

Доктор  
биологических наук  
**Д.Н.Лапшин,**  
лаборатория  
обработки сенсорной  
информации  
Института  
проблем передачи  
информации  
РАН



# Как открыли эхолокацию у бабочек

Эхолокация — это способ исследования предметов в окружающем пространстве, при котором эхолокатор издает прямые, или зондирующие, сигналы и воспринимает эхо для получения информации о пространственном положении и свойствах лоцируемых целей. При импульсной эхолокации передатчик генерирует очень короткий зондирующий сигнал. Если он отражается от объекта и возвращается к приемнику, то по времени задержки эха можно определить расстояние до этого объекта.

История открытия эхолокации у животных связана прежде всего с именем американского ученого Дональда Гриффина. Именно Гриффин впервые зарегистрировал ультразвуки летучих мышей (1938), провел теперь уже ставшее классическим исследование эхолокации у этих животных и обнаружил аналогичную способность у птиц, обитающих в пещерах (1953). В 1957 году два американских исследователя, Кеннет Редер и Эшер Трит, изучая способность ночных бабочек-совок (семейство *Noctuidae*) воспринимать ультразву-

ки, обнаружили, что эти насекомые в полете издают короткие ультразвуковые щелчки. Поскольку совки наиболее активны в ночное время, авторы предположили, что эти бабочки способны к импульсной эхолокации. Однако за три десятилетия после выхода в свет пионерской работы Редера и Трита не было получено ни одного факта, непосредственно подтверждающего «эхолокационную» гипотезу у насекомых. Сейчас уже трудно понять, предпринимались такие исследования или нет, — отрицательные результаты обычно не публикуют. Я склонен считать, что поиски эхолокации у насекомых все-таки проводили, но ничего подтверждающего гипотезу найдено не было. Основной довод против возможности эхолокации у совков, который мне приводили специалисты в области биоакустики, состоял в следующем: слуховая система бабочек не может разделить прямой и отраженный сигналы — ответ на эхо будет теряться на фоне сильной реакции рецепторов на собственный щелчок.

Примерно полвека назад со сходной проблемой столкнулись инжене-

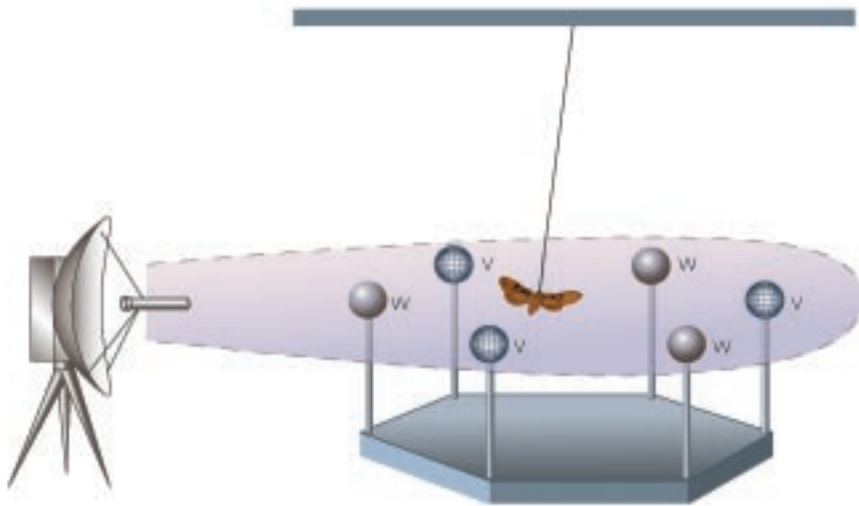
*1  
Рабочая зона экспериментальной установки.*

*Бабочка, прикрепленная к поводку датчика горизонтального смещения, летала и издавала ультразвуковые щелчки. Эти щелчки регистрировались микрофоном; сигналы с выхода микрофона после усиления и преобразования формы поступали на акустический излучатель, направленный на бабочку*

ры при создании импульсных радиолокаторов. В первых таких системах зондирующий сигнал воздействовал на приемник и нарушал его работу. Эту проблему довольно быстро удалось решить, и описание решения вошло во все учебники по радиолокации.

Теперь, если провести аналогию в части постановки проблемы и предложить конструкторам разработать радиолокатор таким образом, чтобы его приемник реагировал как на зондирующий импульс, так и на отраженный сигнал, они откажутся выполнять столь нелепое требование — и будут правы. В импульсных локаторах с помощью специальных средств обязательно подавляется работа приемника на время, пока не закончится излучение зондирующего сигнала, — это общее правило для систем такого типа. Поэтому, обсуждая возможность импульсной эхолокации у бабочек, не следовало ставить вопрос об их способности разделять прямой и отраженный сигналы. Его нужно было формулировать иначе: могут ли слуховые рецепторы бабочки не реагировать на высокоамплитудные стимулы, в том числе на ее собственные акустические щелчки? В таком контексте исследование способности совков к эхолокации становилось вполне перспективным, поскольку фактов, указывающих на возможность подавления реакций слуховых рецепторов на сильные стимулы, в физиологии известно довольно много.

Для проверки эхолокационной гипотезы на первых порах можно было упростить задачу: достаточно было определить, способны ли бабочки воспринимать сигналы, сходные с эхом от их собственных щелчков.



Именно с первых наших экспериментов в 1989 году, направленных на решение этого вопроса, началась история экспериментального изучения эхолокации у совок. В этих опытах бабочки в ответ на ретрансляцию им эхоподобных стимулов демонстрировали двигательные реакции — попытки изменить направление полета (рис. 1). Так мы убедились, что дальнейшие исследования эхолокации у совок действительно перспективны. Оглядываясь назад, я могу почти с уверенностью сказать, что успех был определен не какой-то особой оснащенностью лаборатории (в шестидесятые годы у Редера уже было все необходимое для решения технических проблем), а правильной постановкой тех вопросов, которые следовало решить в первую очередь.

Еще задолго до наших исследований отечественные и зарубежные ученые показали, что эхолокационные системы летучих мышей и дельфинов устроены очень сложно и весьма эффективны. Утвердилось мнение, что эхолокация — это прерогатива исключительно высших позвоночных, так как для обработки эхолокационной пространственной информации необходим высокоразвитый головной мозг. Мы также сомневались в том, что эхолокация у насекомых возможна, поэтому даже после получения первых реакций совок на «эхоподобные» сигналы эта тема пролежала без движения еще два года. И лишь в 1991 году, чтобы окончательно решить, нужны ли дальнейшие поиски, мы приступили к исследованию способности бабочек ориентироваться в темноте.

Эти опыты проводились на так называемой карусельной установке (рис. 2), в которой насекомые, укреп-

ленные на тонкой, гибкой проволочке, летали среди модельных преград. Одни из таких преград (акустически «светлые» — W) хорошо отражали ультразвук, другие (акустически «темные» — V) отражали ультразвук в два раза хуже. Ожидалось, что бабочка, если она пользуется эхолокацией, в темноте будет лучше чувствовать предметы с высоким коэффициентом отражения и соответственно реже с ними сталкиваться. Результаты первых же опытов подтвердили наши предположения: совки действительно избегали в темноте столкновений с препятствиями, но только когда излучали щелчки. Затем, в 1993 году, в сходных экспериментальных условиях была обнаружена особая зона в передней полусфере перед лоцирующей бабочкой — «мертвая зона», внутри которой наблюдалось резкое снижение вероятности реакций подопытных насекомых на эхо. Однако карусельная методика в силу разных причин не подходила для измерений характеристик эхолокатора бабочек, поэтому в дальнейшем мы вернулись к методу ретрансляции насекомым эхоподобных стимулов.

По аналогии с традиционными представлениями, основанными на результатах изучения эхолокации у летучих мышей, в качестве реакции лоцирующей бабочки на эхо можно было ожидать ее двигательный ответ — рывок в сторону от источника эха. Однако, несмотря на несколько удачных результатов, довольно быстро стала очевидной бесперспективность такого подхода из-за высокой самопроизвольной двигательной активности бабочек. В ходе этих же опытов мы обнаружили, что на фоне ретрансляции подопытные совки начинают

чаще издавать щелчки. Такие изменения акустической активности легко могли быть зарегистрированы и поэтому значительно лучше подходили в качестве признака реакции насекомого на стимул. С момента разработки этой методики темпы исследования эхолокационной системы бабочек резко ускорились, и нам удалось получить результаты, недостижимые в рамках старых подходов. В частности, оказалось, что эхолокатор совок адаптирован к восприятию отражений от препятствий, находящихся в ближней зоне, в пределах 6–16 см от насекомого. В этом диапазоне локационная система имеет высокий запас по чувствительности, необходимый для обнаружения предметов, слабо отражающих ультразвук. Таким образом, нам удалось подтвердить способность ночных бабочек к эхолокации. Это пока первый пример среди беспозвоночных.

Теперь на повестке дня встал следующий вопрос: зачем совкам, обладающим чувствительным зрением, нужна эхолокация? Обычно параметры той или иной системы определяются ее назначением, но нам пришлось решать обратную задачу — по характеристикам локационной системы определять ее место в пространственной ориентации бабочек.

Эхолокатор совок во многом отличается по своим параметрам от уже исследованных систем других животных. Диаграмма направленности акустического излучения у них имеет форму не лепестка, направленного вперед, как у летучих мышей или дельфинов, а близка к шарообразной (рис. 3), то есть эхо от каждого щелчка представляет собой как бы слепок материального окружения бабочки.



Совка картофельная,  
*Hydraecia micasea*



Пламенница  
пирамидальная,  
*Amphipyra pyramidea*



3  
Бабочка (на снимке она изображена со спины, головой от зрителя и вверх) излучает звуки не только перед собой, как летучие мыши и дельфины, но и в стороны, и назад

Слуховые рецепторы совок эволюционно произошли от нейронов, участвовавших в управлении движением задних крыльев, но они сохранили прямые связи с нервными центрами, управляющими полетом. В результате такой тесной кооперации слуха и моторной системы время задержки реакций бабочки на эхо составляет всего 30 мс. Этот интервал примерно соответствует периоду взмаха крыльями. В то же время двигательные реакции совок на зрительную информацию происходят с большей задержкой. Сравнение двух гистограмм (рис. 4) дает ответ на вопрос, для чего совкам необходима эхолокация: задержка их реакций на зрительные сти-

мулы в три раза больше, чем реакций на эхо. Фактор времени для летящего животного может стать определяющим, даже если ночью его зрение достаточно чувствительно.

С учетом всех полученных сведений можно сделать вывод, что основное назначение локатора совок — обнаружение предметов около машущих крыльев, то есть как раз на тех курсах, где элементы окружения смещаются с наибольшей скоростью. Вероятно, зрение и эхолокация у совок работают совместно, дополняя друг друга.

Одна из причин, ограничивающих использование эхолокации, — это самообнаружение лоцирующего животного как перед хищниками, так и перед потенциальными жертвами. Совки сталкиваются с этой проблемой, поскольку одновременно с ними в воздухе находятся хищники — летучие мыши, также способные к эхолокации, что неизбежно должно привести к противостоянию эхолокационных стратегий этих животных.

Известно, что совки могут обнаружить присутствие в воздухе летучих мышей, восприняв их зондирующие сигналы. Редер и Трит установили, что при облучении слабым ультразвуком (летучая мышь далеко) совка стремится в полете развернуться так, чтобы улететь от его источника. Амплитуда

эха от бабочки при этом уменьшается, так как ее крылья ориентируются примерно ребром к падающей акустической волне. При средних уровнях звука совка начинает совершать непредсказуемые и резкие маневры: описывать петли и нырять к земле. При очень большой громкости бабочка обычно складывает крылья и падает на землю.

Летучие мыши, по-видимому, также улавливают щелчки совок, и эти сигналы привлекают их внимание. Поэтому бабочкам приходится сокращать время своего «акустического присутствия» в воздухе — излучать сигналы только при необходимости. Когда совка замечает препятствие, она начинает испускать щелчки с высокой частотой и продолжает щелкать, пока не минует его, и еще несколько секунд после потери с ним акустического контакта.

Давлением отбора со стороны летучих мышей можно также объяснить сохранение у совок ведущей роли зрения, несмотря на способность этих животных к эхолокации.

Подводя итог, можно отметить, что эхолокация оказалась более распространена в природе, чем думали раньше. Предпосылкой развития у животных эхолокационных систем служит быстрое движение в насыщенном препятствиями трехмерном пространстве в темное время суток либо в средах с низкой прозрачностью. Те виды, у которых обнаружена способность к эхолокации, очень подвижны и не находятся в постоянном контакте с поверхностью земли. На эту тенденцию можно ориентироваться при поиске эхолокации у других животных.

**Что еще можно прочитать об эхолокации у бабочек:**

- Лапшин Д.Н. Эхолокационная система бабочек. М.: Наука. 2005. (<http://www.lapshin.iitp.ru/abstr24.htm>)
- Лапшин Д.Н., Федорова М.В., Жантиев Р.Д. Эхолокация у совок (*Lepidoptera, Noctuidae*). Зоол. журн. 1993. Т.72, № 9.
- Roeder K.D., Treat A.E. Ultrasonic reception by the tympanic organ of noctuid moths. J. Exp. Zool. 1957. V.134.

