

ПРОВ 98

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

ПРОВ 2010

ЛРБ.ЛРБ

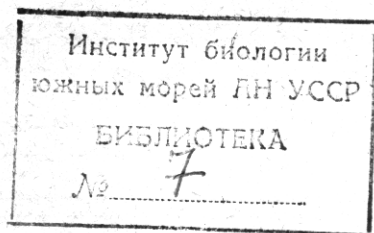
БИОЛОГИЯ МОРЕЯ

РЕСПУБЛИКАНСКИЙ
МЕЖВЕДОМСТВЕННЫЙ СБОРНИК

Основан в 1965 г.

Выпуск 47

ИССЛЕДОВАНИЯ ИНДИЙСКОГО ОКЕАНА
И ЮЖНЫХ МОРЕЙ



КИЕВ «НАУКОВА ДУМКА» 1978

them. The material was collected by means of the Isaaks-Kidd sweep in the Black, Aegean, Ionic, Tyrrhenian, Sardinian and Balearic seas in the day light and at night at depths of 500 m in of autumns of 1974 and 1976.

Composition and quantitative ratio of species in different layers varied depending on their vertical migration. The number of species of fish, higher Crustacea and their amount in surface horizons increased at night. Species inhabiting the surface layer, interzonal species and those at a depth of above 250 m are distinguished.

УДК 577.7.74

В. Н. Степанов, Л. С. Светличный

НЕСТАЦИОНАРНАЯ МОДЕЛЬ ПОГРУЖЕНИЯ РАЗЛАГАЮЩЕГОСЯ ЗООПЛАНКТОНА

Математическое моделирование вертикального распределения отмершего зоопланктона может быть полезным при определении слоев моря, насыщаемых органическим веществом вследствие разложения организмов. Этот процесс можно представить как изменение их удельного веса и скорости пассивного погружения во времени и с глубиной.

В настоящей работе предпринята попытка рассчитать глубину погружения отмерших копепод во время деструкции в условиях типичной для Черного моря и Тропической Атлантики стратификации воды и тем самым определить горизонты моря, на которых может происходить накопление органического вещества разлагающегося зоопланктона.

Процесс деструкции является нестационарным, так как удельный вес рачка γ и скорость его погружения v при разложении изменяются во времени τ . Попытаемся рассмотреть основные пространственно-временные связи явления деструкции по элементам: а) продолжительность деструкции рачка T_K определяется температурой воды t [2, 7], т. е. $T_K = f(t^\circ \text{C})$; б) удельный вес рачка изменяется со временем [4], т. е. $\gamma = f(\tau)$; в) во время деструкции рачки погружаются, вследствие чего необходимо учитывать изменение температуры и удельного веса морской воды как $t = f(z)$ и $\gamma_m = f(z)$; г) скорость погружения рачка при этом будет зависеть от удельных весов γ и γ_m , коэффициентов сопротивления ξ [5, 6], определяемых ориентацией рачка в пространстве и его формой, площади сечения, перпендикулярного направлению движения S и объема тела W , т. е.

$$U = f(\gamma, \gamma_m, \xi, S, W). \quad (1)$$

Характер типичного изменения функции v , t , γ и γ_m в зависимости от времени τ и глубины z показан на рисунке. Здесь имеется в виду, что время τ охватывает интервал от $\tau = 0$ до $\tau = T_K$, т. е. от начала процесса до его окончания. T_K характеризует прекращение изменения удельного веса отмершего рачка, т. е. считается, что при $\tau \geq T_K = \text{const}$.

За отрезок времени от 0 до T_K разлагающийся организм опускается с глубины z_0 (соответствует $\tau = 0$ и γ_0) до глубины z_K (соответствует T_K и γ_K). Вследствие изменения удельного веса рачка во времени и плотности морской воды с глубиной скорость погружения разлагающегося рачка будет изменяться от v_0 до v_K .

Как показывает анализ имеющихся в литературе данных [1, 3], распределение по глубине температуры (в градусах Цельсия) и удельного веса рачков γ_m (в граммах на кубический сантиметр) в Черном море и тропической части Атлантики может быть достаточно хорошо описано в виде

$$t(z) = t_0 e^{-kz}, \quad (2)$$

$$\sigma(z) = \sigma_0 + az^b, \quad (3)$$

$\sigma=1000 (\gamma_m-1)$; $k=7 \cdot 10^{-4}-1,5 \cdot 10^{-3}$; $a=0,3-0,35$ и $b=0,28-0,32$ — для Черного моря [1]; $a=0,01-0,012$ и $b=0,7-0,8$ — для Атлантики [3]; t_0 и σ_0 — соответствующие значения $z=z_0$, которые должны приниматься для глубины, не превышающей глубины залегания верхнего скачка температуры и плотности.

Для Черного моря, в частности, при наличии холодного промежуточного слоя, закон распределения $t(z)$ может быть совершенно другим. Ниже ядра промежуточного холодного слоя изменение $t(z)$ хорошо описывается выражением

$$t(z) = t_0 + Cz^d, \quad (4)$$

где $C=0,5-0,6$ град/м^d; $d=0,147-0,154$, t_0 — температура воды на нижней границе ядра холодного слоя [1].

В соответствии с нашими исследованиями [6], формула для расчета скорости пассивного погружения рачка при его разложении может быть записана в виде

Наиболее типичные распределения по глубине моря z во времени τ основных параметров, связанных с погружением разлагающихся планктонных организмов в Черном море и Атлантике:

a — профиль температуры воды в Черном море в районах холодного промежуточного слоя.

$$v(z_K, T_K) = \left\{ \frac{2g}{\xi} \frac{W}{S} \left(\frac{\int_0^{T_K} \gamma d\tau}{\int_{z_0}^{z_K} \gamma_m dz} - 1 \right) \right\}^{1/2}. \quad (5)$$

Глубина z_K , на которой прекращается разложение тканей отмершего планктона,

$$z_K = z_0 + \bar{v} T_K, \quad (6)$$

здесь $\bar{v}$ — средняя скорость погружения в пределах слоя Δz , т. е. от z_0 до z_K , определяемая как

$$\bar{v} = \frac{1}{\Delta z} \int_{z_0}^{z_K} \bar{v} dz \quad (7)$$

или по формуле (5) при средних значениях $\bar{\gamma}$ и $\bar{\gamma}_m$.

Изменение удельного веса рачков при деструкции [4] подчиняется закону обратной геометрической прогрессии и описывается экспоненциальным уравнением

$$\gamma = \gamma_0 e^{-m\tau}, \quad (8)$$

где константа m передает замедление процесса.

Осредненные значения $\bar{\gamma}$, $\bar{t}$ и $\bar{\gamma}_m$ в пределах от z_0 до z_K за период от $\tau=0$ до $\tau=T_K$ определяются как

$$a) \quad \bar{\gamma} = \frac{\gamma_0}{T_K} \int_0^{T_K} e^{-m\tau} d\tau = \frac{\gamma_0}{m T_K} (1 - e^{-m T_K}), \quad (9)$$

$$b) \quad \bar{t} = \frac{t_0}{\Delta z} \int_{z_0}^{z_K} e^{-kz} dz = \frac{t_0}{k \Delta z} (e^{-k z_0} - e^{-k z_K}). \quad (10)$$

При наличии холодного промежуточного слоя в Черном море

$$t = t_0 + \frac{C}{\Delta z} \int_{z_0}^{z_K} z^d dz = t_0 + \frac{c (\Delta z)^{d+1}}{\Delta z (d+1)}. \quad (11)$$

в)
$$\bar{\gamma}_m = \gamma_{m0} + \frac{a}{\Delta z} \int_{z_0}^{z_K} z^b dz = \gamma_{m0} + \frac{a (\Delta z)^{b+1}}{\Delta z (b+1)}. \quad (12)$$

Продолжительность деструкции, скорость и глубина погружения отмерших планктонных организмов

Организм	Продолжи- тельность деструкции T_K , сутки	Скорость погружения отмерших организмов, см/с			Глубина погружения z_K , м
		начальная v_0	конечная v_K	средняя $\bar{v}$	
Черное море					
<i>Calanus helgolandicus</i>	11	0,399	0,083	0,236	2240
<i>Acartia clausi</i>	11	0,061	0,022	0,038	360
<i>Centropages ponticus</i>	11	0,132	0,034	0,080	760
<i>Paracalanus parvus</i>	11	0,051	0,017	0,031	290
Тропическая Атлантика					
<i>Calanus gracilis</i>	5	0,263	0,130	0,195	850
<i>Calanus minor</i>	5	0,246	0,167	0,205	890
<i>Centropages typicus</i>	5	0,400	0,097	0,246	1060
<i>Clausocalanus ingens</i>	5	0,119	0,068	0,086	370

Для приближенных вычислений $\bar{\gamma}$, $\bar{t}$ и $\bar{\gamma}_m$ можно использовать выражения

$$\bar{\gamma} \approx \gamma_0 \left(1 - \frac{1}{2} \alpha T_K \right), \quad (13)$$

$$\bar{t} \approx t_0 \left(1 - \frac{1}{2} \beta \Delta z \right), \quad (14)$$

$$\bar{\gamma}_m \approx \gamma_{m0} \left(1 - \frac{1}{2} \omega \Delta z \right), \quad (15)$$

которые вытекают из предположения, что

$$\frac{\Delta \gamma}{\Delta T} \approx -\alpha \gamma, \quad (16)$$

$$\frac{\Delta t}{\Delta z} \approx -\beta t, \quad (17)$$

$$\frac{\Delta \gamma_m}{\Delta z} \approx \omega \gamma_m, \quad (18)$$

где $\alpha \approx 0,008$; $\beta \approx 5,5 \cdot 10^{-4}$ — при типичных распределениях $t(z)$; $\beta \approx -(1,2-1,5) \cdot 10^{-3}$ — для Черного моря при наличии промежуточного холодного слоя; $\omega = (6,8-7,0) \cdot 10^{-6}$ — для Черного моря, $\omega = (1,2-1,4) \times 10^{-6}$ — для Атлантики [1, 3]; z выражено в метрах.

При наиболее типичных температурных характеристиках воды Черного моря и Тропической Атлантики нами были проведены наблюдения за изменением скорости погружения и удельного веса отмерших копепоид при деструкции по методике, изложенной в наших работах [4, 5]. Как

оказалось, продолжительность деструкции зависит главным образом от температуры воды и аппроксимируется простым выражением в виде

$$T_k = 3,4 \cdot 10^{-10} e^{\frac{6869,8}{T_k}} \quad (19)$$

По формулам (5) — (19) нами сделана оценка начальной v_0 , конечной v_k , средней скорости погружения $\bar{v}$ и слоев воды, насыщаемых органическим веществом отмерших копепод в Черном море и Атлантике. Конечные результаты расчетов приведены в таблице. Оказалось, что глубина погружения во время деструкции z_k может исчисляться сотнями метров для крупных организмов. Однако в связи с тем, что основная масса копепод представлена формами более мелкими, чем, например, *Calanus helgolandicus* и *Calanus gracilis*, и для них характерны меньшие скорости пассивного погружения, большая часть отмерших рачков будет разлагаться до глубины 500 м. Кроме того, для копепод характерно свойство накапливать метаболический жир, который обуславливает всплывание отмерших особей на поверхность [4].

Представленные в таблице значения z_k , вероятно, несколько завышены, так как в расчетах сделаны соответствующие упрощения в распределении температуры $t(z)$ и удельного веса $\gamma_m(z)$. Реальная стратификация со скачками плотности и динамическое состояние воды в море будут в большей степени способствовать уменьшению скорости погружения отмерших организмов, а следовательно, z_k будет определяться меньшими числовыми значениями.

Вопрос влияния температурных и плотностных скачков, а также динамического состояния моря (турбулентность, течения, вертикальные токи и др.) на темпы деструкции, скорость и глубину погружения отмершего зоопланктона — это предмет специальных исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Леонов А. К. Региональная океанография. Ч. 1. Л., Гидрометеиздат, 1960. 375 с.
2. Павлова Е. В. О деструкции зоопланктонных организмов из Средиземного моря. — В кн.: Экспедиционные исследования в Средиземном море в мае—июне 1968 г. (62-й рейс «Академик А. Ковалевский»). К., 1968, с. 103—107.
3. Океанографическая энциклопедия. Пер. с англ. Л., Гидрометеиздат, 1974. 623 с.
4. Светличный Л. С. О деструкции веслоногих рачков в тропических районах Атлантики. — В кн.: Результаты исследования северной тропической зоны Атлантического океана по программе «Декалант». Севастополь, 1976, с. 196—204.
5. 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., 1974, с. 126—127.
6. Степанов В. Н., Светличный Л. С. К расчету скорости пассивного вертикального перемещения планктонных организмов. — Океанология, 1975, 15, № 2, с. 321—324.
7. Harding Gareth C. H. Decomposition of marine Copepods. — Limnol. and Oceanogr., 1973, 18, N 4, p. 670—673.

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

Поступила в редколлегию
27.08.77

V. N. Stepanov, L. S. Svetlichny

NONSTATIONARY MODEL OF DECAYING ZOOPLANKTON SUBMERSION

Summary

On the basis of the found regularities of changes in specific weight and passive submersion velocity during decay of plankters in the Black Sea and tropical Atlantic as well as on the basis of the destruction rate dependence on water temperature, the mathe-

matical model of died copepod submersion is constructed taking into account the real water stratification in these regions. Sea depths within which there occurs plankton decay are calculated.

УДК 577.4.72.(26)

Л. С. Светличный, В. Н. Степанов

ЭНЕРГЕТИКА ДВИЖЕНИЯ МОРСКИХ КАЛАНИД

При изучении биоэнергетики планктонных организмов возникает ряд затруднений, многие из которых пока непреодолимы. Они обуславливаются малыми размерами и массами планктеров, несовершенством существующих методик и другими причинами. Крайне слабо изучена энергетика активного движения зоопланктона, значение которой в общем энергетическом балансе планктеров требует выяснения. Затраты энергии на движение организмов оцениваются по активному обмену, который может определяться разными способами: по потреблению кислорода [2, 5, 6, 31], по расходу запасного жира [17]. В последние годы находит широкое применение полумпирический подход, основанный на изучении гидродинамических свойств тела и его остаточной массы [7, 22—24, 37]. Кислородный метод позволяет с высокой точностью определить уровень общего обмена в организме, вычленение из которого активной составляющей связано с большими трудностями, так как для этого нужно разделить отдельно данные для состояния покоя и активного движения и, кроме того, связать полученные показатели активного обмена с количественной характеристикой движения. Наконец, чтобы применить эти данные для определения активного обмена планктеров в естественных условиях, нужно знать экологию вида и степень изменения поведения организмов в опыте.

В настоящее время для сопоставления уровней обмена у различных морских организмов используют понятие «стандартный обмен», т. е. обмен при пониженной активности организмов. Такие данные для Сорерода получены многими исследователями.

Несмотря на то, что данных об активном обмене веслоногих рачков, полученных кислородным методом, нет [2,29], можно оценить его возможные пределы путем экстраполяции результатов исследований активного обмена некоторых представителей других отрядов ракообразных. Л. М. Сушенин [29] показал, что величины активного обмена ракообразных совпадают, несмотря на различия систематического положения и экологии их разных представителей. Автор отмечает, что в первом приближении «при оптимальных скоростях движения, которое животные могут поддерживать сравнительно длительное время, общий обмен у ракообразных в два-три раза выше дыхания в состоянии покоя». Активный обмен при этом составляет 100—200% основного.

Результаты физических расчетов работы, совершаемой при движении, оказались несколько меньшими. Л. Б. Кляшторин и А. А. Яржомбек [7] рассчитали возможные энергетические траты на вертикальную миграцию у планктонных ракообразных размером 0,5—30 мм при скоростях 1—10 см/с. Оказалось, что активный обмен, рассчитанный с учетом КПД гребного движителя и эффективности мышечной работы, составляет 20—40% стандартного обмена, а общий обмен не превышает 1,2—1,4 стандартного обмена при $t=20^{\circ}\text{C}$. Значения энергетических трат *Labidocera trispinosa*, полученные В. Дж. Влименом (Vlymen) [37] при тех же скоростях, и пересчитанные нами с учетом отмеченного КПД 0,05, составляют 2—4% стандартного обмена. Следует заметить, что полученные величины относятся непосредственно к моменту движения и не дают пред-