

ПРОВ. 1980

ПРОВ 98

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНСКОЙ ССР
ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ ЮЖНЫХ МОРЕЙ
им. А. О. КОВАЛЕВСКОГО

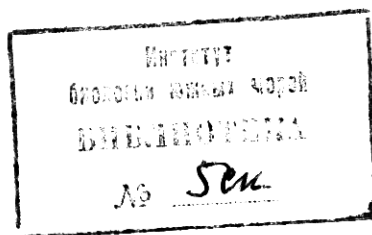
БИОЛОГИЯ МОРЯ

РЕСПУБЛИКАНСКИЙ
МЕЖВЕДОМСТВЕННЫЙ СБОРНИК

Основан в 1965 г.

Выпуск 39

ВОПРОСЫ ГИДРОБИОЛОГИИ ПЕЛАГИАЛИ
И ПРИБРЕЖНЫХ ВОД
ЮЖНЫХ МОРЕЙ



3. Загородняя Ю. А. Питание и миграции черноморского *Pseudocalanus elongatus* (Boeck) в зимний период.— Гидробиол. журн., 10, 5, 1974, 49—56.
4. Зубов Н. Н. Океанологические таблицы. Л., Гидрометеиздат, 1957, 406.
5. Петипа Т. С. О жировом обмене у *Calanus helgolandicus* (Claus) в экспериментальных условиях.— ДАН СССР, 1955, 2, 1964, 470—473.
6. Петипа Т. С. Суточный ритм расхода и накопления жира у *Calanus helgolandicus* (Claus) в Черном море.— ДАН СССР, 156, 2, 1964, 1440—1443.
7. Петипа Т. С. Суточный ритм в питании и суточные рационы *Calanus helgolandicus* (Claus) в Черном море.— Труды Севаст. биол. ст., XV, 1964, 69—93.
8. Рауэ Х. Механика жидкостей. М.—Л., Госэнергоиздат, 1958, 192—193.
9. Рудяков Ю. А. Скорость пассивного погружения пелагической остракоды *Cyprina sinuosa* (G. W. Muller) в связи с явлением суточных вертикальных миграций.— Океанология, 1972, 12, 5, 926—928.
10. Степанов В. Н., Светличный Л. С. Динамический метод расчета некоторых параметров, связанных с биоэнергетикой морских пелагических ракообразных.— Тез. симп. «Гидробиология и биогеография шельфов холодных и умеренных вод мирового океана», Л., «Наука», 1974, 126—127.
11. Степанов В. Н., Светличный Л. С. К расчету скорости пассивного погружения планктонных организмов.— Океанология, 1975, 15, 2, 321—324.

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

Поступила в редколлегию
28.V 1975 г.

УДК 578.087.8

В. Н. Степанов, Л. С. Светличный

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ НА МОДЕЛЯХ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ COPEPODA

Изучение *Copepoda* в гидродинамическом аспекте представляет большой интерес в связи с возможностью достоверной оценки эффективности движения, энергетических затрат и решения многих других вопросов биоэнергетики и функциональной морфологии мелких морских животных. Первой основной задачей является при этом определение закономерностей изменения гидродинамического сопротивления при различных режимах движения. Коэффициент гидродинамического сопротивления ξ , обычно используемый в безразмерной форме, прямо или косвенно связан с определением скорости активного и пассивного движения, удельного веса и объема отдельной особи (по скорости погружения или всплытия в жидкости с известными удельным весом и вязкостью) и других характеристик.

Следовательно, корректность расчетов многих физических характеристик копепод зависит от того, насколько обоснованно задаются параметры их гидродинамического сопротивления.

Исследований по сопротивлению движению копепод выполнено крайне мало. Можно отметить работы В. В. Шулейкина и его сотрудников [5] и У. Влимэна [6].

В [5] сделана оценка сопротивления моделей примерно соответствующих форме цефалоторакса *Paracalanus* и *Centropages*.

В [6] по результатам киносъемки активного движения *Labidocera trispinosa* получена эмпирическая формула сопротивления в зависимости от чисел Рейнольдса (Re). Результаты этих работ близки между собой. Фактически этими работами и ограничиваются специальные исследования сопротивления движению копепод.

В данной работе ставится задача методами гидродинамического моделирования изучать закономерности изменения гидродинамического сопротивления при движении шести видов копепод: *Calanus helgolandicus*, *Rhincalanus cornutus*, *Paracalanus parvus*, *Oithona nana*, *Acartia clausi*, *Centropages ponticus*.

В соответствии с данными А. В. Ковалева [1], Г. Н. Миронова [2], Ю. А. Рудякова [4] в наших исследованиях оценивался фактор различной ориентации тела копепод при движении. Либо рачки погружаются (или всплывают) со сложенными антеннами, с ориентированием головы в направлении движения (I тип движения), либо при расправленных антеннах тело рачка ориентируется абдоменом в направлении движения (II тип движения).

В основу наших экспериментов положен метод свободного падения твердого тела в жидкости. В отличие от опытов В. В. Шулейкина и др.

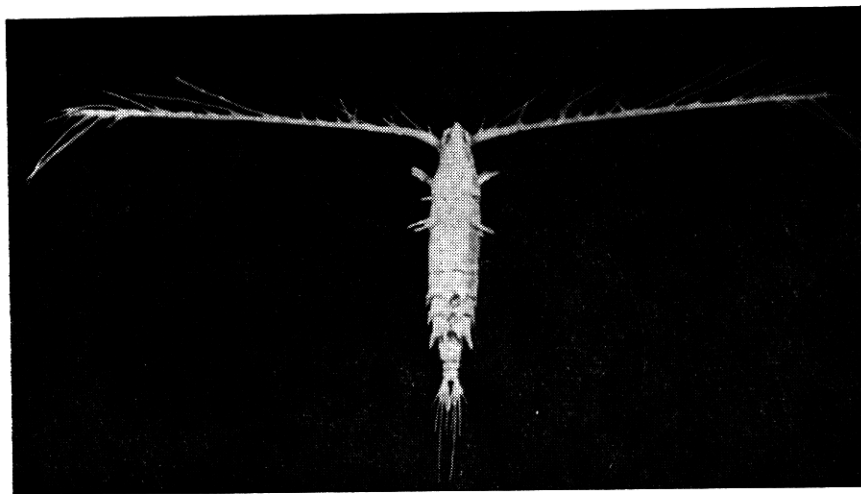


Рис. 1. Модель *Rhincalanus cornutus* в масштабе 25 : 1 (фотография).

(1939) нами использовались более совершенные модели и более вязкие жидкости — глицерин и его растворы, что позволило значительно расширить диапазон опытов по числам Рейнольдса вплоть до величин от 10^{-2} до 10^3 (наши расчеты показывают, что различные виды копепод в активном и пассивном режимах могут двигаться в области $5 \cdot 10^{-2} \leq Re \leq 2 \cdot 10^2$). Опыты В. В. Шулейкина охватывают область $7 \leq Re \leq 110$.

Модели изготовлялись из мягких сортов дерева в м-бе примерно 25 : 1, полировались и покрывались лаком (рис. 1), одна модель *Calanus helgolandicus* была изготовлена в м-бе 10 : 1 с целью оценки сопротивления при самых малых числах Рейнольдса (вплоть до $Re = 10^{-2}$). Заготовки обрабатывались с помощью бормашины, с соблюдением геометрического подобия и соответствия как общей формы, так и отдельных участков тела и наружных органов. Размеры тела и все особенности формы рачков устанавливали по живым и мертвым особям с помощью окуляр-микрометра под микроскопом. Использовались также данные из определителей.

При погружении модели в жидкость в условиях установившегося (квазиравномерного) режима движения уравнения баланса действующих на модель сил можно записать в следующем виде:

$$\gamma_0 W - \gamma W - \xi S \frac{\gamma v^2}{2g} = 0, \quad (1)$$

где γ_0 — удельный вес модели (изменялся с помощью мелких грузиков, которые помещались в брюшной полости модели и крепились на пластине); γ — удельный вес жидкости; W — объем модели; S — площадь поперечного сечения тела модели по цефалотораксу; v — скорость погружения; ξ — коэффициент гидродинамического сопротивления; g — ускорение силы тяжести.

В уравнении (1) первый член характеризует силу тяжести тела, второй — выталкивающую силу, третий — силу гидродинамического сопротивления.

Взвешивание модели в жидкости и в воздухе дает возможность записать удельный вес и объем ее так:

$$\gamma_0 = \gamma \frac{G}{G_0 - G}; \quad (2)$$

$$W = \frac{1}{\gamma} (G_0 - G), \quad (3)$$

где G_0 и G — вес модели в воздухе и в жидкости. Взвешивание производилось с помощью аналитических весов с точностью до 10^{-4} г.

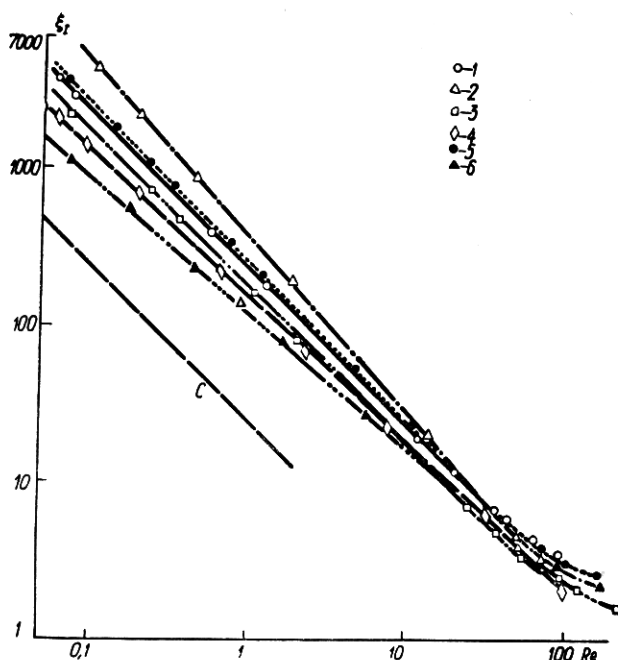


Рис. 2. Закономерности изменения гидродинамического сопротивления ξ_i копепода в зависимости от чисел Рейнольдса Re при движении со сложенными антеннами с ориентированием головы в направлении движения:
1 — *Acartia clausi*, 2 — *Oithona nana*, 3 — *Paracalanus parvus*, 4 — *Centropages ponticus*, 5 — *Rhincaianus cornutus*, 6 — *Calanus helgolandicus*, C — закон Стокса для шарика.

Влияние близости граничных поверхностей (т. е. стенок стеклянного цилиндра, в котором производились опыты) на увеличение сопротивления учитывалось путем введения поправочного коэффициента Факсена [3], который имеет вид

$$k = 1 + 2,1 \frac{d}{D}, \quad (4)$$

где d — диаметр модели по цефалотораксу, D — диаметр цилиндра.

С учетом этой поправки фактический коэффициент сопротивления будет определяться как

$$\xi = k \cdot \xi_0, \quad (5)$$

где ξ — коэффициент сопротивления, определяемый из опыта.

С учетом соотношений (2) — (5) из уравнения (1) получено выражение, которое использовалось при обработке опытных данных:

$$\xi = \{G_0 - (G_0 - G)^2\} \frac{2g}{Sv^2} \cdot \frac{D}{D + 2,1d} = f(Re), \quad (6)$$

где $Re = vd/\nu$ (ν — коэффициент кинематической вязкости жидкости).

Закономерности изменения коэффициентов гидродинамического сопротивления для всех опытов выявлялись относительно чисел Рейнольдса.

Результаты опытов представлены в виде графиков на рис. 2 и 3, где шкалы ξ и Re логарифмические. Каждая точка на графике является

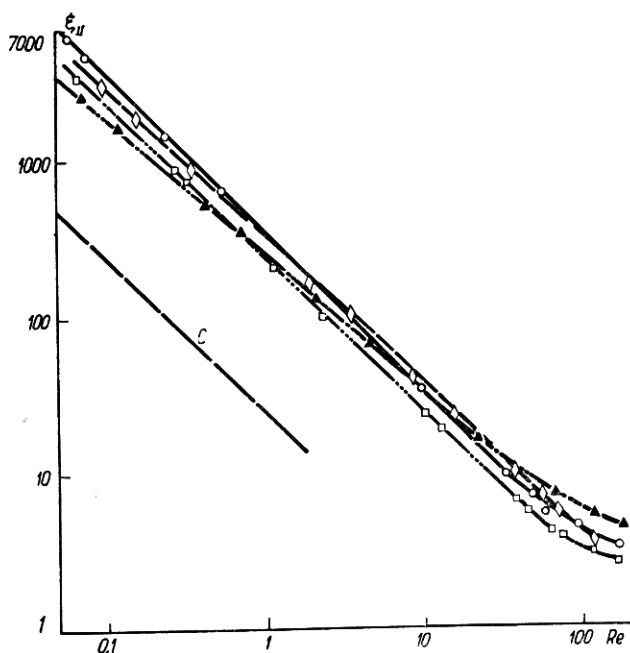


Рис. 3. Закономерности изменения гидродинамического сопротивления ξ_{II} копепоид в зависимости от чисел Рейнольдса Re при движении с расправленными антеннами с ориентированием abdomena в направлении движения.

Обозначения те же, что на рис. 2.

средневзвешенным значением, полученным в результате пяти — восьми пусков модели одного веса. Среднеквадратическая ошибка отдельного значения ξ не превышала 0,16.

Для большей наглядности на этих же графиках нанесены кривые, соответствующие закону Стокса для падающего в жидкости шарика (Рауз, 1958). Этот закон зачастую используется гидробиологами для расчетов некоторых характеристик пассивного вертикального перемещения планктонных организмов [4].

Анализ результатов исследований показывает, что для всех видов копепоид использование критериев сопротивления по Стоксу, например, для расчета скорости вертикальной миграции и энергетических затрат на движение, может приводить к недопустимым погрешностям. Как видно из графиков, фактическое сопротивление исследуемых рачков значительно превосходит стоксово сопротивление шарика при движении по типу I — не менее чем в 4 раза, при движении по типу II — не менее чем в 7,5 раза.

До сих пор исследователи не учитывали фактора различной ориентации тела копепоид при определении критериев сопротивления движе-

нию. Если сравнить для каждого типа движения коэффициенты гидродинамического сопротивления копепод (ξ_{II}/ξ_I) при одних и тех же числах Рейнольдса, то получим следующие цифры:

Копеподы	ξ_{II}/ξ_I
<i>C. ponticus</i>	2
<i>C. helgolandicus</i>	2
<i>A. clausi</i>	1,5
<i>P. parvus</i>	1,4

Эти данные весьма показательны, хотя в действительности отношение должно быть больше. Вероятно, живой рачок при необходимости увеличения сопротивления при пассивном погружении приводит в такое состояние систему опущения, чтобы обеспечить большее противодействие силе свободного падения под действием силы тяжести.

Полученные коэффициенты гидродинамического сопротивления для шести видов копепод можно использовать также в соответствующих расчетах скорости миграции и биоэнергетики для других представителей отряда Calanoida или других копепод с подобной формой тела.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ковалев А. В. Некоторые эколого-морфологические особенности гипонейстонных и планктонных Copepoda (Crustacea).— Экология, 1, 87—91, 1970.
2. Мионов Г. Н. Определение удельного веса планктонных организмов Черного моря. Реферат работ за 1940 г. Изд-во АН СССР. 1941, 213.
3. Рауэ Х. Механика жидкости. М.—Л., Госэнергоиздат, 1958, 192—193.
4. Рудяков Ю. А. Скорость пассивного вертикального перемещения планктонных организмов.— Океанология, 1972, 12, 6, 1066—1071.
5. Шулейкин В. В., Лукьянова В. С., Стась И. И. Сравнительная динамика морских животных.— ДАН СССР, 1939, 22, 7, 424—429.
6. Vignen W. Energy expenditure of swimming Copepods.— Limnology and Oceanography, 1970, 15, 3, 348—356.

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

Поступила в редколлегию
2.VI 1975 г.

УДК 578.087.73

В. Н. Степанов, Л. С. Светличный

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЕМА ПЛАНКТОННЫХ ОРГАНИЗМОВ

Знать объем отдельных особей необходимо при решении различных задач, связанных с определением биомассы, изучением биоэнергетики и миграций планктонных организмов. Известно, что в практике гидробиологических расчетов объем копепод определяется по номограммам Л. Л. Численко [2] или по формуле Т. С. Петипа [1]:

$$W = \frac{1}{6} \pi l d^2 + \frac{1}{4} \pi l_0 d_0^2, \quad (1)$$

где первый член правой части представляет эллипсоид вращения и характеризует объем цефалоторакса (l и d — продольный и поперечный размеры цефалоторакса); второй член характеризует объем абдомена, принимаемый приближенно за цилиндр (l_0 и d_0 — длина и диаметр абдомена).

Формула (1), как и номограммы Л. Л. Численко, которые построены по аналогичному принципу, дает заниженные значения объемов, так как