не имеет отношения к их деятельности. В лучшем случае, они принимают тезисы той или иной философской системы, когда не отрицается полезность диктуемого ей подхода. Один из наиболее очевидных случаев такого восприятия идей - это одобрение подхода, основанного на принципе фальсификации гипотезы, предложенный Карлом Поппером (тестирование нулевой гипотезы).

Мы полагаем, что при более широком признании идеи Аткинсона качество биологических исследований могло бы существенно повыситься. Согласно ей, ученый создает «мысленный образ» происходящего и позже может «обратить других в свою веру», если для этого будут найдены достаточные основания. Более четкое осознание важности «человеческого фактора» в научном процессе полезно для всех его участников.

История и философия науки показывают, что подход ученого в решении стоящих перед ним вопросов во многом определяется традициями исследований в данной обла-

сти и отношениями с другими людьми в карьере конкретной персоны. Это значит, что исходные основания, с которыми ученый приступает к исследованиям, могут варьировать в гораздо более широких пределах, чем принято думать.

Уже в тот ранний период, когда противостояние на почве «языка танцев» у пчел, только зарождалось, мы осознали, что отнюдь не реальные экспериментальные факты служат предметом возникших дебатов (см. Veldink, 1989). В центре наших возражений Фришу и его последователям стоял вопрос, *подлежит ли вообще обсуждению* гипотеза «языка танцев» и связанные с ней представления об использовании пчелами солнечного компаса. Как стало ясно позже, каждое из этих построений утратило статус научной гипотезы и, вместе взятые, они превратились в правящую парадигму.

Наши доводы против гипотезы «языка танцев», основанные на строгих экспериментах, были восприняты как чудачество теми, кто находился во власти этой парадигмы. Ситуация очень напоминала позицию Куна в его дискуссии с Карлом Поппером:

«Сэр Карл и я оперируем с одними и теми же данными; мы видим одни и те же строки в одной и той же статье. Говоря о том, что здесь написано, мы часто реагируем на данные и строки практически одинаково... И, тем не менее, мой опыт убеждает меня, что, по сути дела, мы имеем в виду разное, говоря об одном и том же. Хотя строки одни и те же, образы, которые стоят за ними, различны. Вот почему я утверждаю, что нас разделяет приверженность к разным гештальтам, а не просто несогласие в деталях. Вот почему самое интересное для меня сейчас состоит в том, чтобы разобраться, в чем же тут дело» (Kuhn, 1970: 3).

Многие научные исследования заранее никак не планируются. Они порождают неожиданные результаты, ведущие к новым идеям. Каждый такой сдвиг в воззрениях, может привести к «смене гештальтов», как об этом говорил Томас Кун. Это преобразование во взглядах, инициированное только одним членом научного сообщества или малым их числом, может вести к возникновению противостояния, что хорошо известно философам науки, социологам и психологам, работающим в смежных областях знания. С этой точки зрения, научное противостояние есть, главным образом, следствие фундаментальных различий в подходах и изначальных основаниях.

Возникновение противостояния может оказаться результатом того, что группа исследователей внезапно сменила «очки» (см. эпиграф к этой главе), которые привычно продолжают носить другие ученые, работающие в той же области. Научное сообщество в целом не имеет доступа к новым «очкам», ибо его члены продолжают находиться в плену традиционных подходов и мнений. Но, к сожалению, сами *участники научного процесса* обычно убеждены в том, что суть противостояния — это несоответствие в экспериментальных протоколах или в их интерпретациях.

Один из недавних эпизодов такого рода противостояния — хорошо известное сегодня длительное неприятие идей Нобелевского лауреата, генетика Барбары МакКлинток¹ (Keller, 1983).

¹ См. М. Голубовский. 2001.

От верификации к фальсификации

Когда от принципа верификации мы перешли к попыткам фальсифицировать гипотезу «языка танцев» пчел, то есть проверить ее соответствие реальности в строго поставленных экспериментах (Johnson, 1967a; Wenner, 1967), произошла, по сути дела, смена гештальта и изменился сам стиль нашего мышления. Теперь мы смотрели на проблему через новые очки.

Считается, что ученые с готовностью принимают мнения, отличные от их собственных. Однако, когда вы предлагаете свою статью в журнал, враждебность со стороны анонимного рецензента трудно объяснить иначе, как его недоверием к вашим новым «очкам». Именно это с нами и произошло, когда в наших работах появилась принципиально новая, непривычная для широкого научного сообщества перспектива.

Реакция на предложенные нами идеи очень напоминала отклики на книгу Махони (Mahoney, 1976) с приведенным в ней разбором рецензий на статьи, не соответствовавшие превалирующей парадигме. Негодование, оказалось столь велико, что некоторые предлагали исключить Махони из Американской психологической ассоциации (см. *Science* [1986]: 1333).

Однако никто не сможет носить старые очки после приобретения лучшей пары. Или, другими словами, невозможно вернуться к оставленным идеям, если перед вами открылись неожиданные и более адекватные перспективы исследования. В данном случае, мы не могли уже задавать вопросы типа «Почему пчелы танцуют?». Теперь мы видели, что ответ должен быть получен на вопрос: «Как именно рекрутированная пчела находит источник пищи, использованный до этого успешным фуражиром?». Так мы пришли к необходимости впервые тестировать гипотезу языка танцев с критических позиций.

Те же, кто находились в плену парадигмы «языка танцев», не видели никакой необходимости ставить этот вопрос, казавшийся нам тогда самым важным.

Выявленные нами аномалии, (главы 5, 7 и 8 книги) все вместе создавали прочное основание для формулирования нулевой гипотезы: «Пчелы *не* используют информацию о направлении на источник пищи и о расстоянии до него, хотя такая информация содержится в их танцах». На языке подхода, взятого нами на вооружение, это значило, что нулевая гипотеза не фальсифицирована. Гипотеза «языка танцев» оставалась непоколебимой, она была принята научным сообществом и повторялась несчетное количество раз в статьях, книгах и средствах массовой информации.

Приходилось сделать вывод, что ученые, занятые верификацией, отстаивают гипотезу «языка танцев», поскольку убеждены в действенности принципа верификации и находятся в плену парадигмы. Работая в традициях школы реализма, эти исследователи не в состоянии уяснить значимость аномалий, обнаруженных нами, и уверены, что они несколько не ослабляют позиций гипотезы, которой все привыкли верить. Ведь Фриш «открыл» и «доказал», что у пчел есть «язык», так чего же больше? Так парадигма заместила собой гипотезу.

Эксперимент с контролем единственной переменной, «позитивные» результаты и прямые доказательства

Эксперименты, в которых контролируется только одна переменная, представляют собой стандартную процедуру в рамках подхода, основанного на верификации ранее полученных данных. Фриш и все последующие приверженцы его взглядов опирались почти исключительно на эксперименты такого рода. Следовали этим принципам и мы, когда в начале нашей работы с пчелами пытались установить роль звуков в «языке танцев» (см. например, Wenner, 1971: 52).

При использовании подобных экспериментов проводится различие между свидетельствами косвенными (то есть случайными) и прямыми (с высокой степенью корреляции причинно-следственных характеристик). Как упоминалось выше, практически все эксперименты Фриша базировались как раз на косвенных свидетельствах (главы 2 и 4 книги). Как только нам стала понятна слабость такого подхода перед лицом данных, противоречащих гипотезе, мы начали ставить эксперименты так, чтобы при анализе результатов оставалось меньше возможностей для альтернативных трактовок.

В программе наших исследований (которая в то время оставалась еще в границах гипотезы «языка танцев» и проводилась в соответствии с принципами школы реализма) мы предполагали получить «прямые» свидетельства в пользу этой гипотезы. Мы планировали отправлять пчел из улья в заранее определенное место, задавая им направление полета и его длительность с помощью искусственной пчелы, имитирующей танец. При этом можно было либо использовать звуки как часть танца, либо оставлять искусственную пчелу молчаливой. Если бы в первом случае пчелы-посланцы достигали цели, а во втором терпели неудачу (прямое доказательство), имелись бы основания утверждать, что звуки играют роль стимула в «языке танцев».

[Гуд, утверждал, что он получил такие прямые свидетельства в экспериментах с единственной контролируемой переменной, дезориентируя пчел. Однако, как показал Росин (Rosin, 1978, 1980a, 1980b), его интерпретация результатов остается спорной (главы 12, 13 этой книги)].

Принцип фальсификации и стремление к строгости в постановке экспериментов

«Положительные» результаты, получаемые в экспериментах с единственной контролируемой переменной, до сих пор многих устраивают. Мы же расцениваем такие результаты как следствие отсутствия строгости при постановке опытов. В нашем отношении к ним нет ничего нового. Еще в 1620 году сэр Френсис Бэкон писал:

«Помимо всего прочего ... это странная, вечная ошибка человеческого сознания быть всегда более склонным к восприятию позитивного и преклонению перед ним, нежели к признанию негатива, несмотря на то, что мы обязаны быть неизменно беспристрастными; нет, установление любой аксиомы негативного характера есть шаг более действенный (Vascon, [1620] 1952: книга 1, отрывок 46)

Первая фраза этого высказывания имеет в виду нечто вроде «одномерного» эксперимента, а конец цитаты можно рассматривать в качестве одобрения принципов нулевой гипотезы и строгого умозаключения.

Надо сказать, что сама по себе постановка эксперимента по принципу нулевой гипотезы не рассматривается сейчас в качестве некоей панацеи, как считали некогда, имея в виду, что принцип этот подход глубоко укоренился в методологии (см., например, Mahoney, 1976: 100—103, 147). В том случае, если в сознании экспериментатора присутствует некая неосознанная им предубежденность, опыт может быть поставлен таким образом, что истинную проверку нулевой гипотезы осуществить невозможно. При этом, однако, в отсутствие критического взгляда на происходящее, может *показаться*, что результат получен в пользу гипотезы, которая была якобы «тестирована» (хотя нулевую гипотезу, на самом деле, и не пытались поставить под сомнение).

Наш собственный призыв к постановке более строгих и эффективных экспериментов имел важный социологический подтекст, и при взгляде со стороны носил характер события случайного. Это произошло в 1966 году, когда один из нас (Виннер) был приглашен принять участие в дискуссии на семинаре Гаралда Эша в Институте биологических исследований в Сан Диего (Калифорния). В это время группа видных биологов во главе с математиком-теоретиком Якобом Броновски собиралась начать несколько необычную исследовательскую программу в области функций мозга. Вопрос о «языке пчел» был включен в программу этого проекта. Более того, его исполнителям было необходимо, чтобы пчелы действительно располагали языком, чтобы в этом не было сомнений, и чтобы этот язык имел инстинктивную природу.

Ко времени этого заседания, однако, для членов нашего исследовательского коллектива было очевидно, что в рекрутировании опытных пчел важную роль играет научение (см., например, Johnson, Wenner, 1966). Когда же об этом было заявлено («взаимосвязь между условным рефлексом и коммуникацией у пчел»), реакцию аудитории трудно было назвать доброжелательной. Такой прием побудил нас по-настоящему критически проанализировать характер постановки экспериментов Фриша и проверить таким образом, действительно ли его результаты «доказали», что у пчел есть «язык».

Мы уже не могли далее только настаивать на том, что эксперименты Фриша нуждались в более строгом контроле. Теперь следовало продемонстрировать, что такой контроль абсолютно необходим. И хотя мы подозревали, что некие пороки заложены в самом фундаменте гипотезы «языка танцев», потребовалось много времени, чтобы понять, в чем же суть этих пороков. Но наши новые «очки» были на своем месте.

Первой задачей стал тщательный анализ знаменитых «линейного»² и «веерного» экспериментов Фриша. Теперь мы осознали окончательно (впервые с начала работы), что гипотеза «языка танцев» базируется исключительно на косвенных свидетельствах, полученных в ходе экспериментов с контролем единственной переменной. Иными словами, она не была «достоверно доказана» (главы 2 и 3 книги). И хотя на протяжении многих

² В русском переводе книги Фриша «Из жизни пчел» (М: Мир, 1980) этот эксперимент называется «ступенчатым».

лет это наше утверждение отвергалось, теперь, как кажется, оно принято многими (см., например, Gould 1976: 241).

В экспериментах Фриша, как и во многих других подобных (с «одинарным» контролем), не все было в порядке с размещением точек контроля. Они оказывались неравноценными друг другу, что препятствует точной проверке полученных результатов (Wenner, 1962). Крайние точки контроля имели только по одной соседней, а все прочие — по две. Несмотря на очевидные недостатки схемы «линейного» и «веерного» экспериментов Фриша, те же ошибки повторялись в опытах, проводившихся в дальнейшем его последователями (см. Gould, 1974, 1975a, 1975b, 1975c).

Неудовлетворительность схемы экспериментов с «одинарным» контролем

Выяснение достоинств и недостатков методики постановки опытов — непростая задача в соревновании мнений, особенно если двигаться способом проб и ошибок.

Как мы упоминали выше, «точность» результатов Фриша могла быть артефактом расположения контрольных точек как в его линейном, так и в веерном экспериментах (Wenner, 1962). Много позже мы осознали, что эти опыты явным образом демонстрируют разницу между обнаружением положительных корреляций и поиском причинно-следственных связей (Wenner et al., 1967). Итак, пробил час строгой проверки гипотезы «языка танцев», что на самом деле следовало бы сделать давно.

Первым делом мы решили повторить линейный и веерный эксперименты Фриша, обращая особое внимание на поведение немеченых пчел, прилетающих в точки контроля. Вопрос состоял в том, действительно ли рекруты летят от улья *по прямой*, как постулирует гипотеза «языка танцев».

Повторение линейного эксперимента («Stufenversuchen»)

В 1962 году Фриш писал:

«На протяжении почти двух десятилетий мои коллеги и я изучали одну их наиболее удивительных систем коммуникации, созданных природой. Это «язык» пчел. Танцевальные движения фуражира с высокой точностью направляют ее партнеров от улья к источнику пищи... Когда [рекрутированные пчелы] вылетают за взятком, они ищут цель только в непосредственной близости от указанного им места, игнорируя кормушки с приманкой как поблизости от него, так и находящиеся на расстоянии» (von Frisch, 1962: 78).

Эти утверждения сформулированы столь ясно и недвусмысленно, что они могут служить отправным пунктом для проверки справедливости как их самих, так и оснований гипотезы в целом. К тому времени, когда началась эта часть работы, мы уже понимали, какое значение имеет запах конкретного места (глава 8: *Важность локально сконцентрированного запаха...*). Поэтому мы ставили наши эксперименты в относительно сухой, открытой травянистой местности. При отсутствии дождя на протяжении нескольких месяцев, посторонние запахи сводились к минимуму. В период постановки экспериментов легкий ветерок устойчиво дул с северо-запада. Мы использовали посто-



яньство этого фактора и расположили линию точек прикорма и контроля поперек движения ветра (рис. 9.1), тем самым эффективно нейтрализовав влияние движения воздуха на результаты опытов.

К концу периода тренировки 43 меченых фуражира регулярно посещали место прикорма в 400 метрах от улья (в течение нескольких дней перед началом сбора данных всех немеченых пчел здесь убивали). Иными словами, эти 43 регулярных фуражира летали только между данной точкой и ульем, где они могли, предположительно, танцевать, сообщая другим «точную» информацию о направлении на точку и расстоянии до нее. Три других пункта с пахучим раствором сахара служили контролем. В тренировочный период ни одной пчеле не было позволено вернуться с них в улей.

Как и в опытах Фриша, в этом эксперименте мы контролировали только одну переменную, а именно, количество прилетов пчел в экспериментальную (400 м) и контрольные точки. Таким образом, если все кормушки одинаково привлекательны для

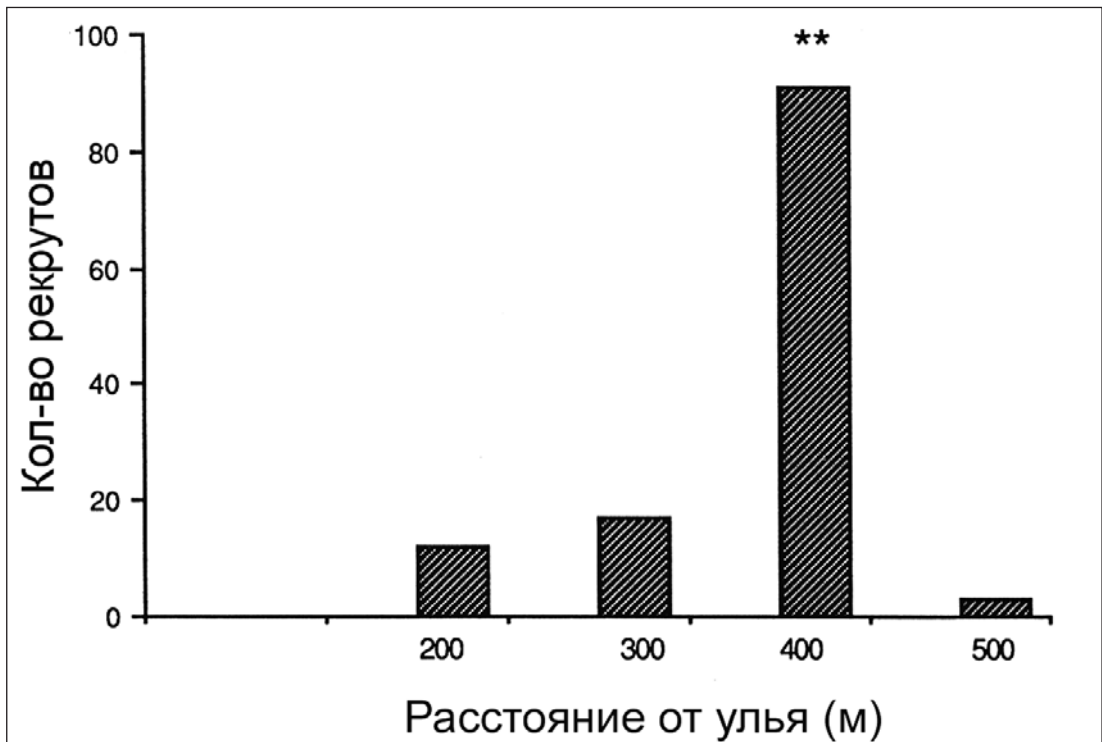


Рис. 9.2. Результат первой серии опыта, схема которого показана на рис. 9.1: светлые пчелы из контрольного улья не посещают кормушки. Фуражиры из экспериментального улья прикормлены на кормушке в 400 м от улья, остальные три кормушки являются контрольными. Большинство рекрутов из экспериментального улья прилетают преимущественно на ту же кормушку (две звездочки) (по данным табл. 1 из: Wenner, 1967). Результат близок к полученному Фришем (см. рис. 42 в работе: von Frisch, 1954).

рекрутов, и если при этом они летят только в обозначенном направлении на обозначенное расстояние, узнав об этом из танцев (как могли делать мы сами), тогда можно думать, что они действительно *используют* эту информацию.

Что касается трех контрольных кормушек, если их привлекательность для пчел была одинаковой и такой же, как у экспериментальной кормушки, они могли привлечь к себе тех рекрутов, которые неправильно «усвоили» транслированную им информацию или неверно «использовали» ее.

Первая серия этих наших экспериментов дала результаты, согласующиеся с предсказаниями гипотезы «языка танцев» (рис. 9.2). Почти 80% успешных немеченых фуражиров прилетали в экспериментальную точку в 400 метрах от улья, «игнорируя», — как и писал Фриш, — «другие кормушки с приманкой». Успешное повторение опыта Фриша

свидетельствовал о двух важных обстоятельствах. Во-первых, что наш метод тренировки не имеет изъянов. И, во-вторых, что ветер не влиял на избирательность рекрутов (см. von Frisch, 1967b). При поверхностном взгляде все выглядело так, что пчелы *используют* информацию о направлении и расстоянии, полученную ими из танцев фуражиров.

Впрочем, как и в опытах Фриша, рекруты выполняли свою задачу *слишком* хорошо. В то время как в нашем опыте почти 80% этих пчел прилетали «по месту назначения», только 40% могли, в лучшем случае, выполнить поставленную перед ними задачу, если бы полагались на фигуры танца. Дело в том, что разные фуражиры выполняют их по-разному и даже у одного и того же танец изменчив от случая к случаю. Это, должно, в принципе, приводить к ошибкам рекрутов после вылета их из улья (Wenner, 1962).

Оставались еще некоторые сомнения (как в любом эксперименте с одиарным контролем) относительно того, не отличалось ли это место в 400 метрах от улья от всех прочих неким специфическим запахом. Или, как позже намекал Фриш (von Frisch, 1967), не влиял ли на прилет пчел такой фактор, как два ряда стоящих неподалеку деревьев, которые могли, в принципе, изменять направление ветра.

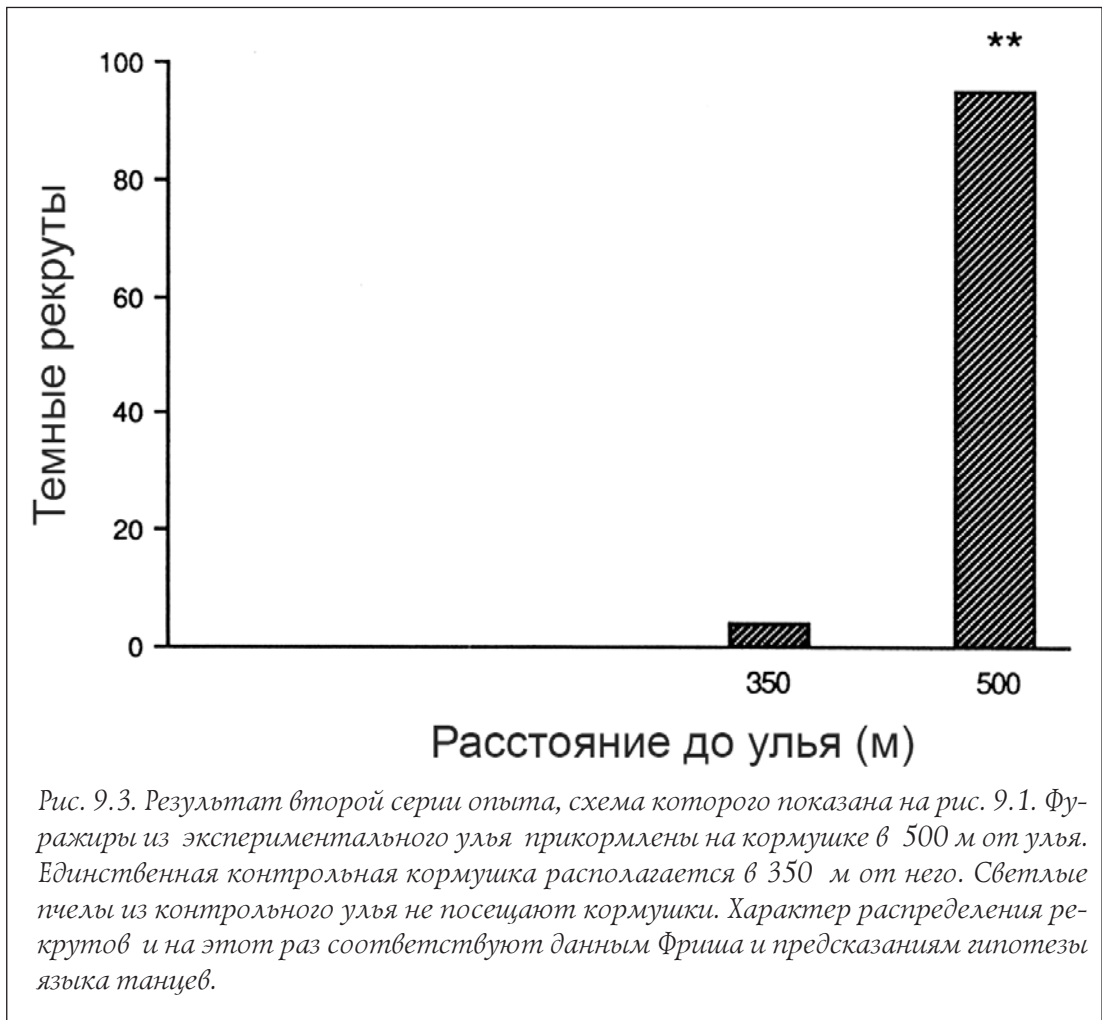
При нескольких повторениях линейного опыта Фриша мы провели детальные наблюдения за поведением немеченых рекрутов, летящих к кормушкам. Следя за ними в бинокль, мы видели, что они приближаются к кормушкам с наветренной стороны от них, двигаясь по зигзагообразной траектории, столь характерной для животных при их перемещении к источнику запаха против ветра. Эти наблюдения помогли нам глубже проникнуть в суть происходящего.

Увиденное нами означало, что рекруты без сомнения летят сначала в направлении, перпендикулярном воображаемой линии, соединяющей улей и кормушку (а не «прямо на нее»). Более того, они приближаются к ней с дистанции много более протяженной, чем вся площадь поиска, постулируемая гипотезой «языка танцев». Если бы эти рекруты летели по указаниям танцующих пчел, они должны были начинать зигзагообразный поисковый полет находясь гораздо ближе к цели.

Мы обнаружили также заметные различия в поведении рекрутов при их приближении к экспериментальной кормушке, с одной стороны, и к контрольной — с другой. Этого не должно быть, если рассматривать контрольные кормушки в качестве «контрольных» в строгом смысле этого слова. Рекруты, подлетающие к этим «контрольным» кормушкам, демонстрировали хаотичное поведение и чаще всего не присаживались на них. Одно из используемых нами устройств позволяло учитывать их количество и считать, что они были реально привлечены данной кормушкой.

Приближаясь к экспериментальной кормушке, рекруты, напротив, почти всегда сменяют зигзагообразный полет на прямолинейный с направлением прямо на нее. Затем они садятся рядом с регулярными фуражирами и начинают поглощать раствор сахара.

После этих наблюдений, раскрывших очередную серию аномалий, мы попытались уравнивать степень привлекательности экспериментальной и контрольных кормушек. Для этого в точках контроля мы поместили дополнительные визуальные и запаховые стимулы, способные в какой-то мере возместить отсутствие здесь пчел, (которые постоянно пребывают на экспериментальной кормушке). Из соединенных вместе фрагментов



желтых и коричневых ершиков для чистки курительных трубок мы делали нечто вроде модели пчелы размером с это насекомое. Их помещали на контрольные кормушки вместе с небольшим количеством прополиса³ из родительского улья. Все это уменьшило степень неуверенности рекрутов в момент приближения к точкам контроля.

³ Прополис (пчелиный клей, уза) — тёмное смолистое вещество, вырабатываемое пчёлами. Это смола растений, собранная ими и модифицированная путем добавления особых ферментов. Пчёлы используют прополис для замазывания щелей и отверстий в гнезде, тем самым защищая жилище от сквозняков и сохраняя в нем особый микроклимат. Они регулируют ширину летка в зависимости от температуры окружающей среды, откуда и произошло греческое название прополиса («впереди города»). Пчелы полируют прополисом ячейки сотов перед тем, как матка откладывает туда яйца. Обладая сильным антисептическим свойством, прополис помогает пчелиной семье защищаться от различных вирусов, бактерий и грибов (прим. редактора русского издания).

Повторение экспериментов Фриша с этими изменениями (привнесение визуальных и ольфакторных стимулов) обещало результаты, отличные от его собственных (Wenner, 1967). Отсутствие таких стимулов в его опытах мы расценили как еще одно указание на недостатки в схеме их постановки, которые могли повлиять на результаты этих экспериментов.

Мы продолжили работу, натренировав 38 фуражиров на посещение экспериментальной кормушки, поставленной в 500 метрах от улья. Единственную контрольную кормушку поместили в 350 метрах от него. Результат оказался еще более впечатляющим, чем ранее. Спустя три часа после начала опыта 96% рекрутов посетили экспериментальную кормушку (рис. 9.3). Они определенно «игнорировали кормушку с приманкой поблизости от нее».

Строгое умозаключение: эксперимент с двойным контролем

Контроль такого типа широко используется в исследованиях социологов и психологов, но редко применяется биологами школы реализма, независимо от того, используют ли они в своих подходах принцип верификации или фальсификации. Мы тоже не прибегали к таким экспериментам в ранний период нашей работы. И только дискуссия в Институте биологических исследований в Сан Диего заставила нас путем проб и ошибок подойти к принятию этой методологии.

Недостаточность наших аргументов во время этой дискуссии выявилась окончательно при повторении классических экспериментов Фриша, поставленных на первых порах без дополнительного контроля. Как читатель мог видеть, возникли новые аномалии (глава 8 книги). После того, как стало понятно, что сама схема постановки этих опытов нуждается в критической проверке, мы попытались сделать контрольные пункты по возможности идентичными с экспериментальным (см. выше).

Что касается методологии нашего подхода, здесь многое совершенствовалось в результате случайностей. Именно так на площадке, где мы вели исследования, появился второй улей («контрольный улей» на рис. 9.1). Он отличался от первого, экспериментального только в том отношении, что был населен светлыми пчелами. Их биология и поведения не отличалась от того, что было свойственно обитателям экспериментального улья, а различие состояло лишь в отсутствии у них темного пигмента.

Мы начали тренировать некоторых светлых пчел из контрольного улья на посещение всех четырех кормушек (экспериментальной и трех контрольных). Темным пчелам из экспериментального улья было позволено посещать только экспериментальную кормушку.

Только некоторое время спустя мы осознали, что присутствие распознаваемых фуражиров, посещающих одну или все четыре кормушки, может служить обоюдным контролем событий, происходящих в каждом из двух ульев. Иными словами, темные фуражиры могли извещать танцами своих партнеров о местоположении только одной кормушки, а светлые — обо всех четырех. Важной составляющей нашего плана состояла в учете влияния на происходящее других живущих в округе пчел, которые регулярно посещали все имеющиеся кормушки, а не только одну экспериментальную, как в опытах Фриша.

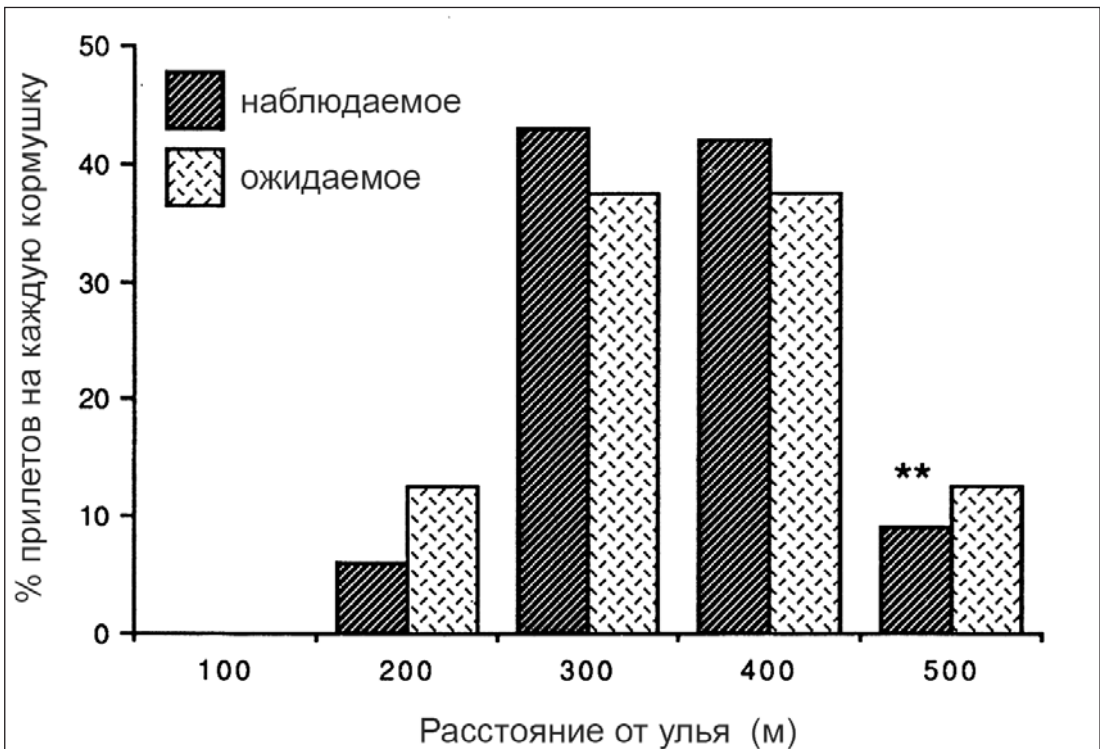
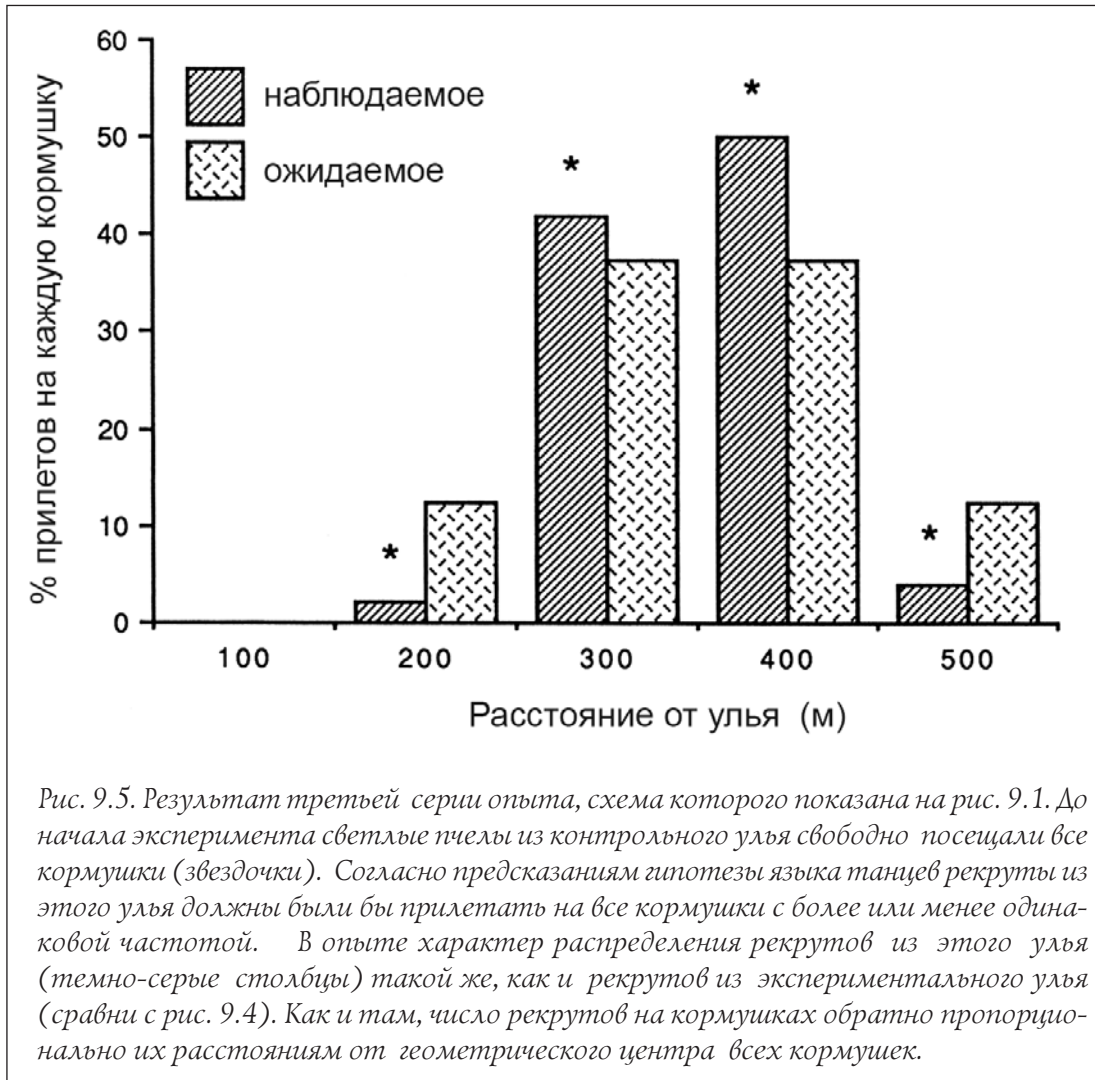


Рис. 9.4. Результат третьей серии опыта, схема которого показана на рис. 9.1. Фуражиры из экспериментального улья прикормлены на кормушке в 500 м от улья, светлые пчелы из контрольного улья свободно посещают все кормушки. Характер распределения рекрутов из экспериментального улья (темные столбцы) не имеет ничего общего с предсказаниями гипотезы языка танцев (по данным табл. 1 из: Wetner 1967). Он близко соответствует теоретически ожидаемому в соответствии с функцией биномиального распределения, если число рекрутов на кормушках обратно пропорционально их расстояниям от геометрического центра всех кормушек.

Неожиданное и наиболее важное обстоятельство на этом этапе работы, состояло в том, что мы уже не пытались «доказать» или «опровергнуть» гипотезу «языка танцев». Это позволило нам избавиться от каких-либо бессознательных предпочтений при проведении опытов и от пристрастных трактовок их результатов. Нас интересовало теперь, поведут ли себя рекруты в соответствии с предсказаниями этой гипотезы или как-либо иначе.

В данном случае гипотеза оказалась бы верной если бы 1) большинство темных пчел-рекрутов прилетели на экспериментальную кормушку за 500 м от улья и 2) если светлые пчелы-рекруты распределились бы *равномерно* между всеми четырьмя кормушками.



Таким образом, гипотеза «языка танцев» предсказывала принципиально разные распределения между кормушками рекрутов из разных ульев. Две системы (ульи и их популяции) стали в данном случае и объектами эксперимента и контролем друг для друга.

Когда эксперимент был закончен, а результаты обработаны количественно, стало совершенно ясно, что рекруты как из одного, так и из другого улья игнорировали информацию, которая теоретически могла быть предоставлена им опытными фуражирами. Можно было сделать вывод, что рекруты *не пользовались «языком танцев»*, но и *не летели к источникам пищи чисто случайным образом!* Их поисковое поведение подчинялась какому-то принципу, объяснить который нам еще предстояло.

Мы поставили три таких опыта. С каждым разом схема их контролировалась все строже, так как становилась все более и более очевидным, насколько важна роль запаха



в поисковом поведении пчел. Третий эксперимент в серии, продолжавшийся три часа, был организован как самая жесткая проверка гипотезы «языка танцев». В этом опыте 14 темных фуражиров были натренированы на посещение той же кормушки в 500 метрах от улья (две звездочки на рис. 9.4). Фуражиры из другого улья посещали все четыре кормушки.

Результат оказался впечатляющим. За три часа 67% темных немеченых рекрутов прилетели на все четыре кормушки, при этом 85% предпочли две центральные. И только 6 темных рекрутов (9%) посетили экспериментальную кормушку в 500 м от улья, на которую были натренированы фуражиры из этого улья и чье местоположение могло содержаться в информации, транслируемой их танцами (рис. 9.4). Напомним, что при прямом повторении нами опыта Фриша на эту кормушку прилетели 96% фуражиров (рис. 9.3).

Распределение рекрутов из улья со светлыми пчелами оказалось почти таким же, хотя в данном случае фуражиры могли посещать все кормушки равномерно (звездочки на рис. 9.5). Из 409 светлоокрашенных рекрутов, пойманных и убитых на кормушках, 92%

прилетели на две центральные. Этот результат, как и в первом случае, совершенно не соответствовал предсказаниям гипотезы «языка танцев», поскольку если бы рекруты руководствовались указаниям языка танцев, эти две кормушки должны были посетить около 50% рекрутов.

Хотя мы и не думали, что предсказания гипотезы оправдаются, результаты нас удивили. Коль скоро все кормушки были одинаково привлекательны для пчел (на каждую были натренированы фуражиры в одинаковом количестве), мы ожидали, что пчелы из каждого улья будут посещать их в соответствии с принципом равномерного случайного распределения. Мы еще не могли знать тогда, какое объяснение поискового поведения пчел придет на смену гипотезе «языка танцев».

В действительности, полученный результат (рис. 9.4 и 9.5) явно соответствовал математической функции мультиномиального распределения, которое часто наблюдается в генетических экспериментах. Вывод состоял в том, что особи в популяциях пчел, занятых поисками пищи, распределяются в пространстве в соответствии с вероятностным принципом, в зависимости от того, на каком расстоянии разные источники пищи находятся от их общего геометрического центра. Это подтверждается сравнением полученных значений посещаемости рекрутами каждой кормушки со значениями, соответствующим математическому ожиданию (рис. 9.4 и 9.5). Высокое соответствие двух рядов цифр совершенно очевидно.

Этот ход мысли привел нас к предположению, что основная масса пчел начинает поиски этой точки пространства откуда-то с наветренной стороны от воображаемой линии, соединяющей все кормушки (Johnson, 1967a; Wenner, 1967, 1974 1).

Веерный эксперимент Фриша при адекватном контроле

Мы уже неоднократно указывали, что размещение кормушек в линейном и веерном экспериментах Фриша (см., например, von Frisch, 1954) может само по себе влиять на частоту посещения их пчелами (глава 6 книги). В этих разделах показано, что сама схема этих экспериментов могла создавать впечатление высокой «точности» дистантного наведения пчел на источники пищи посредством «языка танцев» (Wenner, 1962).

В дополнение к опытам с симметричным размещением кормушек, Фриш поставил эксперимент, в котором они были расставлены асимметрично по отношению к линии, соединяющий улей и место прикормки (рис. 9.6.). В этом случае полученный результат нельзя расценивать как одно лишь следствие устремления пчел к центру общего запахового поля.

Рисунок 9.6 дает пример сказанному: рекруты «прилетают с высокой точностью» на кормушку, постоянно посещаемую фуражирами, и явно игнорируют другие, расположенные неподалеку от улья, но в других направлениях от него. Как и в рассмотренном выше линейном эксперименте, на контрольных кормушках отсутствовали стимулы, необходимые, чтобы уравнивать их по привлекательности с экспериментальной кормушкой, что снижало их надежность в качестве контроля.

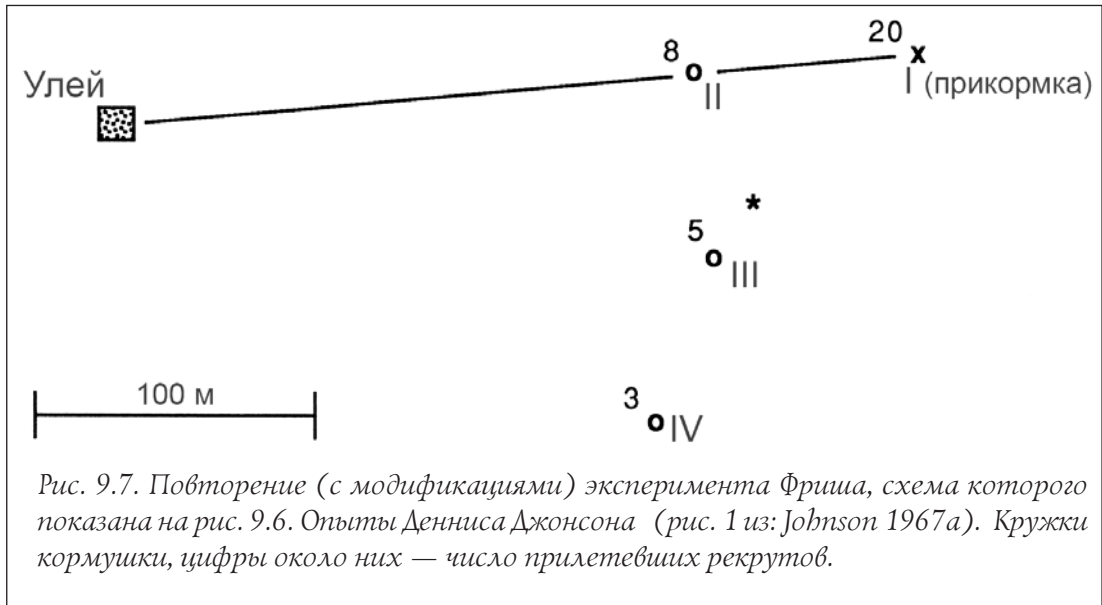


Рис. 9.7. Повторение (с модификациями) эксперимента Фриша, схема которого показана на рис. 9.6. Опыты Денниса Джонсона (рис. 1 из: Johnson 1967a). Кружки кормушки, цифры около них — число прилетевших рекрутов.

Деннис Джонсон (1967a) повторил этот «полувеерный» эксперимент Фриша. Он расположил три контрольные кормушки полукругом, а экспериментальную поместил ближе к одной из крайних контрольных, но дальше нее от улья (рис. 9.7). Как видно из этого рисунка, первоначально полученный результат, не отличался сколько-нибудь существенно от приведенного в работе Фриша. Распределение рекрутов между кормушками показано гистограммой на рис. 9.8А.

После этого неподалеку от экспериментального улья, населенного темными пчелами, Джонсон поставил другой, «контрольный». Светлые пчелы, жившие в этом улье, тренировались затем на посещение всех четырех кормушек, тогда как фуражирам из первого улья было позволено летать *только* на экспериментальную кормушку.

В ходе последующих опытов распределение рекрутов из экспериментального улья оказалось принципиально иным, нежели при слегка видоизмененном эксперименте Фриша (рис. 9.8Б). Теперь они отдавали очевидное предпочтение кормушке, расположенной ближе всех прочих к общему геометрическому центру. Джонсон писал: «когда привлекательность всех кормушек возросла [из-за присутствия на них светлых пчел — *примечание переводчика*], большинство рекрутов отдали предпочтение той, что располагалась посредине» (Johnson, 1967a: 845).

Что касается светлых пчел из контрольного улья, характер их распределения между кормушками явно отвечал той же самой тенденции. Вне всякого сомнения, подавляющее их большинство прилетели на ту же самую «среднюю» кормушку. Это значит, что пчелы полностью игнорировали информацию, которую, как полагал Фриш, они могли получить, наблюдая в улье танцы фуражиров.

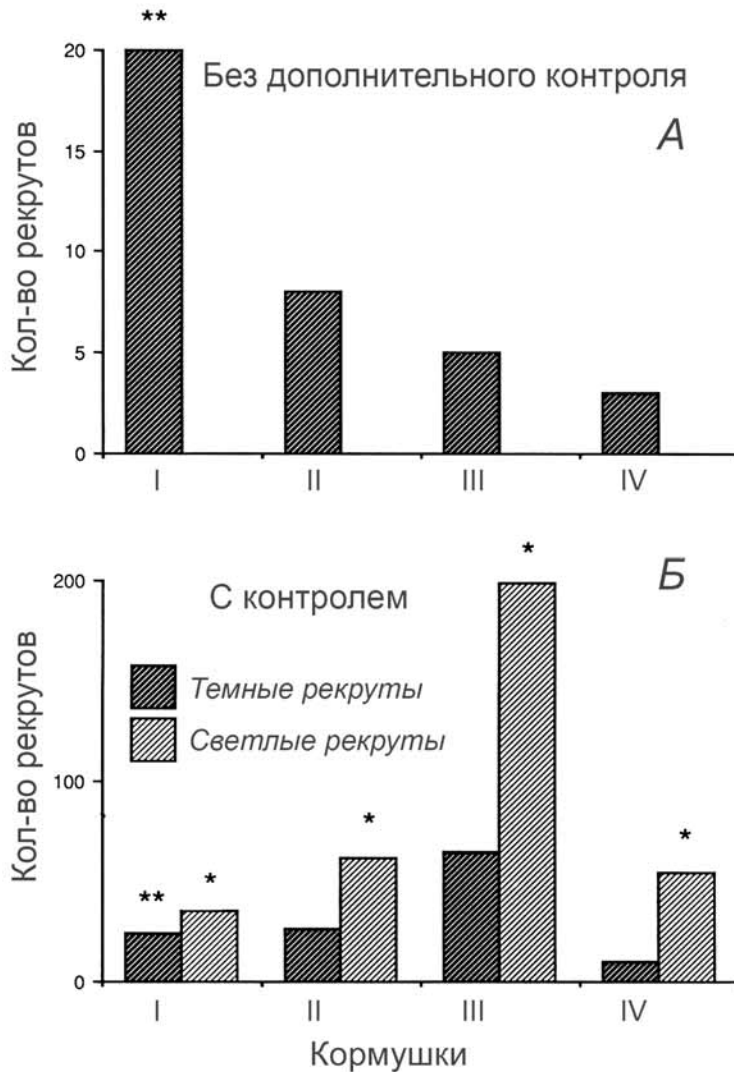


Рис. 9.8. Результат экспериментов Джонсона с использованием только одного улья с темными пчелами (А) и с участием еще и светлых пчел из второго улья (Б) (по данным табл. 1 из: Johnson, 1967б, эксперимент 2В). Две звездочки показывают кормушку, посещаемую фуражирами экспериментального улья (темные пчелы). Одинарные звездочки обозначают кормушки, на которых прикармливали фуражиров из контрольного улья.

А — результаты совпадают с полученными Фришем; Б — рекруты из обоих ульев прилетают в наибольшем числе на кормушку, ближайшую к геометрическому центру всех кормушек.

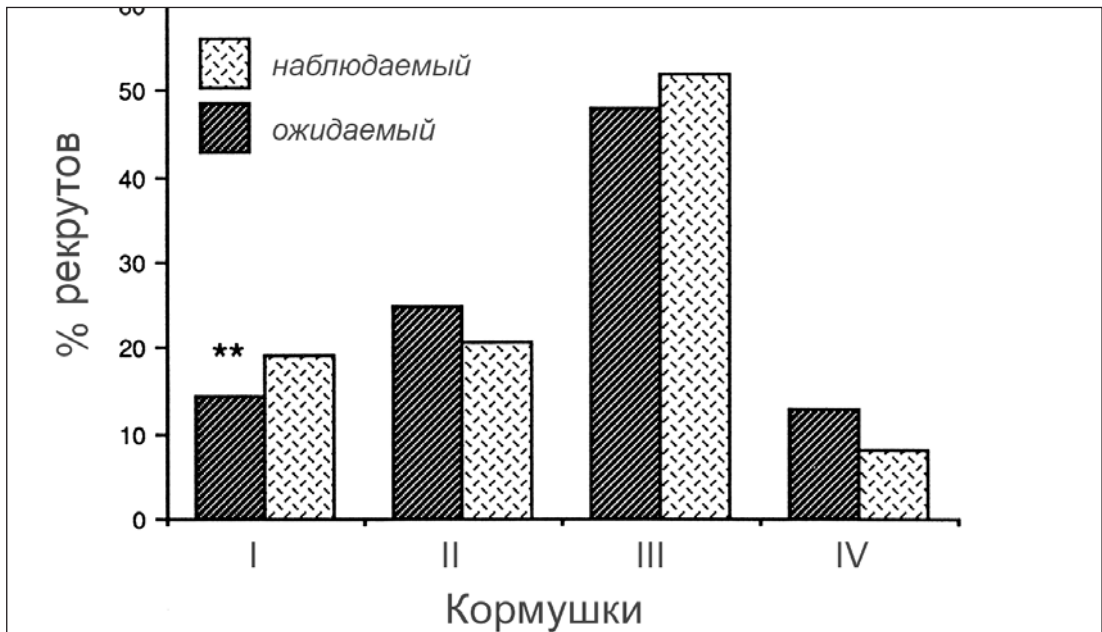


Рис. 9.9. Сравнение наблюдаемого и теоретически ожидаемого распределения рекрутов из экспериментального улья (темные пчелы) в опыте Джонсона (как показано на рис. 9.8А).

Очевидно, что рекруты не использовали информацию о направлении, иначе они должны были бы прилетать в основном на прикормочную кормушку (две звездочки). Их распределение обратно пропорционально расстояниям от геометрического центра всех кормушек.

Подсчет числа фуражиров, посетивших четыре пункта, показывает, что цифры близко соответствуют математическому ожиданию в том случае, если вероятность успешного поиска зависит от расстояния разных источников пищи от их общего геометрического центра. Согласно этой модели, чем ближе к нему расположена кормушка, тем больше на нее прилетит новичков.

Из рисунка 9.9 видно, что полученные оценки посещаемости рекрутами разных кормушек весьма близки к теоретически ожидаемым (различия недостоверны, $\chi^2 = 125$). В то же время, полученные распределения не имеют ничего общего с предсказаниями гипотезы «языка танцев».

Вскоре мы поняли, в чем состоял парадокс линейного и веерного экспериментов Фриша. Крайние кормушки при любой их линейной расстановке неравноценны всем прочим, поскольку не имеют соседа с одной стороны. Поэтому, при такой схеме эксперимента и не следует ожидать, что посещение кормушек рекрутами может быть сколько-нибудь равномерным, даже если все они обладают «одинаковой привлекательностью» во всех прочих отношениях. Любопытно, что несмотря на этот явный порок в схеме постановки экспериментов, приверженцы гипотезы «языка танцев», такие как Гудд

и Шрикер, продолжали использовать ее в своих исследованиях (главы 12 и 13 книги)

Наиболее принципиальный вывод из всего сказанного состоял для нас в том, что в полной мере оправдались слова Чемберлина о путях прогресса в научном процессе. Мы имеем в виду следующее его замечание:

«Интеллектуальный прогресс в науке проходит три стадии... Первая — господство теории, вторая — постановка рабочей гипотезы, третья — применение метода множественных рабочих гипотез» (Chamberlin, [1890] 1965: 754).

И в самом деле, за несколько лет наших исследований мы продвинулись от методов «господствующей теории» (эксперименты с единственной контролируемой переменной) к методу «постановки рабочей гипотезы» (эксперименты с двойным контролем). Теперь мы были готовы использовать методологию «множественных рабочих гипотез» (глава 10 книги).

Литература

- Голубовский М. 2001. Парадоксы непризнания: Мендель и МакКлинток. Вестник 7(266).
<http://www.vestnik.com/issues/2001/0327/win/golubovsky.htm>
- Bacon Sir F. (1620) 1952. *Novum organum*. In R. M. Hutchins, *Great Books of the Western World*, pp. 103-195. Chicago, 111.: Encyclopedia Britannica.
- Chamberlin T.C. (1890) 1965. The method of multiple working hypotheses. *Science* 148:754-759.
- Gould J.L. 1974. Honey bee communication. *Nature* 252: 300-301.
- Gould J.L. 1975a. Honey bee communication: the dance-language controversy. Ph.D. dissertation, Rockefeller University, New York. (Xerox, University Microfilms no. 77-17, 289)
- Gould J.L. 1975b. Honey bee recruitment: The dance-language controversy. *Science* 189:685-693.
- Gould J.L. 1975c. Communication of distance information by honey bees. *Journal of Comparative Physiology* 104: 161-173.
- Gould J.L. 1976. The dance-language controversy. *Quarterly Review of Biology* 51: 211-244.
- Frisch K. von. 1954. *The dancing bees: an account of the life and senses of the honey bee*. London: Methuen. (Translated from: 1953. *Aus dem Leben der Bienen*. Berlin: Springer Verlag.)
- Frisch K. von. 1962. Dialects in the language of the bees. *Scientific American* 207: 78-87.
- Frisch K. von. 1967. Honeybees: Do they use direction and distance information provided by their dancers? *Science* 158: 1072-1076. (See also the reply by A. M. Wenner and D. L. Johnson. *Science* 158: 1076- 1077.)
- Johnson D.L. 1967a. Honeybees: Do they use the direction information contained in their dance maneuver? *Science* 155: 847-849.
- Johnson, D. L. 1967b. Communication among honeybees with field experience. *Animal Behaviour* 15:487-492
- Johnson D.L., Wenner A.M. 1966. A relationship between conditioning and communication in honeybees. *Animal Behaviour* 14: 261-265.
- Kuhn T. 1970. Logic of discovery or psychology of research. In I. Lakatos and A. Musgrave, eds., *Criticism and the Growth of Knowledge*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Mahoney M.J. 1976. *Scientist as subject: the psychological imperative*. Cambridge, Mass.: Ballinger (Lippincott).
- Rosin R. 1978. The honey bee «language» controversy. *Journal of Theoretical Biology* 72: 589-602.
- Rosin, R. 1980a. The honey-bee «dance language» hypothesis and the foundations of biology and behavior. *Journal of Theoretical Biology* 87: 457-481.

- Rosin R. 1980b. Paradoxes of the honey-bee «dance language» hypothesis. *Journal of Theoretical Biology* 84: 775-800.
- Veldink, C. 1989. The honey-bee language controversy. *Interdisciplinary Science Reviews* 14: 166-175.
- Wenner A.M. 1962. Sound production during the waggle dance of the honeybee. *Animal Behaviour* 10: 79-95.
- Wenner A.M. 1967. Honeybees: Do they use the distance information contained in their dance maneuver? *Science* 155: 847-849.
- Wenner A.M. 1971. *The bee language controversy: an experience in science*. Boulder, Colo.: Educational Programs Improvement Corporation.
- Wenner A.M. 1974. Information transfer in honeybees: A population approach. Wenner, A. M. 1974. Information transfer in honeybees: A population approach. In L. Krames, P. Pliner, and T. Alloway, eds., *Nonverbal Communication, vol. 1: Advances in the Study of Communication and Effect*, pp. 133-169. New York: Plenum Press.
- Wenner A.M., Wells P.H., Rohlf F.J. 1967. An analysis of the waggle dance and recruitment in honeybees. *Physiological Zoology* 40: 317- 344.