

ПРИРОДА

МАРТ

ОТПИСК ИЗ № 3



ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР

ЗРЕНИЕ ГОЛОВОНОГИХ МОЛЛЮСКОВ

Интерес к зрению головоногих вполне понятен. Сложное поведение, способность менять окраску, и в особенности глаза, сходные по устройству с глазами позвоночных, и пристальный взгляд как у разумного существа,— все это резко выделяет головоногих среди всех остальных беспозвоночных.

Многих ученых занимал вопрос — есть ли у головоногих цветное зрение? Разнообразные опыты по дрессировке осьминогов не дали четкого ответа на этот вопрос. Изучалась также своеобразная особенность зрительных пигментов этих животных. Дело в том, что зрительный пурпур (родопсин) головоногих не обесцвечивается на свету, в отличие от родо-

псина позвоночных. Это интересно с точки зрения механизма работы таких пигментов и, в частности, механизма адаптации.

Летом 1960 г. авторы этой статьи исследовали зрение головоногих во время работы Тихоокеанской экспедиции Института биофизики АН СССР.

Для опытов у вырезанного глаза кальмара *Ommastrephes sloanei-pacificus* (рис. 1) или осьминога *Octopus dofleini* (рис. 2) удаляли передние среды — роговицу, хрусталик и стекловидное тело; склеру с сетчаткой помещали в холодную влажную камеру, куда подавался кислород. В таких условиях препарат глаза устойчиво работает многие часы,

не меняя своих свойств. Если осветить препарат глаза, то можно наблюдать так называемую электроретинограмму (сокращенно ЭРГ) — колебание электрического потенциала, возникающее в сетчатке. ЭРГ легко регистрируется при помощи усилителя и двух электродов, один из которых касается склеры, а другой — сетчатки. Усилитель соединен с осциллографом, на экране которого ЭРГ наблюдается или фотографируется.

ЭРГ зависит от интенсивности света: с увеличением интенсивности она увеличивается (рис. 3). Таким образом, по величине ЭРГ можно судить об интенсивности света «с точки зрения» глаза кальмара или осьминога. Если теперь освещать глаз светом разных длин волн, то для каждой длины волны можно подобрать такую интенсивность света, чтобы электроответы во всех случаях были одинаковы. Измерив необходимые для этого интенсивности можно вычислить относительную чувствительность глаза к этим длинам волн.

Точность такого опыта не очень велика, так как зависит от точности, с которой мы измеряем величину ЭРГ. Лучшие результаты можно получить, если непосредственно сравнивать два каких-нибудь световых потока, наблюдая при этом ЭРГ. Действительно, если какие-то два излучения вызывают точно одинаковую реакцию, то замена одного из них на другое не должна быть заметна для глаза, т. е. никакой электрической реакции не будет. Если же излучения неодинаковы для глаза, то в мо-

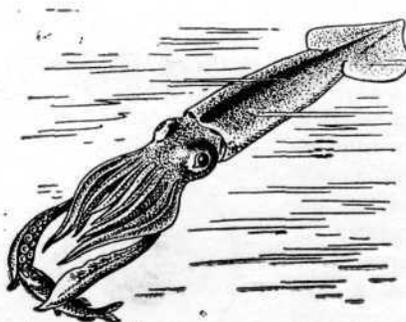


Рис. 1. Кальмар *Ommastrephes sloanei-pacificus*

мент замены ЭРГ должна давать отклонения в ту или иную сторону. Точность подбора интенсивностей будет зависеть уже от контрастной чувствительности глаза, которая, как правило, достаточно хороша: изменение интенсивности на 8—9% дает хорошо заметную реакцию.

Такой опыт, в котором подбираются неразличимые для глаза излучения, называется колориметрическим. Он осуществлялся при помощи коло-

риметра замещения — прибора, позволяющего производить моментальную замену световых потоков. Помимо большей точности, главное достоинство колориметрического опыта в том, что он позволяет выяснить способность глаза животного различать цвета. Если два излучения любой длины волны можно сделать неразличимыми путем подбора их интенсивностей, то можно утверждать, что животное не имеет цветного зрения. Если же такого подбора произвести не удастся, то это значит, что глаз различает не только интенсивности, но и спектральный состав¹.

Колориметрические опыты показали, что ни кальмар, ни осьминог не имеют цветного зрения. На рис. 4 видно, что интенсивность синего и желтого света может быть подобрана так, чтобы глаз кальмара не реагировал на замену излучений. Это удастся также для любой пары излучений.

¹ Более подробное описание колориметрического метода читатель может найти в статье М. М. Вонгарда и М. С. Смирнова «Цветное зрение человека и животных». См. «Природа», 1959, № 5, стр. 13—20.

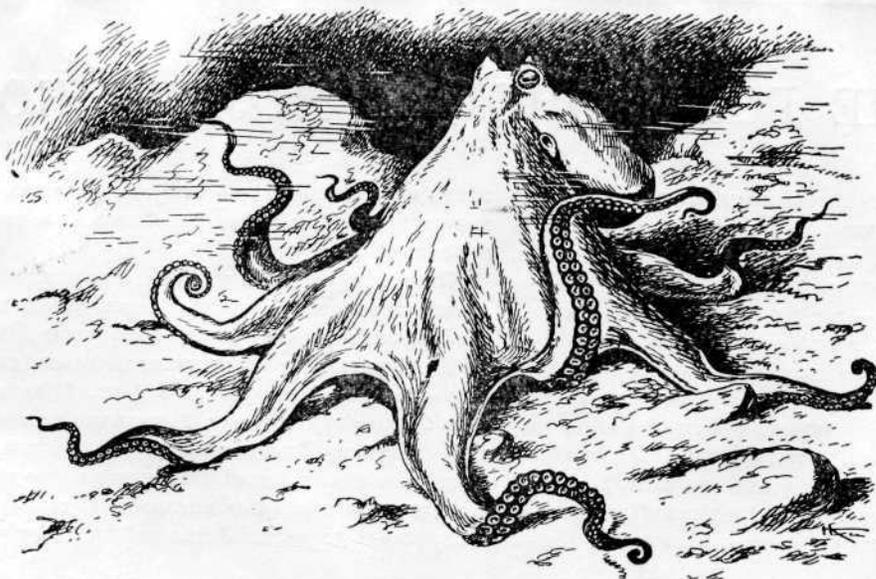


Рис. 2. Осьминог *Octopus dofletini*

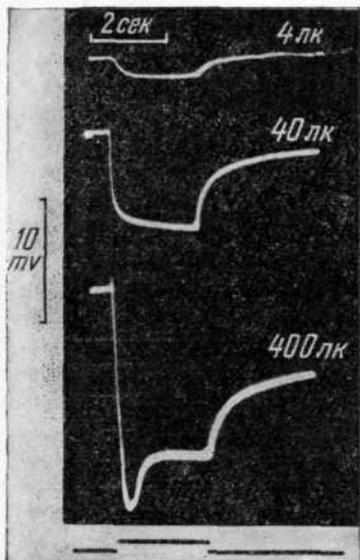


Рис. 3. Электрическая реакция (ЭРГ) глаза осьминога при включении света разной интенсивности. Справа — интенсивность света в люксах, внизу — отметка раздражения

Рассчитанная таким образом кривая спектральной чувствительности единственного приемника глаз кальмара приведена на рис. 5.

Практически спектральная чувствительность приемника кальмара и осьминога одинакова. Она не зависит от того, делается ли опыт с большими интенсивностями или с малыми (нет сдвига Пуркинье), и от так называемого цветного утомления: длительная засветка глаза ярким желтым или синим светом не нарушает равенств, т. е. не меняет относительной спектральной чувствительности. Эти опыты служат дополнительным подтверждением отсутствия цветного зрения.

Разумеется, этот вывод нельзя автоматически переносить на другие виды, и утверждать, что вообще головоногие моллюски не имеют цветного зрения. Наоборот, известны факты, которые заставляют предполагать обратное. Например, некоторые виды каракатице имеют в наружных покровах пигментные клетки разной окраски. Для того, чтобы подражать окраской не только общей яркости, но и цвету фона, животное должно различать цвета, должно обладать цветным зрением. Точно так же наличие разноцветных светящихся органов — люминофоров — у не-

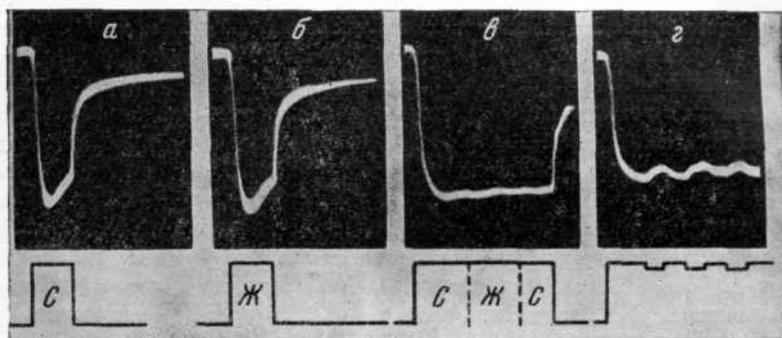


Рис. 4. Колориметрический опыт на кальмаре. Включение синего (а) и желтого (б) света, включение синего и замена его на желтый (в) и включение света с периодическим ослаблением интенсивности на 8% (г)

которых глубоководных кальмаров позволяет предполагать, что у них есть цветное зрение.

Максимум спектральной чувствительности приемника кальмара и осьминога лежит около 485 м.м.к., т. е. в голубой части спектра. В длинноволновую сторону видимая часть спектра простирается для глаза головоногих значительно меньше, чем для нашего глаза. Света красного фотографического фонаря кальмар или осьминог практически не видит. Такая спектральная чувствительность близка к спектру поглощения родопсина, выделенного из сетчатки других головоногих и, несомненно, зависит от наличия сходного зрительного пигмента.

Как было отмечено, родопсин головоногих не обесцвечивается на свету, в отличие от родопсина позвоночных. У позвоночных родопсин, поглотив свет, распадается на бесцветные составные части.

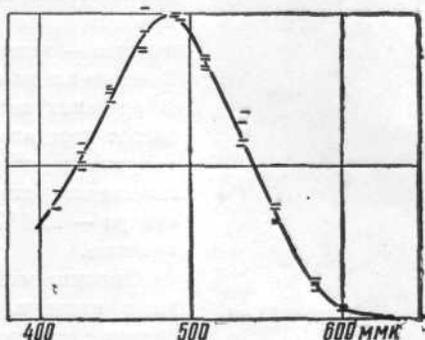


Рис. 5. Кривая спектральной чувствительности приемника кальмара, полученная колориметрическим методом (равноэнергетический спектр)

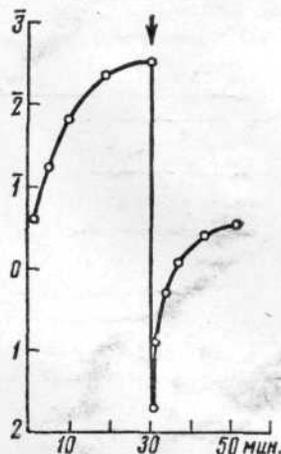


Рис. 6. Кривые световой и темновой адаптации у кальмара. Чувствительность возрастает в темноте, затем резко падает при включении света (9000 лк на 10 сек.), после чего в темноте вновь возрастает. По вертикальной оси — логарифмы пороговой интенсивности света

Согласно фотохимической теории зрения уменьшение чувствительности глаза на свету объясняется уменьшением концентрации родопсина в результате распада, а увеличение чувствительности в темноте — его восстановлением. Как было установлено недавно¹, у родопсина головоногих на свету лишь меняется структура молекул. Меняется ли при этом чувствительность глаза к свету? Ведь родопсин с измененной структурой продолжает поглощать свет. Ответ на этот вопрос могло дать изучение адаптации у головоногих.

Опыты показали, что адаптация у кальмара и осьминога, измеряемая по ЭРГ, протекает практически так же, как у позвоночных. Чувствительность

темноадаптированного глаза уменьшается в тысячи раз после нескольких секунд пребывания на свету (рис. 6). Специальными опытами было показано, что защитный пигмент за это время не успевает сдвинуться и, следовательно, уменьшение чувствительности этим объяснить нельзя. Таким образом, распад родопсина, отсутствующий у головоногих, не является необходимым звеном для световой адаптации. Отсюда следует, что явления, лежащие в основе адаптации, связаны либо с процессами, предшествующими распаду родопсина (например, структурные изменения родопсина под действием света), либо с какими-то изменениями в последующих звеньях передачи сигнала — в нервных клетках сетчатки.

О. Ю. Орлов, А. Л. Бызов

Институт биологической физики АН СССР (Москва)

¹ Hubbard, Brown, Krogh «Nature», v. 183, № 4659, 1959.