

ПРОВ 98

Пров. 1980

ПРОВ 2010

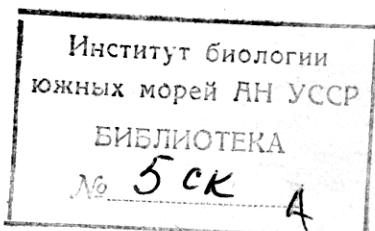
АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНСКОЙ ССР
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ ЮЖНЫХ МОРЕЙ
им. А. О. КОВАЛЕВСКОГО

Экология моря

РЕСПУБЛИКАНСКИЙ
МЕЖВЕДОМСТВЕННЫЙ СБОРНИК

Основан в 1980 г.

Выпуск 2



КИЕВ «НАУКОВА ДУМКА» 1980

7. Камшилов М. М. Определение веса *Calanus finmarchicus* Gunner на основании измерения длины тела. — Докл. АН СССР, 1951, 76, № 6, с. 945—948.
8. Ковалев А. В. Изменчивость и некоторые экологические особенности Copepoda черноморского планктонного комплекса в морях Средиземноморского бассейна: Автореф. дис. ...канд. биол. наук. — Л., 1967. — 17 с.
9. Ковалев А. В. Сезонные изменения веса копепод и вопрос определения их биомассы. — В кн.: Биология и распределение планктона южных морей. М.: Наука, 1967, с. 152—157.
10. Ковалев А. В. Изменчивость некоторых планктонных Copepoda (Crustacea) в морях Средиземноморского бассейна. — Биология моря, Киев, 1969, вып. 17, с. 144—197.
11. Новицкий В. П. Вертикальное строение водной толщи и общие черты циркуляции вод Черного моря. — Тр. Аз.-Черномор. НИИ мор. рыб. хоз-ва и океанографии, 1964, 23, с. 3—22.
12. Петипа Т. С. О среднем весе основных форм зоопланктона Черного моря. — Тр. Севастоп. биол. станции, 1957, 9, с. 39—57.
13. Петипа Т. С. О питании гипонейстонного рачка *Pontella mediterranea* Claus в Черном море. — Биология моря, Киев, 1969, вып. 17, с. 54—65.
14. Петипа Т. С. Изучение биологических закономерностей функционирования планктонных пелагических экосистем. — В кн.: Исследования биологических ресурсов и их охраны в южных морях. Киев: Наук. думка, 1977, с. 26—31.
15. Рокицкий П. Ф. Биологическая статистика. — Минск: Вышэйш. школа, 1973. — 320 с.
16. Сажина Л. И. Рост массовых копепод Черного моря в лабораторных условиях. — Биология моря, Киев, 1973, вып. 28, с. 41—51.
17. Стрелков Р. Б. Метод вычисления стандартной ошибки и доверительных интервалов средних арифметических величин с помощью таблиц. — Сухуми: Алашара, 1966. — 41 с.

Одесское отделение
Института биологии южных морей
им. А. О. Ковалевского АН УССР

Поступила в редколлегию
16.04.79

L. N. POLISHCHUK
**SIZE AND MASS CHARACTERIZATION
OF HYPONEUSTON COPEPODS OF THE FAMILY
PONTELLIDAE (COPEPODA) FROM DIFFERENT
BLACK SEA WATER AREAS**

Summary

Two species of the family Pontellidae, *Pontella mediterranea* Claus and *Anomalocera patersoni* Templeton, are shown to have local differences in their body size and mass in the summer-autumn period within the Black Sea regions of different living conditions (the north-western and south-eastern parts, the western halistase and the Bosphorus region). The smallest (lightest) individuals are confined to the north-western part, the largest (heaviest) ones are found in the western halistase and in the Bosphorus region. Differences in the body length (mass) in the individuals of one and the same species living in different regions of the sea indicate a relative population division into smaller modification groups. The point of view on a considerable effect of water temperature and salinity on the organism size and mass is confirmed.

УДК 595.34:591.173(213.5)

Л. С. СВЕТИЧНЫЙ
**О НЕКОТОРЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРАХ
ПАССИВНОГО ПОГРУЖЕНИЯ ТРОПИЧЕСКИХ КОПЕПОД**

Планктонные организмы, несмотря на малые размеры и значительную плотность морской воды, испытывают воздействие гравитационного притяжения и постоянно погружаются. Скорость пассивного погружения, а следовательно, и остаточная масса могут достигать у них таких величин, что они становятся одними из определяющих аутоэкологических факторов [4, 8]. Чтобы выяснить скорость пассивного погружения и плотность тела у тропических копепод, в 30-м рейсе НИС «Михаил Ломоносов» было поставлено 107 опытов на 27 видах и 20 опы-

тов для изучения влияния температуры воды на скорость погружения животных.

Скорость погружения измеряли по методике, примененной Ю. Р. Рудяковым [4]. Диаметр внутренней трубки используемого холодильника Либиха составлял 15 мм. В окружающем эту трубку стеклянном кожухе циркулировала поверхностная морская вода, температура которой при необходимости изменялась посредством термостата. Отрезок пути, на котором производились измерения, зависел от скорости и выбирался в пределах от 1 до 10 см с тем, чтобы время единичного измерения не превышало 1 мин. Увеличение измеряемого перемещения оказалось нецелесообразным, поскольку возростала вероятность соприкосновения рачков со стенками трубки. Чтобы уменьшить случайные воздействия среды, измерения повторяли от 3 до 12 раз (в среднем 5). Средняя квадратичная ошибка единичного результата не превышала 5%.

Плотность копепод определяли косвенно, по скорости их пассивного погружения [5]. При погружении в жидкости совокупность действующих на тело сил описывается уравнением динамического равновесия

$$\rho_0 W_g - \rho W_g - \xi S \rho \frac{v^2}{2} = 0, \quad (1)$$

где ρ_0 — плотность организма; ρ — плотность воды; W — объем особи; S — ее поперечное сечение; v — скорость пассивного погружения; g — ускорение свободного падения; ξ — коэффициент гидродинамического сопротивления. Первый член уравнения представляет собой силу тяжести планктона P , второй — выталкивающую силу P_1 , третий — равнодействующую силу полного гидродинамического сопротивления R .

Плотность организма определяется из уравнения (1)

$$\rho_0 = \rho \left(1 + \xi \frac{S}{W} \cdot \frac{v^2}{2g} \right). \quad (2)$$

Точность конечного результата в данном случае зависит от корректности определения ξ -, W - и S -характеристик, специфических для каждого вида. Их значения приведены в работах [6, 7] для копепод, сходных в морфологии с *Calanus helgolandicus*, *Paracalanus parvus*, *Rhincalanus cornutus*, *Centropages ponticus* и *Acartia clausi*, погружающихся в трубах при отношении ширины тела d к диаметру трубки D $d/D \approx 0,1$.

Плотность копепод, отличающихся от приведенных выше, определяли по скорости их пассивного погружения в двух жидкостях с различными физическими характеристиками. При обоих измерениях использовали одну и ту же морскую воду, взятую из места отлова рачков, но при различной температуре, а следовательно, и плотности.

В соответствии с (2) соотношения для определения ρ_0 копепод по этому методу такие:

$$\rho_0 = \rho_1 \left(1 + \xi_1 \frac{S}{W} \cdot \frac{v_1^2}{2g} \right), \quad (3)$$

$$\rho_0 = \rho_2 \left(1 + \xi_2 \frac{S}{W} \cdot \frac{v_2^2}{2g} \right). \quad (4)$$

Коэффициент сопротивления ξ , зависящий от числа Рейнольдса Re , где $Re = \frac{vL}{\nu}$ (L — определяющий размер организма, в данном случае наибольшая его ширина), представим как

$$\xi = \frac{c}{Re^n} = \frac{c\nu^n}{v^n L^n}, \quad (5)$$

Таблица 1

Скорость пассивного погружения v тропических копепоид, см·с⁻¹

Вид	Длина, мм	t , °C	Число особей	Скорость погружения			
				головой вниз, антенулы сло- жены		абдоменом вниз, антенулы расправ- лены	
				v	S_n^{**}	v	S_n
<i>Calanus carinatus</i> ♀	2,4—2,7	19	13	0,360	0,170	0,305	0,187
♂	2,7	19	2	0,522	0,092	—	—
<i>Calanus gracilis</i> ♀	3,3	28	2	0,93	0	—	—
<i>Calanus robustior</i> ♀	3,4—4,4	24	11	0,903	0,198	0,585	0,035
<i>Rhincalanus nasutus</i> ♀	5,0	20	2	—	—	0	0
<i>Undinula vulgaris</i> ♀	2,4—2,5	28	11	0,975	0,154	0,582*	0,072
♂	2,4	28	3	0,860	—	0,625*	0,021
<i>Fucalanus attenuatus</i> ♀	4,4	24	4	0,860	0,079	0,470	—
<i>Fuchaeta marina</i> ♀	3,0—3,6	25	4	—	—	0,435*	0,09
<i>Fuchirella curticauda</i> ♀	4,4	26	1	0,960	—	—	—
<i>Fuchirella</i> sp. ♀	2,7—4,0	28	4	—	—	1,064*	0,254
<i>Candacia pachidactyla</i> ♀	1,1—2,4	28	2	—	—	0,608	0,073
♂	1,1	28	1	—	—	0,810	—
<i>Pleuromamma abdominalis</i> ♂	2,7—3,3	26	2	—	—	0,821*	0,140
<i>Undeuchaeta plumosa</i> ♀	3,4	26	2	—	—	0,980	0
<i>Scolecitrix</i> sp. ♀	1,5—2,0	23	2	—	—	0,599*	0,100
<i>Haloptilus longicornis</i> ♀	2,1—2,3	26	3	—	—	0,057	0,024
<i>Pontellina plumata</i> ♀	1,7	23	1	—	—	0,375	—
<i>Gaetanus</i> sp. ♂	4,0	25	1	—	—	0,72 *	—
<i>Labidocera acutifrons</i> ♀	3,2—3,8	28	3	—	—	1,480	0,380
♂	2,7—2,9	28	4	—	—	1,096*	0,289
<i>Centropages violaceus</i> ♂	1,9	27	1	—	—	0,301	—
<i>Acartia negligens</i> ♀	1,1	26	—	—	—	104	—
<i>Acartia clausi</i> ♀	1,1—1,2	20	5	0,127	0,04	0,075	0,007
♂	1,1	20	6	0,175	0,056	0,078	—
<i>Oncaea venusta</i> ♂	1,1	23	2	0,288	0,083	0,078	—
<i>Corycaeus limbatus</i> ♂	1,5	23	1	0,171	—	—	—

* Ось симметрии располагалась перпендикулярно или под большим углом к направлению движения.

** Среднее квадратичное отклонение.

где s и n — безразмерные коэффициенты, первый определяет высоту расположения прямой $\xi = f(\text{Re})$ [6], второй — угол ее наклона. Общий член $\frac{S}{W}$ исключим из системы уравнений, подставив его из выражения (4) в (3). После преобразований относительно искомой величины получаем

$$\rho_0 = \frac{1 - \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^n \cdot \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{2-n}}{\frac{1}{\rho_1} - \frac{1}{\rho_2} \cdot \left(\frac{v_1}{v_1}\right)^n \cdot \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{2-n}}. \quad (6)$$

Значения показателя степени n , рассчитанные по данным [6] для исследованных копепоид, различались незначительно и оказались близкими к $n=1$ в условиях $d/D \approx 0,1$. Это обстоятельство позволило расширить видовой состав изучаемых организмов.

В момент пассивного состояния, которое у копепоид чередуется с активным, рачки парят с расправленными антеннулами. Анестезированные и умерщвленные особи обычно сохраняют такое же положение, однако под действием наркотиков нередко мускулатура органов локомоции сокращается, антеннулы прижимаются к телу и при пассивном погружении рачок поворачивается головой вниз. В связи с этим средние значения скоростей группировались отдельно для двух типов движения (табл. 1).

Средняя плотность тела копепод из тропической Атлантики

Вид	Длина, мм	Число особей	Плотность, г/см ³		
			максимальная	средняя	минимальная
Первый метод					
Calanus carinatus	2,6±0,2	10	1,0763	1,0538	1,0373
Calanus gracilis	3,3	2	—	1,0759	—
Calanus robustior	3,9±0,2	9	1,0584	1,0479	1,0404
Rhincalanus nasutus	4,5	2	—	1,0250	—
Undinula vulgaris	2,4	12	1,0857	1,0724	1,0606
Acartia clausi	1,1	10	1,1007	1,0709	1,0523
Второй метод					
Calanus carinatus	2,7	1	—	1,0485	—
Calanus robustior	3,9	1	—	1,0605	—
Gaetanus sp.	4,1	1	—	1,0599	—
Fuchirella venusta	5,0	1	—	1,0564	—
Fuchirella sp.	4,0	1	—	1,0778	—
Candacia pachydactyla	2,5	1	—	1,0841	—
Undeuchaeta plumosa	3,5	1	—	1,0830	—
Euchaeta marina	4,4	1	—	1,0711	—
Euchaeta marina	3,3	1	—	1,0713	—
Euchaeta marina Cop. V	2,5	1	—	1,0500	—
Undeuchaeta plumosa	3,5	1	—	1,0854	—
Pleuromamma abdominalis	2,7	1	—	1,0747	—
Undinula vulgaris	2,5	1	—	1,0887	—
Scolecitrix sp.	2,0	1	—	1,1296	—
Acartia negligens	1,2	1	—	1,0417	—

Поскольку данные о скоростях погружения используются для анализа процессов в натуре [4, 5, 10], необходимо определить репрезентативность результатов, полученных на обездвиженных особях. Очевидно, данные о пассивном погружении со сложенными антеннами, что не типично, могут быть применены только для косвенных расчетов. Напротив, сохранение всех особенностей положения органов локомоции и концевых опушенных щетин на них при пассивном погружении большинства обездвиженных рачков с расправленными антеннулами позволяет использовать эти данные для экологических расчетов, например, вертикального перемещения копепод. О том же свидетельствуют результаты киносъемки погружения живых особей в момент полного замирания и измерения у умерщвленных затем рачков. Так, скорости пассивного погружения у *Fuchirella* sp. в обоих случаях составили 0,66 см·с⁻¹.

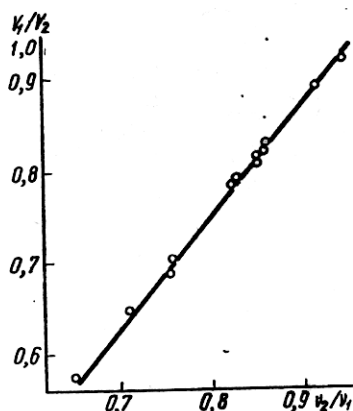
При сопоставлении полученных средних величин скоростей пассивного погружения выявилась их общая зависимость от размеров тела особей в пределах исследованной группы копепод. Рассмотрим этот вывод с позиции теории гидродинамики.

При установившемся движении, с учетом (1) и (5), при $n=1$ и $S = \frac{\pi d^2}{4}$ скорость погружения рачков $v = \frac{8 W g (\rho_0 - \rho)}{\pi c v \rho d}$. Выразив линейный размер организма через L , получаем $W \sim L^3$, $d \sim L$, откуда $v \sim \frac{L^2 (\rho_0 - \rho)}{c}$. Следовательно, выявленная в опытах зависимость v от

L возможна только тогда, когда диапазон изменения плотности рачков меньше диапазона квадратичного изменения их размеров. Как видно из табл. 2, при $\rho = 1,025$ г/см³ ($\rho_0 - \rho$) у рачков с отрицательной плавучестью изменяется в 10 раз, а L^2 — в 25.

Вместе с тем у отдельных видов отмечена способность значительно уменьшать свою плотность и скорость погружения, на это же обраща-

ется внимание в работе [4]. Функции гидростатического аппарата у копепод выполняют капли метаболического жира [2], но поскольку его запасы подвержены значительным сезонным [11] и суточным изменениям [3], можно предположить наличие соответствующих им изменений скоростей пассивного погружения. Действительно, диапазон изме-



Зависимость относительного изменения скорости пассивного погружения копепод от кинематической вязкости воды $\left(\frac{v_2}{v_1}\right)$. Прямая линия показывает теоретическую зависимость $\frac{v_1}{v_2}$

от $\frac{v_2}{v_1}$ и соответствующих $\frac{\rho_2}{\rho_1}$ по формуле (7) для копепод с $\rho_0 = 1,080$ г/см³. Параметры воды рассчитаны по таблицам Зубова [1]. Кружками обозначены экспериментальные результаты для копепод с $1,074 \leq \rho_0 \leq 1,088$ г/см³.

нений скорости у *S. carinatus* вдвое превышает таковой у *Undinula vulgaris*, не обладающих большими запасами жира. Как правило, у не способных накапливать жир видов скорости изменяются в узких пределах около характерной средней для данного возраста величины. Некоторые смещения флуктуаций скоростей погружения могут быть связаны с плотностными и температурными характеристиками воды.

Изменение скорости как следствие изменения температуры и соответствующей ей плотности воды можно записать в виде равенства

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{v_2 \rho_2 (\rho_0 - \rho_1)}{v_1 \rho_1 (\rho_0 - \rho_2)}, \quad (7)$$

которое вытекает из отношения (6) при $n=1$.

Данные, полученные экспериментально, как оказалось, хорошо согласуются со значениями $\frac{V_1}{V_2}$ (см. рисунок), рассчитанными по уравнению (7).

Плотность тропических каланид с отрицательной плавучестью изменялась в пределах 1,0373—1,129 г/см³ (см. табл. 2). Минимальные величины отмечены у *S. carinatus*, максимальные — у *Undinula vulgaris* и *Scolecitrix* sp. Наиболее широкий диапазон плотностей имеют виды, содержащие много запасного жира.

Таким образом, внутривидовые флуктуации скорости погружения и плотности тела, по-видимому, имеют характерные пределы, зависящие от особенностей обменных процессов в организме, например от сезонной и суточной динамики химического состава, толщины хитиновых покровов, а также, возможно, от состава и количества съеденной пищи [9].

1. Зубов Н. Н. Океанологические таблицы. — Л.: Гидрометеонаиздат. 1957. — 406 с.
2. Киселев И. А. Планктон морей и континентальных водоемов. — Л.: Наука, 1969. — Т. 1, 656 с.
3. Петипа Т. С. Суточный ритм расхода и накопления жира у *Calanus helgolandicus* (Claus) в Черном море. — Докл. АН СССР, 1964, 156, № 6, с. 1440—1443.
4. Рудяков Ю. А. Скорость пассивного вертикального перемещения планктонных организмов. — Океанология, 1972, 12, вып. 6, с. 1066—1071.
5. Степанов В. Н., Светличный Л. С. Динамический метод расчета некоторых параметров, связанных с биоэнергетикой морских пелагических ракообразных. — В кн.: Гидробиология и биогеография шельфов холодных и умеренных вод Мирового океана. Л.: Наука, 1974, с. 126—127.

6. Степанов В. Н., Светличный Л. С. Результаты исследования на моделях гидродинамического сопротивления некоторых видов Copepoda. — Биология моря, Киев, 1976, вып. 39, с. 42—46.
7. Степанов В. Н., Светличный Л. С. Методы определения объемов планктонных ракообразных. — Биология моря, Киев, 1976, вып. 39, с. 46—51.
8. Eyden D. Specific gravity as a factor in the vertical distribution of plankton. — Proc. Cambr. Phil. Soc. Biol. Sci., 1923, N 1, p. 49—55.
9. Gardiner A. C. Vertical distribution in *Calanus finmarchicus*. — J. Mar. Biol. Assoc. U. K., 1933, 18, N 2, p. 575—610.
10. Marshall S. M., Orr A. P. The biology of a marine copepod *calanus finmarchicus* (Gunnervus). — London, 1972. — 194 p.
11. Shildress S. S., Nygaard M. Chemical composition and buoyancy of midwater crustaceans as function of depth of occurrence of Southern California. — Mar. Biol., 1974, 27, N 3, p. 225—238.

Институт биологии южных морей
им. А. О. Ковалевского АН УССР

Поступила в редколлегию
21.03.78

L. S. SVETLICHNY

ON CERTAIN DYNAMIC PARAMETERS OF TROPICAL COPEPOD PASSIVE SUBMERSION

Summary

The passive submersion rate and the body mean density were measured for tropical copepod mass representatives, and the results obtained are given in the paper.

The organism submersion rate is revealed to be dependent on water temperature.

УДК 592:591.133.2.591.5(26)

З. А. МУРАВСКАЯ, Е. В. ПАВЛОВА, Г. Е. ШУЛЬМАН

О ПОТРЕБЛЕНИИ КИСЛОРОДА И ЭКСКРЕЦИИ АЗОТА У *CALANUS HELGOLANDICUS* (CLAUS) И *PONTELLA MEDITERRANEA* CLAUS

Изучение закономерностей потребления кислорода, экскреции азота и использования белка в энергетическом обмене у морских организмов имеет существенное значение для количественных расчетов, связанных с проблемой биологической продуктивности. На морских беспозвоночных, в основном на планктонных ракообразных, показано влияние различных факторов на указанные параметры [7—10, 19, 21—27].

У различных видов копепод уровни потребления кислорода и экскреции азота при одинаковых стандартных условиях в каких-то пределах являются сходными [1, 6, 17, 29]. В то же время на фоне общей закономерности зависимости обмена от размеров, отличия в величинах обмена у отдельных видов, объясняемые особенностями экологии и функциональной морфологии, очевидно, существуют. Выявлены различия в уровнях потребления кислорода [11], экскреции азота и соотношения обеих величин у растительноядных и хищных копепод [21]. У различных морских беспозвоночных, в том числе ракообразных, отмечена связь уровня экскреции азота и потребления кислорода с относительным содержанием белка в теле и двигательной активностью [7, 9].

Среди копепод наиболее тщательно изучали показатели обмена у калянусов. Виды рода *Pontella* менее исследованы, хотя составляют многочисленную группу планктонных ракообразных и отличаются от калянусов особенностями обитания, характером питания и поведения. Представляло интерес выяснить, как влияют экологические различия на уровни экскреции азота, потребления кислорода, состав тела и энергетическую роль белка в общем обмене у этих двух видов.