

НОВЫЙ МЕТОД РЕГИСТРАЦИИ ДЫХАТЕЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ ГОЛОТУРИЙ

В. С. ЛЕВИН, А. В. ХМЕЛЬ

*Лаборатория хронологии Института биологии моря ДВО АН СССР,
Владивосток 690022*

Описана установка для регистрации колебаний поверхности воды, включающая излучатель инфракрасного света и фототранзистор. Установка использована для бесконтактного исследования дыхательных движений трех видов голотурий.

A new method for the registration of the respiratory movements of holothurians. V. S. Levin, A. V. Khmel (Laboratory of Chorology, Institute of Marine Biology, Far East Branch, Academy of Sciences of the USSR, Vladivostok 690022)

A device for the registration of surface waves is described. This device, composed of an infrared emitter and a phototransistor, was used for an indirect registration of the respiratory movements of three holothurian species. (Mar. Biol., Vladivostok, 1988, N 2, p. 72—74)

Важным показателем физиологического состояния и уровня обменных процессов животных является интенсивность их дыхания, а в некоторых группах — характер дыхательных движений. Голотурии обладают крайне своеобразным среди беспозвоночных животных дыхательным аппаратом — водными легкими. Это позволяет использовать при изучении их дыхания методы, не применимые к большинству других водных животных. Так, были предложены методы регистрации объема прокачиваемой через водные легкие воды (Newell, Courtney, 1965). Однако закрепленная на теле животных громоздкая аппаратура даже в модифицированном варианте метода (Левин, 1982) отражается на поведении животных и не дает возможности проводить длительные эксперименты.

В процессе наблюдения в лабораторных условиях за несколькими видами голотурий было отмечено, что если животные располагаются на небольшой глубине, выдох сопровождается заметными колебаниями поверхности воды. Это привело к идее использовать указанные колебания для бесконтактной оценки дыхательных движений голотурий.

Задача регистрации микроколебаний поверхности воды успешно решается в экспериментах по исследованию сигнализации насекомых, обитающих на поверхности воды (Rudolph, 1967; Wilcox, 1972; Nummelin, 1982). Описанное в последней из указанных работ устройство, основанное на принципе регистрации отраженного от поверхности воды луча фотодиодом, весьма несложно по конструкции и в принципе пригодно для регистрации дыхания голотурий. Однако оно обладает существенным недостатком — использование источника видимого света связано с ограничениями в освещенности экспериментальной установки; в ночное время световой луч может вносить искажения в суточную ритмику дыхательных движений. Поэтому была сконструирована установка, лишенная этих недостатков.

Установка состоит из оптического регистратора колебаний поверхности воды, в состав которого входят излучатель и приемник отраженного светового потока, и усилителя инфранизкой частоты (рис. 1). Излучатель выполнен на светодиодах, максимум интенсивности излучения лежит в инфракрасном диапазоне длин волн (0,92—0,97 мкм). Светоприемником является фототранзистор, максимум чувствительности которого приходится на длину волны излучателя. Излучатель и фотоприемник имеют узкую диаграмму направленности излучения и приема. В блоке усилителя инфранизкой частоты находится также стабилизированный источник питания излучателя.

Датчик колебаний укрепляется над экспериментальным сосудом с животным на штативе; угол падения светового потока 48° . Световой поток после отражения от поверхности воды попадает в фотоприемник. Колебания поверхности воды в зоне облучения вызывают соответствующие изменения интенсивности отраженного светового потока и, следовательно, эмиттер-коллекторного тока фототранзистора V1. Переменная составляющая падения напряжения с резистора R2 через конденсатор C2 подается на инвертирующий вход операционного усилителя. Усиленный сигнал регистрируется микроамперметром P1 и подается на самописец.

Отличительной чертой данной схемы является использование разделительной емкости C2, номинал 100 мкФ. Это позволяет исключить влияние постоянной составляющей фототранзистора при регулировке чувствительности усилителя, так как устраняется разбаланс входов операционного усилителя. В целях смещения частотной характеристики операционного усилителя в область инфранизких частот (0,3—2 Гц) схема коррекции содержит конденсаторы повышенной емкости — C4, C5.

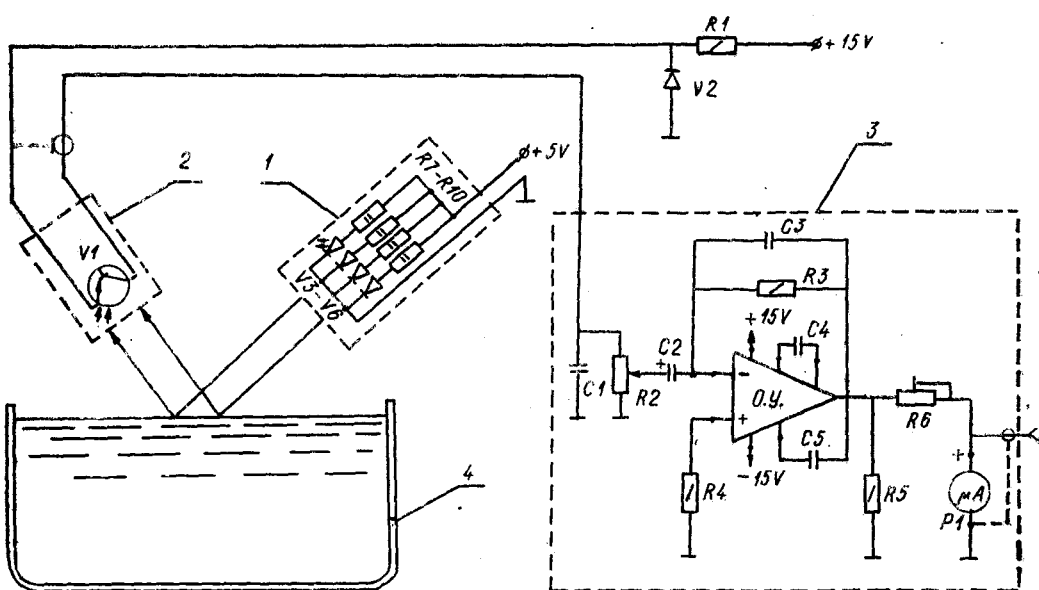


Рис. 1. Принципиальная схема установки.

1 — излучатель, 2 — светоприемник, 3 — усилитель, 4 — экспериментальный сосуд. На схеме обозначены: фототранзистор $V1$ — ФТ-1К; стабилитрон $V2$ — КС 147 А; светодиоды $V3$ — $V6$ — АЛ 107А; резисторы $R1$ — 500 Ом; $R2$ — 51 кОм; $R3$ — 1 Мом; $R4$, $R5$ — 10 кОм; $R6$ — 15 кОм; $R7$ — $R10$ — 30 Ом; конденсаторы: $C1$ — 0,33 мкФ, $C2$ — 100 мкФ, $C3$, $C4$ — 390 пФ, $C5$ — 180 пФ, операционный усилитель (О.У.) — 153 УД 1; микроамперметр $P1$ — 50 мА

Для этих же целей резистор $R3$ зашунтирован емкостью $C3$. Конденсатор $C1$ служит для фильтрации переменной составляющей 50 Гц, вызываемой действием на фототранзистор бытовых источников света.

Работы с использованием описанной установки выполняли в аквариальной Морской экспериментальной базы «Витязь». Регистрировали дыхательные движения трех массовых видов голотурий, обитающих в сублиторали Японского моря: *Stichopus japonicus*, *Cusumata japonica* и *Eupentacta fraudatrix*. Наиболее стабильны результаты опытов с малоподвижными кукумариями, положение тела (и, естественно, направление выдоха) которых легко регулировать. Регистрирование дыхательных движений таких подвижных видов, как дальневосточный трепанг, также возможно, но для регистрации дыхания при движении животных по дну необходимо использовать экспериментальные сосуды с закруглением по линии соединения днища со стенкой (рис. 1) или ставить позади животного экран, отражающий поток выдыхаемой воды вверх; чувствительность регистрации при этом снижается.

Максимальная глубина размещения животных, позволяющая отчетливо улавливать дыхательные движения, зависит от размера голотурий и ориентации их тела. Приемлемые результаты были получены при расстоянии от поверхности воды до анального отверстия: *S. japonicus* — около 5 см, *C. japonica* — 10 и *E. fraudatrix* — 1 см. Сигналы отчетливо регистрировались на расстоянии по горизонтали от центра возникновения волн 5—30 см (в зависимости от размера голотурий, конфигурации экспериментального сосуда и др.).

Количество кислорода, поступающего в организм голотурий через водные легкие составляет, в зависимости от условий, 10—60% от всего потребляемого кислорода (Robertson, 1972; Левин, 1982). Показателями интенсивности дыхания являются частота дыхательных движений и объем прокачиваемой воды. Эти характеристики видоспецифичны, но для конкретного животного при одинаковых условиях весьма стабильны. Для дальневосточного трепанга показано, что частота дыхания и разовый объем вдыхаемой воды изменяются сходным образом в зависимости от размера животных и температуры (Левин, 1982).

С помощью волюметрических устройств, используемых при изучении дыхания голотурий, было продемонстрировано, что вдох у этих животных ступенчатый; выдох же такими приборами регистрировался как непрерывный (Robertson, 1972; Левин, 1982). Анализ спирограмм трех исследованных видов голотурий показал, что информация о непрерывности выдоха ошибочна. На приведенной в качестве примера спирограмме *S. japonica* (рис. 2) хорошо видно, что при соответствующих скоростях движения ленты самописца — 30 см/мин и выше, выдох, общая продолжительность которого составляет 5—7 с, отчетливо подразделяется на два периода продолжительностью 1—1,5 с и 2—4 с с паузой в 2—3 с между ними. По-видимому, первая фаза выдоха обусловлена освобождением от воды водных легких, а вторая — окончательным освобождением от воды клоаки. Частота дыхательных движений (про-

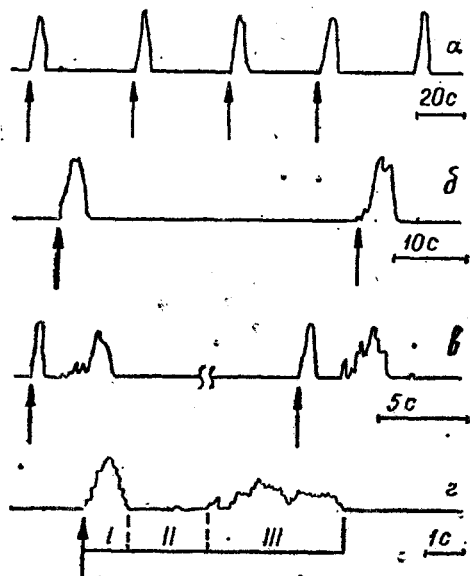


Рис. 2. Спирограмма *Cuscutaria japonica* при скоростях ленты самописца 4 см/мин (а), 11,5 (б), 30 (в) и 60 см/мин (г).
Стрелки — начало выдоха, I—III — фазы выдоха

межуток между началом последовательных выдохов) составляет в данных условиях 30—40 с.

Таким образом, описанная методика позволяет детально анализировать характеристики дыхательных движений голотурий, недоступные при использовании других методов.

Литература

- Левин В. С. 1982. Дальневосточный трепанг. Владивосток: Дальневост. кн. изд-во. 192 с.
- Newell R. C., Courtney W. A. M. 1965. Respiratory movements in *Holothuria forskali* Delle Chiaje. — *J. Exp. Biol.*, v. 42, N 1, p. 45—57.
- Nummelin M. 1982. An easy method for measuring surface wave signals. — *Ann. zool. fenn.*, v. 19, p. 237—238.
- Robertson D. A. 1972. Volume changes and oxygen extraction efficiency in the holothurian, *Stichopus mollis* (Hutton). — *Comp. Biochem. and Physiol.*, v. 43A, N 4, p. 795—800.
- Rudolph P. 1967. Zum Ortungsverfahren von *Gyrinus substriatus* Steph. (Tammelmkäfer). — *Z. vergl. Physiol.*, Bd. 56, S. 341—375.
- Wilcox R. S. 1972. Communication by surface waves. Mating behaviour of a water strider (Gerridae). — *J. Comp. Physiol.*, v. 80, N 3, p. 255—266.

Поступила 4.07.1986