

15. Светличный Л. С., Уманская А. В. Кислородная цена локомоции *Calanus helgolandicus* (Crustacea, Copepoda) // Океанология.— 1991.— 31, № 5.— С. 770—777.
16. Степанов В. Н., Светличный Л. С. Исследования гидромеханических характеристик планктонных копепоид.— Киев, Наук. думка, 1981.— 126 с.
17. Хэппель Дж., Бреннер Г. Гидродинамика при малых числах Рейнольдса.— М.: Мир, 1976.— 630 с.
18. Шмидт-Нильсен К. Физиология животных: Приспособление и среда.— М.: Мир, 1982.— 800 с.
19. Alcaraz M., Strickler J. R. Locomotion in copepods: pattern of movements and energetics of Cyclops // Hydrobiologia.— 1988.— 167/168.— P. 409—414.
20. Alexander R. McN. The maximum forces exerted by animals // J. Exp. Biol.— 1985.— 115, N 1.— P. 231—238.
21. Morris M. J., Gust G., Torres J. J. Propulsion efficiency and cost of transport for copepods: a hydromechanical model of crustacean swimming // Mar. Biol.— 1985.— 86, N 3.— P. 283—295.
22. Morris M. J., Kohlhaege K., Gust G. Mechanics and energetics of swimming in the small copepod *Acanthocyclops robustus* (Cyclopoida) // Ibid.— 1990.— 107, N 1.— P. 83—91.
23. Strickler J. R. Observation of swimming performances of planctonic copepods // Limnol. and Oceanogr.— 1977.— 22, N 1.— P. 165—170.
24. Torres J. J., Childress J. J. Relationship of oxygen consumption to swimming speed in *Euphausia pacifica*. 1. Effects of temperature and pressure // Mar. Biol.— 1983.— 74, N 1.— P. 79—86.
25. Veiga J.-M., Castel J. Cout energetique de la locomotion chez le Copepode *Eurytemora hirundoides* (Nordquist, 1888) // C. r. Acad. Sci.— 1986.— 303, Ser III, N 6.— 203—206.
26. Vlymen W. J. Energy expenditure of swimming copepods // Limnol. and Oceanogr.— 1970.— 15, N 3.— P. 348—356.

Ин-т биологии юж. морей
АН Украины, Севастополь

Получено 23.01.92

L. S. SVETLICHNY

LOCOMOTOR FUNCTION OF MOUTH APPENDAGES IN COPEPODS: HYDROMECHANICAL AND ENERGETIC SIMILARITY

Summary

The scale variations of the coefficients of hydrodynamic resistance of antennas, hydrodynamical efficiency, power and cost of the transport have been established on the basis of direct measurements of the pull force, velocity and frequency of motion of the mouth appendages in copepods of different size.

УДК 595.383.1:591.17.551.463

В. В. МЕЛЬНИКОВ, Д. А. СЕЛИВАНОВСКИЙ

О ВЛИЯНИИ РЕЗКИХ ПЕРЕПАДОВ ДАВЛЕНИЯ НА ПОВЕДЕНИЕ И ЖИВУЧЕСТЬ ЭВФАУЗИИД (EUPHAUSIACEA)

Исследовано влияние резкой декомпрессии ($\Delta P = 4$ атм, или $4,052 \cdot 10^5$ Па) на поведение и живучесть видов эвфаузиид. Высказывается гипотеза, что скорость подъема к поверхности у интерзональных мигрантов находится в строгом соответствии с видоспецифичным режимом декомпрессии, незначительные нарушения которого могут вызывать гибель мигрантов. Установлено, что резкая декомпрессия в диапазоне 1—4 атм вызывает значительное снижение двигательной активности и ускоренную элиминацию большинства рассматриваемых видов эвфаузиид.

В настоящее время в литературе имеется много упоминаний о влиянии гидростатического давления на гидробионтов, и в частности на эвфаузиид [6, 7]. В сообщениях преимущественно говорится о том, как влияет увеличение давления. При этом в экспериментах используют значения давления, соответствующие максимальной глубине погружения использованных видов. Малая глубина, к которой большинство эвфаузиид поднимается

© В. В. Мельников, Д. А. Селивановский, 1993

ночью, практически выпала из внимания исследователей. Однако именно у поверхности в ходе суточных вертикальных миграций эвфаузииды могут испытывать наиболее значительные относительные перепады давления.

Свет, вероятно, является одним из наиболее существенных факторов, влияющих на суточные вертикальные миграции эвфаузиид [4, 5]. Известно, что вертикальное распределение этих рачков в водной толще связано с положением определенных изолум [6]. В сумеречные часы с уменьшением освещенности многие виды эвфаузиид поднимаются к поверхности, занимая определенный горизонт. При этом, как показывают наблюдения за звуко-

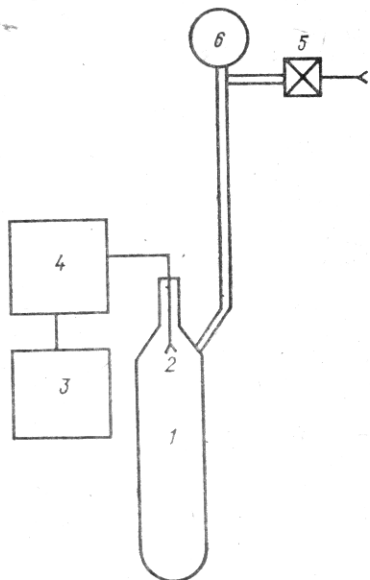


Рис. 1. Блок-схема установки для исследования влияния резких градиентов давления ($\Delta P = 4$ атм, или $4,052 \cdot 10^5$ Па) на эвфаузиид:

1 — компрессионная камера (стеклянная), 2 — антенна гидролокатора ($f = 6,5$ МГц), 3 — гидролокатор, 4 — самотопищ, 5 — редуктор высокого давления, 6 — манометр

рассеивающими слоями [6, 7], включающими эвфаузиид, вблизи на поверхности на глубине до 30—50 м скорость подъема рачков плавно уменьшается по закону, подобному правилам декомпрессии водолазов [2].

Авторы предположили, что это замедление, не соответствующее ходу изолум, в частности, может быть связано и с необходимостью декомпрессии для интерзональных мигрантов в зоне быстрого относительного изменения давления вблизи поверхности.

Цель работы заключается в исследовании влияния незначительных, но резких нарушений режимов декомпрессии на поведение и живучесть эвфаузиид.

Материал и методика. Материал собран в 29-м рейсе нис «Профессор Водянский» в октябре — ноябре 1989 г. у мыса Кап-Блан и в Гвинейском заливе. В качестве объектов исследования были использованы виды *Euphausia gibboides*, *E. tenera*, *E. pseudogibba* и *E. americana*. Пробы отбирали замыкающимся тралом Мельникова ($0,5$ м², ячея 750 мк) в темное время суток, в слое термоклина (20—40 м) на ходу судна 2—3 узла. Вертикальная составляющая скорости подъема тарла варьировала в преде-

лах $0,2$ — $0,3$ м · с⁻¹. Собранных животных помещали в емкость 10 л и закрывали непрозрачным экраном. Затем через 5—10 мин сосуд открывали и небольшим сачком отлавливали эвфаузиид определенного размера и вида: по 25—30 половозрелых особей в контроле и опыте. Размер объектов исследования определялся особенностями использованного оборудования, поэтому для экспериментов были отобраны лишь те виды, половозрелые особи которых могли пройти сквозь стеклянную горловину (6 мм) двух идентичных компрессионных камер емкостью 3 л. Эвфаузиид перекачивали в камеры с использованием сифона. Вся операция от конца траления до начала опыта занимала 1—2 ч. Схема установки для наблюдений приведена на рис. 1. В опытах использовали колбы из прочного стекла емкостью 3 л с диаметром 120 мм и длиной 350 мм. Среда в камере опрессовывалась до добавочного давления $\Delta P = 0$ —4 атм (0 — $4,052 \cdot 10^5$ Па). Давление газа (гелия) передавалось в среду через длинную (0,5 м) трубку диаметром 4 мм, заполненную водой, что обеспечивало весьма малую диффузию сжимающего газа в среду колбы при экспозициях. Время экспозиций составляло до 10 ч. Опыты выполняли в затемненном помещении, непрерывные наблюдения за эвфаузиидами осуществлялись с помощью высокочастотного гидролокатора ($f = 6,5$ МГц), антенна которого располагалась в горловине камеры. Длительность импульсов ($J = 10$ мкс) обеспечивала разрешение по пространству $\Delta R = 7,5$ мм. Высвечиваемая ультразвуком область захватывала от горловины до дна камеры цилиндр диаметром 6 мм. Кроме визуального наблюдения за эхосигналами по всей длине от горловины до дна

компрессионной камеры записывали сигналы уровня рассеяния из выбранного строба. Диапазон расположения строба варьировал в пределах 120—180 мм от антенны. Кроме того, приблизительно раз в час проводились визуальные наблюдения при красном свете.

Время декомпрессии ($\Delta P = 4$ атм, или $4,052 \cdot 10^5$ Па) в 12 опытах составляло 3—4 с и одним — ступенчато по 0,5 атм ($0,007 \cdot 10^5$ Па) — 15 мин. Всего выполнено 13 опытов продолжительностью 65 ч.

Результаты и обсуждение.

Анализ таксономического состава и пространственного распределения эвфаузиид в ночное время в районе исследованной акватории показал, что рассматриваемые виды можно отнести к доминирующим. Все они широко распространены в субтропико-тропической области Атлантического океана и имеют относительно небольшие размеры половозрелых особей: у *E. gibboides* — 22—27, у *E. pseudogibba* — 12—14, у *E. americana* — 9—12, у *E. tenera* — 8—9 мм [6].

Размах вертикальных миграций у *E. pseudogibba* составил 50 м, у *E. gibboides* — 200, у *E. tenera* — 250, у *E. americana* — 400 м [6].

E. gibboides является одним из наиболее массовых видов и потому наиболее детально исследован. В течение 10 экспериментов продолжительностью 44 ч установлено, что на свету до подачи давления эвфаузииды перемещаются кругами вдоль дна сосуда. После выключения света подвижность рачков резко возрастала, и (по данным гидролокатора) отдельные животные совершали вертикальные броски вдоль опытного сосуда со скоростью 0,23—0,35 м · с⁻¹. При подаче давления (таблица) общая картина мало менялась, но активность животных явно возросла. Часть из них концентрировалась у дна, часть — у поверхности. «Погружение» рачков на глубину их естественного распределения, очевидно, улучшало их состояние. После резкого сброса давления (до $\Delta P = 1$ атм, или $1,013 \cdot 10^5$ Па, за 3—4 с) в пределах первых 30—40 мин частота появлений рачков в стробе снижалась в среднем в 3 раза. Спустя 1—1,5 ч они начинали активизироваться и вновь сновали по вертикали. Общий ход динамики появлений эвфаузиид в стробе изображен на рис. 2. В контрольном сосуде уровень двигательной активности животных был значительно ниже. Соответственно и уровень кислорода в конце опыта несколько

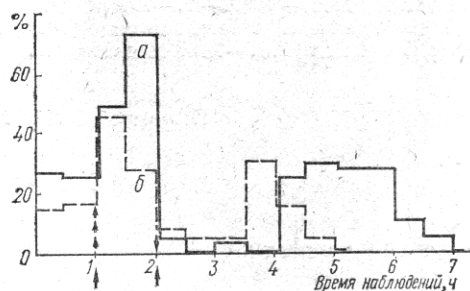


Рис. 2. Изменение (% появлений от общего количества особей) двигательной активности *E. gibboides* (a) и *E. americana* (b) под действием компрессии (↑) и декомпрессии (↓) (количество особей, появившихся в стробе гидролокатора ($t = 300$ мкс), суммировано за каждые 0,5 ч)

ниже, чем в компрессионной камере: так, через 3 ч в опыте № 6 содержание кислорода¹ (изначально было $4,83$ мл · л⁻¹) в контроле составило $3,24$, в камере — $2,93$ мл · л⁻¹ (минимальное в описываемой серии опытов).

Соотношение относительных частот появлений (в 1 мин) эвфаузиид в стробе до подачи давления ($\Delta P = 0—4$ атм, или $0—4,052 \cdot 10^5$ Па), в момент подачи и после сброса *

Вид	Номер опыта	Давление		
		до подачи	в момент подачи	после сброса
<i>Euphausia gibboides</i>	1	0,63	0,65	0,26
	2	0,38	0,87	0,13
	3	0,38	0,42	0,15
	4	0,15	0,40	0,08
	5	0,70	0,68	0,42
	6	0,08	0,08	0,02
	7	0,18	0,08	0
	8	0,27	0,05	0,07
	9	0,02	0,03	0
	10	0,20	0,48	0
<i>E. tenera</i>	10	0,30	0,37	0,11
	10	0,21	0,29	0,13
<i>E. americana</i>	11	0,32	0,45	0,10
	12	0,40	0,47	0,05

* Данные в пределах 1 ч каждого этапа измерения давления.

¹ По данным Д. Л. Гвоздевой.

Найденная в опытах убыль кислорода существенно превышает респиративный расход, оценка которого [2] дает понижение уровня всего до 95 % исходного. Дополнительный расход кислорода определяется, видимо, процессом разложения тел погибших рачков, оставшихся по условиям опыта наряду с живыми в сосудах до окончания опыта. Оставшееся к концу опыта количество кислорода должно быть достаточным для жизнедеятельности [8]. Однако в опытном сосуде рачки неизбежно погибали после декомпрессии через 3—6 ч.

В контрольном сосуде скорость элиминации рачков была существенно ниже, и после гибели рачков в компрессионной камере они оставались живыми в течение, по крайней мере, 4 ч (более длительные наблюдения не проводились).

При ступенчатой декомпрессии (0,5 атм, или $0,507 \cdot 10^5$ Па, в 15 мин) шок у *E. gibboides* наступил при перепаде давления от 1,5 до 1 атм ($0,020—0,013 \cdot 10^5$ Па). В этом случае, однако, элиминация рачков в компрессионной камере происходила с задержкой на 4 ч и одновременно с гибелью рачков в контрольном сосуде.

Виды-мигранты *E. tenera* и *E. americana* реагировали на резкую декомпрессию так же, как и *E. gibboides* (таблица). Иная картина наблюдалась при опыте со слабо мигрирующим приповерхностным видом *E. pseudogibba*. На протяжении 8-часового эксперимента этих рачков декомпрессовали трижды, однако и в опытном, и в контрольном сосуде большинство из них были живы в течение последующих 20 ч.

Таким образом, в ходе 12 опытов установлено, что резкая декомпрессия ($\Delta P = 4$ атм, при $4,052 \cdot 10^5$ Па) у глубоко мигрирующих видов эвфаузиид вызывает значительное снижение двигательной активности и вскоренную элиминацию.

1. Ломакина Н. Б. Эвфаузииды Мирового океана.— Л.: Наука, 1978.— 222 с.
2. Николаева Г. Г., Пономарева Л. А. Потребление кислорода эвфаузидами // Океанология.— 1973.— 13, № 1.— С. 493—496.
3. Справочник водолаза / Под ред. Е. П. Шиканова.— М.: Прогресс, 1973.— 252 с.
4. Bright T., Ferrari F., Martin D., Franceschini G. A. Effects a total solar eclipse on the vertical distribution of certain oceanic zooplankters // Limnol. and Oceanogr.— 1972.— 17, N 1.— P. 296—301.
5. Fischer W. Phototaktisches Verhalten des Krill (*Euphausia superba*) bei Kunstlicht // In-form. Fischwirt.— 1978.— 25, N 5.— P. 156—158.
6. Mauchline J. The Biology Mysids and Euphausiids // Adv. Mar. Biol.— 1980.— 18.— 681 p.
7. Mauchline J., Fisher L. R. The biology of euphausiids // Ibid.— 1969.— 7.— 454 p.
8. Kils U. Performans of Antarctic krill (*Euphausia superba*) at different levels of oxygen saturation. Results of the II German Antarctic Expedition 1977—78 // Meeresforschung Reports on Mar. Res.— 1979.— 27.— P. 35—48.

Ин-т биологии юж. морей им. А. О. Ковалевского
АН Украины, Севастополь
Ин-т прикл. физики РАН, Нижний Новгород

Получено 30.01.92

V. V. MELNIKOV, D. A. SELIVANOVSKY

THE EFFECT OF SUDDEN PRESSURE GRADIENTS ON BEHAVIOUR AND VITALITY OF EUPHAUSIIDA (EUPHAUSIACEA)

Summary

Sudden decompression ($\Delta P = 4$ atm or $4.052 \cdot 10^5$ Pa) was studied for its effect on the behaviour responses of euphausiid species: *Euphausia gibboides*, *E. tenera*, *E. americana* and *E. pseudogibba*. Sudden changes in pressure were found to cause a decrease in the motion activity in the deep-water migratory species. Such an effect is supposed to be connected with the violation in natural regime of decompression.