

ИЗ ТЕКУЩЕЙ ЛИТЕРАТУРЫ

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ЛОКАЦИЯ У ЛЕТУЧИХ МЫШЕЙ

Способность летучих мышей безошибочно ориентироваться при полёте в полной темноте вызывала издавна недоумение всех, кто внимательно наблюдал поведение этих животных. Летучие мыши способны пролететь, не задев крыльями, через небольшое отверстие в перегородке. Они облетают, не задевая, проволоки, натянутые поперёк комнаты; они никогда не натыкаются на стены помещения. Находясь в полёте летучие мыши широко раскрывают рот, что помогает им ловить мошек, мух и бабочек (которыми они главным образом питаются), но есть основание думать, что они всё же замечают каким-то образом в темноте насекомых, летящих в воздухе, и направляются в их сторону. Ещё давно работами ряда зоологов показано, что при затыкании одного или обоих ушей или завязывании рта летучие мыши теряли способность ориентироваться при полёте и натыкались на препятствия.

В 1920 г. Хартридж¹ высказал гипотезу, что летучие мыши испускают при полёте «коротковолновые» звуки и, слушая эхо этих звуков, ориентируются, учитывая время прихода эхо, относительно окружающих предметов.

Полная ясность в этот вопрос была внесена экспериментальными работами Галамбос и Гриффина^{2,3} в 1941—1942 гг. в Америке и критической статьёй Хартриджа в 1945 г. Галамбос и Гриффин, применяя специальные звукоприёмники, обнаружили, что летучие мыши производят 4 сорта звуков:

1. Жужжание — низкочастотный звук, который слышен, если находиться совсем близко от животного.

2. Отдельные «щелчки», которые слышны также только вблизи.

3. Тоны с частотой около 7000 герц, длящиеся, примерно, $1/4$ сек и нерегулярно, хотя и часто повторяющиеся.

4. Ультразвуки с частотами от 30 до 70 тысяч герц; чаще всего встречаются частоты 40—55 т. герц (длина волн от 0,6 до 0,85 см). Отдельные ультразвуковые «крики» или импульсы имеют длительность всего около 0,01 сек. Находясь в покое, летучая мышь «кричит» 5—10 раз в секунду. Когда она начинает летать, частота следования импульсов возрастает до 20—30 в секунду: при приближении к препятствию частота импульсов доходит до 60 в сек.

Жужжание и щелчки всегда сопровождают ультразвуки, испускаемые летучей мышью. Вероятнее всего, что эти низкочастотные звуки являются следствием резкого прерывания потока воздуха при открытии и закрытии голосовой щели в моменты ультразвукового «крика». Анатомические исследования гортани летучих мышей указывают на малые её размеры и увеличенную прочность; хрящи, к которым прикреплены голосовые связки и мускулы, их натягивающие, у летучих мышей в значительной мере являются окостеневшими. Это позволяет допустить возможность весьма высоких натяжений связок, что необходимо для получения ультразвуков. Можно, однако, также предполагать, что ультразвуковые колебания генерируются наподобие свиста, как в известных свистках Гальтона или Гартмана; резонирующая полость может при этом образоваться, например, в гортанном

желудочке между истинными и ложными голосовыми связками. Опыты Галамбос и Гриффина показали, что при завязывании рта и ноздрей летучие мыши не способны испускать ультразвук: таким образом, ясно, что генератор ультразвука расположен в полости горла или рта. Весьма важна для выяснения существа дела работа Галамбос⁵, который доказал, что летучие мыши действительно способны воспринимать ультразвуки. Этот автор поставил опыты по изучению так называемого «микрофонного» эффекта улитки у летучих мышей и обнаружил его на частотах от 10 000 до 100 000 герц. Микрофонный эффект заключается в том, что при воздействии звука здоровая улитка с неповрежденными волокнами Корти генерирует переменные электрические потенциалы (порядка микровольт), в точности соответствующие по частоте воздействующим звуковым колебаниям; при этом опыте животное усыпляется наркотиком, у него вскрывается полость среднего уха и к улитке прикладывается тонкий электрод. Наличие микрофонного эффекта указывает лишь на нормальное функционирование улитки и наличие колебаний волокон Корти, но ещё не говорит ничего о том, слышит ли животное звук или нет. Известно, что при перерезке или повреждении слухового нерва микрофонный эффект имеет место, но животное, конечно, ничего не слышит. Галамбос показал, что при усилении ультразвука микрофонный эффект достигает максимума и затем начинает спадать. Это объясняется действием предохранительного механизма уха — натяжением мускула (*tensar tympani*), делающего барабанную перепонку более упругой и ослабляющего чувствительность уха. Следовательно, центральная нервная система реагирует на восприятие ультразвука и производит защитный рефлекс, ослабляющий действие слишком сильных ультразвуков. Вызывая паралич мускулатуры, натягивающей барабанную перепонку, инъекцией яда кураре удаётся повысить потенциалы улитки. Микрофонный эффект в ухе летучих мышей наблюдался как под влиянием ультразвуков, издаваемых специальным магнетострикционным генератором, так и под влиянием «криков» других летучих мышей. Весьма сильный эффект дают ультразвуки с частотами от 10 000 до 60 000 герц; выше чувствительность уха ослабевает.

Каковы же физические основы своеобразного ультразвукового «эхолота» или «радара» летучих мышей? Прежде всего отметим, что животными испускаются ультразвуки с длинами волн порядка 1 см или несколько менее. Волны такого порядка безусловно могут давать отчётливую отражённую дифракционную картину от небольших предметов и даже от проволок диаметром в несколько миллиметров. Более длинные волны позволили бы, конечно, распознавать лишь более крупные предметы. Наоборот, ещё более короткие волны, хотя подходили бы лучше для более детального исследования окружающих предметов, но, вероятно, из-за сильного поглощения в воздухе они менее выгодны для этих целей. Интересно, что волосы или распушённая вата летучими мышами не обнаруживаются. Звук ими не отражается, видимо, полностью поглощаясь в пористой массе.

Ультразвуки таких длин волн, как 1 см, могут быть излучены резко направленными лучками, как свет от прожектора. Восприятие ультразвука летучей мышью осуществляется посредством двух ушей (с огромными ушными раковинами). Оно также может быть резко фиксировано в определённом направлении, подобно тому как это делают самолётные звукоулавливатели. Таким образом, время прихода эхо-сигнала даёт возможность судить о расстоянии предмета, а бинауральный эффект — о его направлении. Полярные координаты предмета оказываются, таким образом, определены полностью. Животное имеет полную возможность локализовать в темноте препятствия, окружающие его при полёте. Отмечено, что затыкание одного уха, совершенно нарушающее способность локализации по бинауральному эффекту, приводит к полному нарушению способности летучих мышей свободно летать в темноте. Ультразвуковой «крик» летучей мыши длится 0,01 сек. Эхо от предмета, находящегося на расстоянии 1,7 м, придёт обратно как

раз, примерно, через 0,01 сек. Следовательно,* предметы, лежащие ближе 1,7 м, дадут звук эхо, который будет частично замаскирован сильным первичным сигналом. Более далёкие предметы дадут эхо уже после окончания первичного сигнала и, следовательно, они могут быть более отчётливо обнаруживаемы.

Относительно механизма определения расстояния можно высказать две гипотезы. Можно предположить, что мышь испускает «крик» периодически, начиная его в тот момент, когда она кончила воспринимать звук эхо. В этом случае период повторения «криков» T связан с длительностью

импульсов τ и расстоянием l до препятствия соотношением: $T = \tau + \frac{l}{c}$,

где c — скорость звука. Можно также предположить, что животное добивается полного маскирования звука эхо звуком сигнала, подбирая частоту следования импульсов так, чтобы звук эхо точно перекрывался звуком сигнала. Во втором случае $T = \frac{l}{c}$. Какая из этих гипотез правильной, пока судить трудно.

Возникает вопрос, может ли летучая мышь распознавать звуки, отражённые от ряда предметов, находящихся в поле её слуха? Здесь, возможно, ей помогает способность менять частоту следования импульсов. Так, например, пусть в поле слуха имеется два предмета — один на расстоянии 1,7 м, дающий эхо сразу вслед за окончанием «крика», и второй — на расстоянии 8 м, дающий эхо через 0,05 сек. Подбирая частоту следования импульсов 20 раз в секунду, т. е. через 0,05 сек, животное может добиться того, что импульсы эхо от более далёкого предмета придутся как раз на моменты первичных сигналов и не будут заметны, наоборот импульсы эхо от ближнего предмета будут отчётливо заметны. Обратим внимание на замечательное свойство слухового аппарата — рефлекторно уменьшать чувствительность при действии сильного звука. Это позволяет животному «блокировать» приёмный (слуховой) аппарат на моменты испускания мощных импульсов передатчика голоса (совершенно так же, как это делается в современных радиолокационных установках — радарах). Как тут, так и там применяются возможно короткие волны, блокирование передатчика и импульсные сигналы, причём частота следования импульсов в обоих случаях применяется большая, если требуется локализовать более близкие предметы (в радарах применяется от 200 до 20 000 импульсов в секунду).

Относительно сигналов с тональной частотой 7000 герц Хартридж высказывает предположение, что летучие мыши применяют их для связи друг с другом; это, так сказать, «разговорные» частоты.

С. Н. Ржевкин

ЛИТЕРАТУРА

1. Hartridge, Journ. Physiol., 54, p. 54, 1920.
2. D. Griffin a. R. Galambos, Journ. Exp. Zool., 86 p. 481, 1941.
3. R. Galambos, a. D. Griffin, Journ. Exp. Zool. 89. p. 475, 1942.
4. H. Hartridge, Nature, Oct., 1945.
5. R. Galambos, Journ. Acoust. Soc. Am. 14 p. 41, 1942.