

ПРОВ. 1980

ПРОВ 98

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

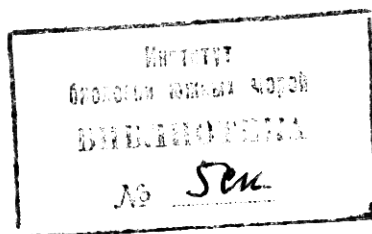
БИОЛОГИЯ МОРЕЯ

РЕСПУБЛИКАНСКИЙ
МЕЖВЕДОМСТВЕННЫЙ СБОРНИК

Основан в 1965 г.

Выпуск 39

ВОПРОСЫ ГИДРОБИОЛОГИИ ПЕЛАГИАЛИ
И ПРИБРЕЖНЫХ ВОД
ЮЖНЫХ МОРЕЙ



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. pagrus</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. Миронов Г. Н. Определение удельного веса планктонных организмов Черного моря. Реферат работ за 1940 г. Изд-во АН СССР. 1941, 213.
3. Рауз 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

не учитывает выступающие органы (антенны, ноги, концевые опушенные щетинки). Ввиду малых размеров планктонных организмов учет всех наружных органов в общем объеме особи весьма сложен и, как правило, не производится.

Цель нашей работы — рассмотреть возможные способы определения объема планктонных организмов, чтобы избежать недостатков применяемых в настоящее время методов и тем самым повысить точность расчетов.

МЕТОД, ОСНОВАННЫЙ НА АНАЛИЗЕ СООТНОШЕНИЙ ЛИНЕЙНЫХ РАЗМЕРОВ И ОБЪЕМОВ ТЕЛ

У любого живого организма существует вполне четкая функциональная связь между характерными линейными размерами тела и его объемом. Эта связь может быть выражена следующим образом: отношение фактического объема тела живого организма (W) и объема параллелепипеда (W'), определяемого произведением характерных линейных размеров тела, с небольшими отклонениями есть величина постоянная (в данном случае не учитывается индивидуальная изменчивость пропорций тела, которая у исследуемых организмов мала), т. е.

$$\frac{W}{W'} = \frac{W}{Lab} = k_w, \quad (2)$$

где L , a и b — длина, ширина и толщина тела, k_w — коэффициент полноты (коэффициент наполнения). В наших условиях принималось допущение $ab = d^2$, где d — диаметр цефалоторакса. Возможные незначительные несоответствия этого допущения эмпирически учитываются в коэффициенте k_w .

Коэффициент объемной полноты может определяться как относительно общей длины тела L планктонного рачка (абдомен+цефалоторакс)

$$k_w = \frac{W}{Ld^2}, \quad (3)$$

так и относительно длины цефалоторакса l

$$k'_w = \frac{W}{ld^2}. \quad (4)$$

Перейдем к изложению результатов определения коэффициентов полноты k_w и k'_w . Как уже упоминалось ранее, вследствие малых размеров и сложности форм планктонных организмов определение как объема, так и коэффициентов объемной полноты непосредственно по измерениям особей задача весьма сложная. Это обстоятельство вынуждает искать другие способы. Поставленная задача для некоторых видов планктонных ракообразных решалась нами подобно тому, как это делалось Ломаном [5], — с построением моделей растительного планктона.

По рисункам из определителей, а также по образцам живых и мертвых особей изготовлялись с допустимой точностью подобия и соответствия увеличенные модели шести видов планктонных рачков (см. рисунок). При изготовлении моделей обращалось внимание не только на строгое соответствие размеров и пропорций, но и на все основные особенности формы тела и выступающих органов. Размеры измерялись с помощью окуляр-микрометра под микроскопом.

Полный объем каждой модели определялся путем взвешивания ее в воде и в воздухе с последующим расчетом объема по формуле

$$W_M = \frac{1}{\gamma} (G_0 - G), \quad (5)$$

где G_0 и G — вес модели в воздухе и в воде, γ — удельный вес воды. Использование аналитических весов позволяет определять величины G_0 и G с точностью до 10^{-4} г. Коэффициенты объемной полноты затем для каждой модели вычислялись по формулам:

$$k_W = \frac{\Delta G}{\gamma L d^2}, \quad k'_W = \frac{\Delta G}{\gamma l d^2},$$

$$\Delta G = G_0 - G.$$

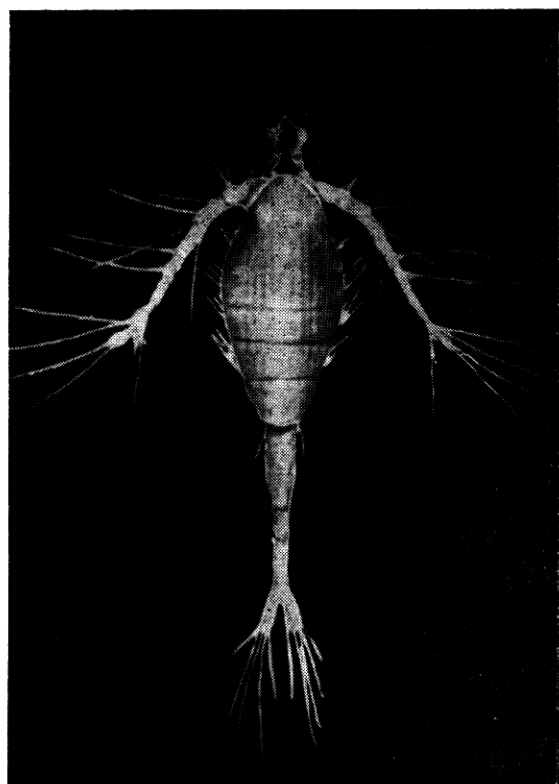
Так как масштабы линейных размеров по длине, ширине и толщине не искажались, то полученные значения коэффициентов k_W и k'_W одинаковы для модели и оригинала, а следовательно, по линейным размерам рачков можно определять их объемы по формуле

$$W = k_W L d^2, \quad (6)$$

или

$$W = k'_W l d^2. \quad (7)$$

В табл. 1 приведены полученные результаты расчета коэффициентов полноты для шести видов планктонных рачков. Наиболее высокие коэффициенты полноты у *Rhincalanus cornutus* (0,63 и 0,76), наиболее низкие — *Oithona nana* (0,276 и 0,516).



Модель *Oithona nana* в масштабе 25 : 1 (фотография).

МЕТОД, ОСНОВАННЫЙ НА ОПРЕДЕЛЕНИИ СКОРОСТИ ПОГРУЖЕНИЯ ОСОБИ В ЖИДКОСТИ

Этот метод основан на использовании законов динамического равновесия тела, перемещающегося по вертикали в жидкости с известными значениями ее удельного веса γ и вязкости ν . При установившемся режиме погружения (или всплытия) на тело рачка будут действовать такие силы: а) тяжести ($\gamma_0 W$); б) выталкивающая ($-\gamma W$); в) гидродинамического сопротивления $\left(-\xi S \frac{\gamma v^2}{2g}\right)$,

где γ_0 — удельный вес, ξ — коэффициент гидродинамического сопротивления, v — скорость погружения рачка, g — ускорение силы тяжести, S — площадь поперечного сечения по цефалотораксу, равная $\frac{1}{4} \pi d^2$ (следует

Таблица 1

Коэффициенты объемной полноты для некоторых видов планктонных организмов

• Вид	k_W	k'_W
<i>Calanus helgolandicus</i>	0,547	0,717
<i>Rhincalanus cornutus</i>	0,630	0,760
<i>Paracalanus parvus</i>	0,495	0,642
<i>Centropages ponticus</i>	0,484	0,645
<i>Acartia clausi</i>	0,490	0,650
<i>Oithona nana</i>	0,276	0,516

иметь в виду, что некоторое несоответствие фактической формы поперечного сечения с круглым сечением учитывается эмпирически в опытном коэффициенте сопротивления ξ).

Из уравнения равновесия указанных выше сил, т. е. при сумме действующих сил, равной нулю, можно получить выражение объема в виде

$$W = A \frac{\xi \pi d^2 v^2}{8g}, \quad (8)$$

где $A = \frac{\gamma}{\gamma_0 - \gamma}$.

Рабочий вид этой формулы

$$W = 0,0004 \xi d^2 v^2 A \text{ см}^3. \quad (9)$$

Закономерность изменения коэффициента сопротивления ξ может быть выражена в общем виде в зависимости от числа Рейнольдса Re как

$$\xi = c \cdot Re^n, \quad (10)$$

где $Re = \frac{vd}{\nu}$, ν — кинематическая вязкость жидкости, c и n — константы, определяемые опытным путем. Известно, что для шарика при $Re < 1$ $c = 24$ и $n = 1$. Результаты исследований у Влимэна [4] и В. В. Шулейкина с сотрудниками [3] показали, что для планктонных рачков можно принимать также $n \approx 1$, но величина c для каждого вида строго индивидуальна. У Влимэна для *Labidocera trispinosa* получено $c = 82,5$. Данные Шулейкина для тел, близких по форме к *Centropages* и *Paracalanus*, примерно совпадают с данными Влимэна.

По коэффициентам сопротивления накоплено еще крайне мало данных и в дальнейшем потребуются специальные исследования для большого числа видов планктонных организмов.

МЕТОД, ОСНОВАННЫЙ НА ОПРЕДЕЛЕНИИ СКОРОСТИ ПОГРУЖЕНИЯ ОСОБИ В ДВУХ ЖИДКОСТЯХ

В основу этого метода положено измерение скорости погружения v_1 и v_2 особи в двух жидкостях с соответствующими характеристиками (γ_1 , ν_1 и γ_2 , ν_2). При этом методе лучше всего брать за основу одну жидкость (например, морскую воду). Подогревая или охлаждая ее, можно получить два варианта условий, с различными значениями γ и ν , не меняя концентрации раствора, что могло бы повлиять на удельный вес рачков.

Согласно выражению (9) для погружения одной и той же особи в двух жидкостях можно записать такие соотношения:

$$W = 0,0004 \xi_1 v_1^2 A_1 d^2, \quad (11)$$

$$W = 0,0004 \xi_2 v_2^2 A_2 d^2. \quad (12)$$

Считаем, что удельный вес рачка не известен. В системе из двух уравнений эта величина легко исключается путем подстановки ее из одного уравнения в другое. С учетом выражения (10) при $c = 82,5$, по Влимэну, можно получить следующую формулу для расчета объема рачка этим методом:

$$W = 0,033d \frac{\eta_2 - \eta_1}{\gamma_1 - \gamma_2}, \quad (13)$$

где $\eta = v_1 \gamma_1 \nu_1$, $\eta = v_2 \gamma_2 \nu_2$.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

На примере *Paracalanus parvus* сравнивались различные методы расчета объема отдельных особей (табл. 2). По формуле (1) Т. С. Пети-типа [1] в сравнении с нашими формулами (6) и (7), в которых коэф-

коэффициенты k_w и k'_w принимались по табл. 1, для всех рассматриваемых случаев значения объемов заниженные на 17—18%. Что касается результатов, полученных по методу определения скорости погружения рачков в жидкости, то здесь расхождение с формулой (1) несколько больше: при определении скорости погружения в двух жидкостях расхождение составило 20—23%, в одной — изменялось в пределах от 17 до 28%.

Таблица 2

Объемы отдельных особей *Paracalanus parvus*, рассчитанные различными методами

Размеры, мм				Объем, мм ³				
L	e	d	d ₀	по формуле Т. С. Петипа (1)	с использованием коэффициентов объемной полноты		по скорости погружения особи в одной жидкости (8)	по скорости погружения особи в двух жидкостях (13)
					(6)	(7)		
1,07	0,82	0,30	0,1	0,0456	0,0477	0,0475	0,0509	0,0495
1,08	0,83	0,30	0,1	0,0411	0,0481	0,0481	0,0480	0,0501
1,15	0,9	0,35	0,1	0,0595	0,0698	0,0702	0,0742	0,0702
1,10	0,85	0,35	0,1	0,0564	0,0667	0,0670	0,0727	0,0689

Таблица 3

Сопоставление объемов некоторых видов планктонных организмов, полученных по таблицам Л. Л. Численко и по формулам (6) и (7)

Вид	Размеры, мм		Номер формы по таблицам Численко	Объем, мм ³	
	L	d		по данным Численко	по формулам (6) и (7)
O. pana	0,51	0,14	5	$4,0 \cdot 10^{-3}$	$2,6 \cdot 10^{-3}$
A. clausi	1,20	0,25	8	$3,2 \cdot 10^{-2}$	$3,6 \cdot 10^{-2}$
C. ponticus	1,18	0,30	9	$4,6 \cdot 10^{-2}$	$5,1 \cdot 10^{-2}$
P. parvus	1,10	0,35	10	$5,2 \cdot 10^{-2}$	$6,9 \cdot 10^{-2}$
R. cornutus	2,55	0,55	14	$2,6 \cdot 10^{-1}$	$4,8 \cdot 10^{-1}$
C. helgolandicus	3,05	0,70	15	$6,7 \cdot 10^{-1}$	$8,0 \cdot 10^{-1}$

В табл. 3 приводятся результаты расчетов объема некоторых видов планктонных рачков по таблицам и номограммам Л. Л. Численко, которые сравниваются с нашими расчетами. В целом, по Численко, как и по Петипа, получаются заниженные результаты (исключение по Численко составило значение объема для O. pana, так как ее форма у автора не соответствует действительной). Это объясняется тем, что названные авторы не учитывали выступающих органов и специфических особенностей формы отдельных видов планктонных организмов.

По нашему мнению, для определения объемов планктонных организмов лучше всего использовать метод, основанный на применении коэффициентов объемной полноты k_w и k'_w и формул (6) и (7). Этот метод очень прост, удобен и обеспечивает достаточно высокую точность результатов. Но для более широкого его применения необходимо дальнейшее накопление данных по коэффициентам объемной полноты для широкого класса планктонных организмов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Петипа Т. С. О среднем весе основных форм зоопланктона Черного моря.— Труды Севаст. биол. станции, 9, 1957, 37—57.
2. Численко Л. Л. Номограммы для определения веса водных организмов по размерам и форме тела. Л., «Наука», 1968.

3. Шулейкин В. В., Лукьянова В. С., Стась И. И. Сравнительная динамика морских животных.— АН СССР, 1939, 22, 7, 348—356.
4. Vlymen W. Energy expenditure of swimming Copepods.— Limnology and Oceanography, 1970, 15, 3, 348—356.
5. Lohmann H. Untersuchungen zur Feststellung des vollständigen Gehaltes des Meeres an Plankton.— Wiss. Meeresuntersuch., Kiel, Abt. 10, 1908, 131—370.

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

Поступила в редколлегию
2.VI 1975 г.

УДК 582.261 : 581.543.

А. М. Р о щ и н

СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СТРУКТУРЫ ПОПУЛЯЦИИ ДИАТОМОВОЙ ВОДОРОСЛИ COSCINODISCUS JANISCHII A. S. В КАРАДАГСКОЙ БУХТЕ ЧЕРНОГО МОРЯ

При изучении онтогенетического цикла *Coscinodiscus janischii* в клоновой культуре [3] были отмечены две особенности: во-первых, средний диаметр клеток, образующихся из ауксоспор, составлял 275—293 мкм, тогда как в планктоне Черного моря клетки этого вида достигают 427 мкм в диаметре [1]. Во-вторых, в промежутке между двумя последовательными ауксоспорообразованиями, при диаметре клеток 230—260 мкм, наблюдалось образование оогониев, которые не превращались в ауккоспоры, так как мужских половых клеток не было. На основании этих данных предполагалось, что в планктоне моря возможно оплодотворение таких оогониев сперматозоидами, образующимися в мелких сперматогонангиях диаметром 150—180 мкм и возникновение более крупноклеточной субпопуляции.

Для выяснения этого вопроса и получения более полного представления о жизни вида в море было проведено изучение изменений состава популяций *C. janischii* на протяжении года. С этой целью регулярно, по возможности два раза в месяц, брали пробы планктона малой сетью Джеди в Карадагской бухте с глубины 20 м и измеряли диаметр случайно выбранных 200 клеток *C. janischii*. Клетки распределяли по величине диаметра с интервалами 10 мкм. Результаты представлены на рисунке.

1 августа 1972 г. вид был представлен двумя размерными группами: мелкоклеточной с клетками диаметром 200—280 мкм, и крупноклеточной — 300—400 мкм. Эти группы сохранялись и в дальнейшем, причем в августе—сентябре относительная численность мелкоклеточной группы снижалась, а крупноклеточной — возрастала. 1 августа отношение этих групп составляло 2 : 1, а 18 сентября — примерно 1 : 4. В октябре—декабре наблюдалось медленное возрастание относительной численности мелкоклеточной группы и уменьшения крупноклеточной. К началу февраля 1973 г. в структуре популяций произошли большие изменения: крупноклеточная группа почти полностью исчезла. За прошедший зимний месяц крупные клетки не могли измельчать за счет вегетативных делений настолько, чтобы влиться в мелкоклеточную группу. Более вероятно, что большая часть крупноклеточной группы в нашем районе моря погибла. В работе с культурами неоднократно отмечалось, что крупные клетки *C. janischii* очень чувствительны к понижениям температуры. Но какая-то часть крупноклеточной группы все-таки сохранилась, хотя вплоть до второй половины июня преобладающей оставалась мелкоклеточная.