

ПРОВ 2010

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

БИОЛОГИЯ МОРЕЯ

РЕСПУБЛИКАНСКИЙ МЕЖВЕДОМСТВЕННЫЙ СБОРНИК

Основан в 1965 г.

ВЫПУСК 37

ПРОДУКЦИЯ И МЕТАБОЛИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ
У МОРСКИХ ОРГАНИЗМОВ

Институт биологии
южных морей АН УССР

БИБЛИОТЕКА

№ 12

КИЕВ «НАУКОВА ДУМКА» 1976

Параметры уравнений зависимости энергетического обмена от массы тела

Вид	n	T °C	S_y	S_x	r	S_a	a	a(25°)	a(20°)	$k \pm S_k$
Морской карась	14	22,9	0,46	0,62	0,962	0,052	0,234	0,268	0,177	$0,76 \pm 0,022$
Морской петух	4	21,2	0,28	0,42	0,868	0,086	0,359	0,596	0,322	$0,78 \pm 0,034$
Спинорог	9	27,7	0,68	0,76	0,986	0,060	2,299	1,963	1,289	$0,64 \pm 0,056$
Прилипала	6	24,8	0,32	0,40	0,842	0,082	0,365	0,374	0,246	$0,94 \pm 0,044$

Примечание: n — число рыб в опытах; S — стандартное отклонение; $y = \lg Q$; Q — обмен в мл $O_2/экз \cdot ч$; $x = \lg W$; W — масса рыбы в г; r — коэффициент корреляции; $a = Q$ при $W = 1$; $Q = aW^k$; S_a — стандартное отклонение коэффициента; S_k — стандартное отклонение показателя степени.

Экологически обусловленные различия обмена у рыб (Clausen, 1936; Fry, 1957; Карпевич, 1958; Липская, 1972), относящиеся к активному обмену, сказываются на интенсивности основного и стандартного обмена. Уменьшение интенсивности обмена с возрастанием размеров тела, позволяет более подвижным рыбам экономнее расходовать энергию как на основной, так и на активный обмен.

Общее уравнение, рассчитанное для четырех видов рыб, исследованных в данной работе, при 20° имеющее вид $Q = 0,321 W^{0.87}$, почти полностью совпадает с нашими прежними результатами (Белокопытин, 1968). Уравнение, полученное для черноморских рыб массовых видов (кефаль, смарида, султанка, морской ерш), выглядит так: $Q = 0,322 W^{0.78}$. Коэффициенты a в обоих уравнениях одинаковы, однако зависимость обмена от массы у тропических рыб выражена меньше, чем у черноморских.

ЛИТЕРАТУРА

Белокопытин Ю. С. Уровень основного обмена у некоторых морских рыб. — *Вопр. ихтиол.*, 1968, т. 8, вып. 2 (49).

Винберг Г. Г. Интенсивность обмена и пищевые потребности рыб. Минск, Изд-во Белорусского ун-та, 1956.

Карпевич А. Ф. Потребление кислорода морскими рыбами при различном их физиологическом состоянии. — *Вопр. ихтиол.*, 1958, № 10.

Липская Н. Я. Зависимость обмена от веса тела у тропических рыб разных экологических групп. — В кн.: *Энергетические аспекты роста и обмена водных животных (Материалы симпозиума)*. К., «Наукова думка», 1972.

Clausen R. G. Oxygen consumption in fresh water fishes. — *Ecology.*, 1936, v. 17.

Fry F. E. J. The aquatic Respiration of fish. Chapter 1: Part 1, pp. 1—63. — In: Brown M. E., *The Physiology of fishes*. v. 1, New York, Academic Press, 1957.

Институт биологии южных морей,
АН УССР, Севастополь

Поступила в редколлегию
23.I 1975 г.

В. Д. Б р а й к о

ПОТРЕБЛЕНИЕ КИСЛОРОДА ПОПУЛЯЦИЕЙ БАЛЯНУСОВ (BALANUS IMPROVISUS) НА ПРОТЯЖЕНИИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

Балянусы — основные организмы ценоза обрастания, наиболее многочисленны на первых стадиях развития сукцессии. Они обуславливают следующие изменения в сообществе, определяя в нем ряд межвидовых взаимоотношений.

Для понимания отдельных моментов симфизиологических связей в обрастании предпринято изучение характера потребления кислорода «чи-

стой» популяцией усоногих, начиная от момента их оседания до достижения предельных размеров, с учетом особенностей этого процесса, связанного с изменением условий окружающей среды и физиологического состояния. Для прикрепленных организмов, особенно таких как баянусы, выяснение интенсивности дыхания естественных поселений приобретает особый смысл, поскольку «стайное» оседание их биологически оправдано, являясь необходимым условием для сохранения вида.

Результаты по дыханию баянусов в норме послужат основой для определения реакции их к действию различных ядов, применяемых в составе противообрастающих покрытий.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Наблюдения проводились на популяции баянусов (*Balanus improvisus*) осенней генерации, представленной в виде четырех отдельных поселений, сформировавшихся на стеклянных пластинках, установленных в Севастопольской бухте в октябре 1973 г. Чтобы в дальнейшем отдельные особи не препятствовали росту друг друга, часть их сразу же была удалена.

Потребление кислорода рачками измерялось ежедекадно, начиная с конца 1973 и в течение 1974 г.

Перед опытом баянусов тщательно отмывали от детрита, растительного сообщества и вновь осевших обрастателей. Удаляли с пластин также особи, заметно отстающие в росте. Поселения усоногих имели отдельные номера, что позволяло каждый раз помещать их в соответствующий респирометр. В качестве последних использовали литровые банки, которые устанавливали на проточном столе для поддержания в опыте постоянной температуры и затемняли, чтобы исключить возможность фотосинтеза за счет оставшихся диатомовых. Продолжительность экспериментов в летний период не превышала 2 ч, в условиях низких температур — 4 ч. При выборе экспозиции исходили из того, чтобы содержание кислорода в воде не снижалось более чем на 30% к исходному. Определяли его методом Винклера.

Опыты начинались в одно и то же время суток — первой половине дня при естественной температуре обитания животных. Ставили две или три повторности, как окончательный результат брали среднюю величину. Затем баянусов взвешивали на аналитических весах (вместе с пластиной известной массы), под биноклем измеряли и определяли состояние зрелости основной массы рачков в популяции. Образцы в тот же день вывешивали в море.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Потребление кислорода баянусами на протяжении жизненного цикла проходило неравномерно (рис. 1). Только что осевшие рачки дышали сравнительно интенсивно, что обусловлено аллометрическим ростом домика, наиболее заметным в первый месяц прикрепленного образа жизни. За это время баянусы достигли размеров 5—6 мм (диаметр у основания). Однако по сравнению с весенне-летним периодом, когда рачки за 30 дней увеличивали длину основания раковины до 7—8 мм, а иногда — 10 мм, баянусы осеннего оседания несколько отставали в росте, что, по всей вероятности, явилось результатом неблагоприятных кормовых условий и термического режима моря.

Заметим, что баянусы, осевшие в октябре, предельных размеров (10—12 мм) достигли к лету следующего года. Можно полагать, что потенциальная возможность протекания различного рода физиологических процессов у особей осенней и летней генераций неодинакова и есть результат различия в количестве доступного субстрата, используемого в окислительно-восстановительном цикле.

В последующие месяцы, декабре, январе, баянусы дышали слабо, что совпало с минимальной за весь период исследований температурой воды в море, которая, как известно (Ивлева, 1972), определяет скорость метаболизма пойкилотермных животных.

Однако, начиная с февраля, скорость дыхания баянусов возрастает. По мере их роста и достижения половозрелости, несмотря на постоянное увеличение массы и размеров рачков, в отдельные этапы существования популяции, начали отмечаться большие или меньшие отклонения от известного хода направленности обменных процессов. Особенно часто они стали проявляться по мере достижения усонгими предельных размеров.

В этот период рачки массой 300—400 мг и диаметром раковины 10—11 мм, потребляли столько же кислорода, как и в момент, когда масса их не достигала 300 мг (рис. 1).

Резкие изменения в дыхании баянусов определялись стадией зрелости, а также преобладанием в их половом цикле зрелых мужских или женских гамет. Так, если основная масса особей в популяции содержала яйца на четвертой-пятой стадиях развития, поглощение кислорода резко возрастало; в случае доминирования рачков, содержащих зрелую сперму, заметно уменьшалось, тогда как масса баянусов за счет огромной массы сперматозоидов, заполняющих весь домик, увеличивалась (табл. 1). Обусловлено это различной долей участия в обменных процессах яиц и сперматозоидов. Установлено (Н. Barnes, M. Barnes, 1959; Н. Barnes, 1962), что сперматозоиды утилизируют в десятки раз меньше кислорода, чем яйца, даже самых ранних стадий развития.

В табл. 1 стадия сперматогенеза не указана, так как начало формирования спермы через подошву домика определить не удастся, хотя сперматогенез и овогенез в одной и той же особи постоянно имеет место.

Более низкие величины дыхания, отмеченные у популяций баянусов в августе, объясняются заметным снижением трат энергии на рост домика, а также, наряду с различием в стадии зрелости, общим спадом размножения. В этот период большинство рачков в поселениях находилось на стадии овуляции. Затухание процесса продуцирования яиц, приуроченное к середине лета, отмечается постоянно, как результат грибкового поражения развивающихся эмбрионов, что приводит к резорбированию последних (Ржепишевский, Артемчук, 1970). Поэтому ежегодно в августе, реже в сентябре (самое теплое время года), численность личинок усонгих в планктоне заметно снижается (Брайко, Долгопольская, 1970).

Отмеченные особенности морфогенеза баянусов привели к тому, что результаты по дыханию их на протяжении жизненного цикла сильно колеблются, хотя известная тенденция к увеличению потребления кислорода с возрастанием массы рачков сохраняется. Это позволило связать обмена и массы выразить степенной функцией:

$$Q = aW^k,$$

где Q — скорость дыхания в мл O_2 экз⁻¹.ч⁻¹;

W — сырая масса рачков в г;

a и k — коэффициенты, рассчитанные методом наименьших квадратов.

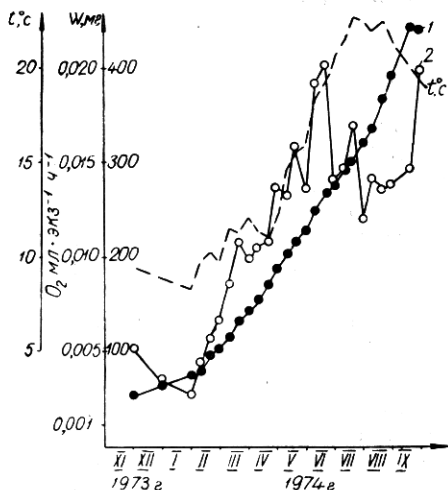


Рис. 1. Изменение массы (1) и потребления кислорода (2) популяцией баянусов на протяжении жизненного цикла.

Таблица 1

Потребление кислорода баянусами в зависимости от массы и состояния зрелости
(при температуре опыта)*

Месяцы	Декады	Т °С воды	Сырая масса, г	Потребление $O_2 \cdot \text{мл} \cdot \text{экз}^{-1} \cdot \text{ч}^{-1}$	Стадия зрелости яиц **	Размеры, мм (мин.—макс.)
1973 г.						
XI	I—III	9,4	0,0539	0,0051	Н	5,0—6,0
XII	I—III	8,9	0,0675	0,0037	Н	6,0—7,0
1974 г.						
I	I—III	8,3	0,0772	0,0027	Н	6,0—7,0
II	I	9,8	0,0848	0,0041	Ов	6,0—8,0
	II	10,3	0,0940	0,0057	Ов	6,1—8,0
	III	9,7	0,1026	0,0066	Ов	6,5—8,1
III	I	11,5	0,1147	0,0086	Ов	6,5—8,3
	II	11,2	0,1316	0,0107	Ов	6,5—8,5
	III	12,0	0,1417	0,0098	Ов	7,0—8,7
IV	I	11,3	0,1515	0,0104	I—II	7,2—8,7
	II	11,1	0,1709	0,0107	I—III	7,0—9,0
	III	12,2	0,1875	0,0136	IV—V	7,5—9,8
V	I	14,6	0,2088	0,0132	II—III	—
	II	15,4	0,2158	0,0158	IV—V	—
	III	15,9	0,2277	0,0130	I—II	—
VI	I	18,3	0,2493	0,0191	IV—V	—
	II	19,3	0,2652	0,0201	II—III	—
	III	20,7	0,2755	0,0137	Ов	—
VII	I	21,4	0,2910	0,0145	I—II	8,0—11,0
	II	22,7	0,2988	0,0169	IV—V	8,1—11,0
	III	22,5	0,3293	0,0118	С	8,2—11,0
VIII	I	21,9	0,3322	0,0140	Ов	8,9—11,2
	II	22,4	0,3675	0,0135	Ов	8,9—11,2
	III	21,4	0,3913	0,0137	Ов	10,0—11,5
IX	II	20,1	0,4462	0,0146	I—II	10,0—11,8
	III	19,2	0,4474	0,0198	II—III	11,8

* Каждое значение представляет среднюю величину для четырех поселений баянусов.

** Условные обозначения: Ов — овогенез, С — зрелая сперма, Н — неполовозрелые особи,
(—) — нет данных.

На основании имеющихся у нас материалов по дыханию баянусов всего размерного ряда, измеренному манометрически (на приборе Варбурга) при 20° С, рассчитаны вспомогательные множители (q), по которым данные за весь период наблюдений, полученные для популяций при разных температурах, приведены к 20° С. Все значения для отдельных поселений рачков оказалось возможным объединить и вывести общее уравнение.

В числовой форме обмен у баянусов соотносится с массой следующим образом:

$$Q = 0,024W^{0,311} \quad (1)$$

Коэффициент корреляции между $\lg Q$ и $\lg W$, вследствие значительного разброса точек составил: $r = 0,518$ (рис. 2).

Если материалы, относящиеся к периоду снижения репродуктивной способности животных (за август), исключить, уравнение приобретает вид:

$$Q = 0,039W^{0,536 \pm 0,067} \quad (2)$$

Выявленные различия в уровне обмена, а также степени зависимости его от массы, наглядно показывают, как важно при подобного рода исследованиях располагать соответствующей информацией за весь жизненный цикл вида с учетом всех особенностей его метаболизма.

Наблюдения по дыханию отдельных особей баянусов, проводившиеся в течение марта — июля, а также сентября 1973 г. (дыхание измерялось на Варбурге), и рассчитанная по этим результатам скорость обмена описывалась уравнением:

$$Q = 0,045W^{0,602 \pm 0,071} \quad (3)$$

Оба коэффициента в уравнениях (2) и (3), т. е. тех, где отсутствуют данные за август, оказались сходными, — ошибка определения k (S_k)

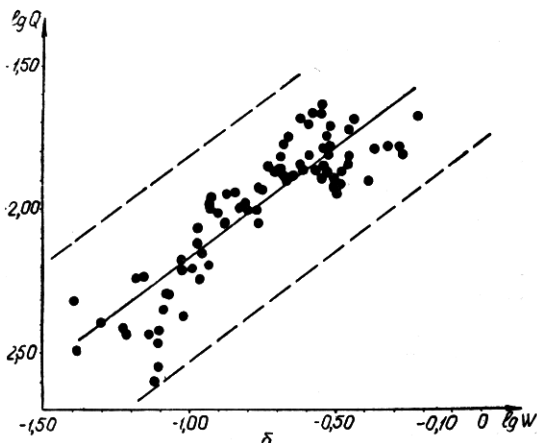
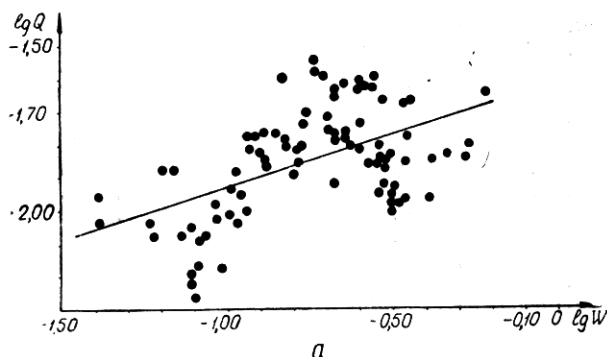


Рис. 2. Зависимость скорости обмена (Q) от массы (W) у баянусов при 20°C (а) и температуре обитания животных (б).

превышала имеющиеся различия между значениями k в указанных уравнениях. Однако неоднотипность используемых методик не дает оснований сделать вывод о скорости обмена баянусов в зависимости от того, находятся они в популяции или в виде отдельных особей, хотя, как видно из уравнений, у рачков, в поселениях намечается тенденция к уменьшению интенсивности газообмена.

Наряду с результатами по обмену баянусов, рассчитанными при 20°C , была определена скорость этого процесса при температуре обитания рачков в море, начиная от момента их оседания до достижения предельных размеров. На первый взгляд такой подход, казалось бы, лишен основания, поскольку на многих видах животных показано, что температура заметно влияет на процесс метаболизма. Тем не менее применительно к популя-

ции баянусов, определение уровня обмена по исходным величинам, без приведения их к 20°C , правомерно и, по всей вероятности, точнее передает сущность исследуемого явления.

В пользу этого свидетельствует экологическая характеристика *B. improvisus*. Это эвритермный вид, рост и созревание половых продуктов происходит у него в широком диапазоне температур. Так, в Северной Каролине этот вид размножается зимой при температуре $5,5\text{—}11^\circ\text{C}$, максимум отмечается в январе при 7°C (Dougal, 1943). В Каспийском море (Зевина, 1972) и районе Ньюфаундленда (Bousfield, 1955) он нерестится при $10\text{—}30^\circ\text{C}$.

Более того, результаты экспериментов К. С. Арбузовой (1957) по дыханию *Balanus improvisus* Черного моря свидетельствуют, что потребление кислорода не зависит от температуры воды и во все сезоны года одинаково.

Как показали многолетние наблюдения за содержанием личинок обрастателей в планктоне Севастопольской бухты и интенсивностью их оседания, оптимальные условия для созревания и размножения *B. improvisus*

находятся в пределах 10—19° С (при этих температурах сделано большинство определений). Более высокие температуры воды неблагоприятно сказываются на жизнедеятельности баянусов, способствуя, как уже отмечалось, возникновению грибковой эпизоотии.

Поэтому не случайно, что скорость обмена у баянусов при температуре обитания оказалась выше, чем при 20° С (в обоих случаях учитывались все экспериментальные данные). Уравнение зависимости обмена от массы приняло вид:

$$Q = 0,038W^{0,747}. \quad (4)$$

Коэффициент корреляции (r) между $\lg Q$ и $\lg W$ составил 0,854 (табл. 2). Экспериментальные точки располагались ближе к прямой, крайние отклонения от расчетной линии регрессии не выходили за пределы $2S$ (см. рис. 2).

Т а б л и ц а 2

Параметры степенных уравнений, связывающих обмен и массу баянусов

n	S_y	S_x	r	S_a	$\lg a$	a	$k \pm S_k$	Примечания
87	0,159	0,264	0,518	0,136	-1,6246	0,024	$0,311 \pm 0,055$	При 20 °С
67	0,171	0,224	0,701	0,122	-1,4074	0,039	$0,536 \pm 0,067$	При 20 °С
87	0,231	0,264	0,854	0,120	-1,4229	0,038	$0,747 \pm 0,049$	При температуре обитания

К сожалению, возможность достаточно надежно сравнить полученные результаты обмена у баянусов с данными других исследователей весьма ограничена.

И. А. Кузнецова (1974) величину энергетического обмена для *B. improvisus* установила расчетным путем, исходя из балансового равенства, получив при этом уравнение:

$$T = 0,140W^{0,85}, \quad (5)$$

в котором зависимость $T(W)$ у баянусов аналогична другим ракообразным, что как будет показано ниже, не может иметь места (во всех случаях дается единая форма выражения: O_2 в мл экз⁻¹ · ч⁻¹, W в г сырой массы).

Значения коэффициентов a и k для этого вида баянуса, соответственно равные 0,150 и 0,4, приводят в своей работе Н. Н. Хмелева и Г. Н. Юркевич (1968), заимствованы ими, как это видно из ссылки, из диссертации И. К. Ржепишевского (1963), которая хотя и касается баянусов, но таких сведений не содержит, нет их и в других его статьях. Вместе с тем данные Н. Н. Хмелевой и Г. Н. Юркевич широко цитируются А. С. Константиновым (1973).

Л. М. Сушня (1972) для *B. amphitrite* var. *denticulata*, по графическим данным Костлова и Букхоут (Costlow, Bookhout, 1958), рассчитал уравнение, отражающее связь обмена с массой:

$$Q = 0,30W^{0,361} \quad (6)$$

Таким образом, полученные для баянусов численные выражения параметров a и k , в уравнениях 1—4 и 6 свидетельствуют об исключительно низкой скорости обмена, отличной от других ракообразных и тесной зависимости ее от массы. Такой характер дыхания, исходя из особенностей, свойственных усоногим, следовало ожидать. В связи с этим нельзя согласиться с мнением А. С. Константинова (1973), что результаты, рассчитанные по уравнению $Q = aW^k$, никак не характеризуют биологические свойства организмов, поскольку все зависит от системы единиц.

Важным обстоятельством, подтверждающим низкие траты энергии, выявленные у баянусов, и не позволяющим отождествлять их обмен с таковым других животных, является прикрепленный образ жизни рачков. Поэтому найденные величины в уравнениях следует рассматривать как отражение в большей степени основного обмена, тогда как роль «активного» обмена у усоногих, очевидно, чрезвычайно мала, если вообще о последнем может идти речь. Движение они осуществляют за счет спонтанного выбрасывания усоножек. Продолжительность относительного покоя, когда створки домика закрыты, и активного состояния, когда рачки машут усоножками, не зависели от температуры (в диапазоне 9—22° С). Биологический смысл чередования этих фаз состоит в обеспечении аэрации воды в поселениях с минимальной затратой энергии.

Кроме того, баянусам свойственно совмещение жизненно важных функций как питание и дыхание, что в сочетании с мощной раковиной определяет соответствующую кинетику окислительных реакций в организме.

Исследования С. А. Горомосовой и А. З. Шапиро (1973) по выяснению действия на баянусов различных ядов показали, что у усоногих 75—85% калорий образуется за счет анаэробного дыхания и энергия гликолиза может практически полностью покрывать их энергетические потребности.

Наконец, низкий обмен у баянусов связан со сравнительной простотой сбрасывания экзоскелета. Известно (Costlow, Bookhout, 1958), что траты энергии на этот процесс так малы, что потребление кислорода рачками до линьки и в период линьки не изменяется.

Следовательно, данные по потреблению кислорода баянусами дают объективное представление о состоянии популяции на протяжении жизненного цикла. Направленность обменных процессов в значительной мере определяется физиологическим состоянием особей.

Впервые интенсивность дыхания баянусов рассчитана для поселения рачков, начиная от момента их оседания до достижения предельных размеров с учетом всех особенностей их метаболизма. Усоногие отличаются чрезвычайно низким уровнем обмена, что обусловлено морфофункциональными особенностями этой группы животных.

ЛИТЕРАТУРА

- Арбузова К. С. Дыхание основных организмов обрастания судов на Черном море.— Рыбное хозяйство, № 2, 1957.
- Брайко В. Д., Долгопольская М. А. Роль личинок обрастающих организмов в зоопланктоне Севастопольской бухты.— Вopr. рыбхоз. освоения и санит.-биол. режима водоемов Украины. К., «Наукова думка», 1970.
- Горомосова С. А., Шапиро А. З. О механизмах адаптации черноморских организмов к гипоксии и действию ядов.— В кн.: Материалы Всесоюз. симпоз. по изуч. Черного и Средиземного морей, использованию и охране их ресурсов, ч. IV. К., «Наукова думка», 1973.
- Зевина Г. Б. Обрастание в морях СССР, М., Изд-во МГУ, 1972.
- Ивлева И. В. Влияние температуры на скорость метаболизма пойкилотермных животных.— Усп. совр. биол., 1972, т. 73, № 1.
- Константинов А. С. Интенсивность дыхания и биологическая продуктивность водных животных.— В кн.: Трофология водных животных. М., «Наука», 1973.
- Кузнецова И. А. Трансформация энергии у ракообразных рода *Balanus*. Автореф. канд. дис. М., 1974.
- Ржепищевский И. К. Размножение баянусов на восточном Мурмане. Автореф. канд. дис. Дальние Зеленцы, 1963.
- Ржепищевский И. К., Артемчук Н. Я. Грибковое поражение двух видов черноморских баянусов.— В кн.: Биология моря, вып. 18. К., «Наукова думка», 1970.
- Сушенин Л. М. Интенсивность дыхания ракообразных. К., «Наукова думка», 1972.
- Хмелева Н. Н., Юркевич Г. Н. Энергетический обмен *Artemia salina* (L.) и его особенности в ряду ракообразных.— ДАН СССР, 1968, т. 183, № 4.
- Barnes H. The oxygen uptake and metabolism of *Balanus balanoides* (L.) and *Pollicipes polymerus* J. B. Sowersby.— J. Exp. Biol., 1962, v. 39, № 3.
- Barnes H., Barnes M. The effect of temperature on the oxygen uptake and rate of development of the egg masses of two common Cirripedes, *Balanus balanoides* (L.) and *Pollicipes polymerus* J. B. Sowersby.— Kieler Meeresforsch., 1959, v. 15, № 2.

Bousfield E. L. Ecological control of the occurrence of barnacles in the Miramichi estuary.— *Mat. Mus. Canada Bull.*, 1955, № 137.

Costlow J. D., Bookhout C. C. Molting and respiration in *Balanus amphitrite* var. *denticulata* Broch.— *Phys. Zool.*, 1958, v. 31, N 4.

Mc Dougal K. D. Sessile marine invertebrates of Baufort, North Carolina.— *Ecol. Monogr.*, 1943, v. 13, № 3.

Институт биологии южных морей АН УССР,
Севастополь

Поступила в редколлегию
10.1 1975. г.

Н. А. Островская

ЗАТРАТЫ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА АКТИВНОЕ ДВИЖЕНИЕ У ВЗРОСЛЫХ *CALANUS HELGOLANDICUS* ПРИ МИГРАЦИЯХ

Оценка затрат механической энергии M_1 на преодоление лобового сопротивления (F) планктонными животными при равномерном движении возможна, если известно соотношение между числами Рейнольдса (Re) и коэффициентом лобового сопротивления ξ для этих животных:

$$M_1 = F \cdot v; \quad (1)$$

$$F = 1/2 \rho S \xi v^2; \quad (2)$$

$$\xi = f(Re); \quad (3)$$

$$Re = \frac{lv}{\nu}, \quad (4)$$

где v — скорость движения; ρ — плотность жидкости; S — площадь проекции тела на плоскость, перпендикулярную направлению движения; ν — кинематическая вязкость жидкости; l — линейный размер.

Как видно, соотношение (3) выражено в неявном виде, а поэтому, как правило, устанавливается опытным путем. Для некоторых ракообразных экспериментальные кривые $\xi(Re)$ получены с помощью моделей животных (Шулейкин, 1968; Степанов, Светличный, 1975). Кривую $\xi(Re)$ можно получить расчетным путем, по данным киносъемки движения животного (Vluyen, 1970). Однако этот способ применительно к мелким животным еще не получил достаточного распространения и до недавнего времени использовался первый способ. Он основан на принципе подобия.

Из динамики вязкой жидкости известно, что при механическом подобии двух потоков вязкой жидкости остаются неизменными для них значения некоторых независимых чисел, которые называются критериями подобия. Одним из таких критериев является число Рейнольдса. Оно характеризует собой отношение сил инерции, вызванных движением тела в жидкости, к силам внутреннего трения (вязкости), приложенным к границам этого тела. Оказывается, что коэффициент лобового или гидродинамического сопротивления в общем случае является функцией независимых критериев подобия. В практических частных задачах о движении тел в реальных жидкостях число независимых критериев подобия обычно не более двух (Патрашев, 1953). При изучении гидродинамических характеристик планктонных животных, в силу их небольших размеров, можно считать, что механическое подобие достигается при равенстве чисел Рейнольдса. Принцип подобия и является основанием для того, чтобы переносить определенные в опытах для модели значения ξ на натуральный объект.

Данные по гидродинамическим характеристикам планктонных животных в литературе немногочисленны. В. В. Шулейкиным получена экспериментальная зависимость $\xi(Re)$ для модели *Paracalanus* и *Centropages*