

# ЭКОЛОГИЯ МОРЯ



19  
—  
1985

**TIME-SPATIAL STRUCTURE  
OF THE MESOPLANKTON FIELD  
IN THE SURFACE LAYER  
OF THE TROPICAL ZONE  
IN THE INDIAN OCEAN**

Summary

A procedure is developed for isolation and quantitative estimation of spatial heterogeneity of phytoplankton distribution in the surface layer of waters. It is shown that the spot scale distribution is of exponential character with the average scale of 20 miles. A set of factors determining spatial heterogeneity of the zooplankton field is analyzed from the empirical data.

УДК 577.3.475

С. А. ПИОНТКОВСКИЙ, Г. А. ГОЛЬДБЕРГ

**ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ  
СТРУКТУРА ПОЛЯ МЕЗОПЛАНКТОНА  
СЛОЯ 0—150 м ПО ДАННЫМ ТОТАЛЬНЫХ ЛОВОВ**

Целью работ по крупномасштабному районированию биомассы зоопланктона в период исследований экспедиций 8-го рейса НИС «Профессор Водяницкий» в Индийском океане по межведомственной программе «КИПРИО» было выявление пространственной неоднородности в распределении биомассы зоопланктона в связи с синоптической изменчивостью водных масс океана.

Сбор данных проб производили на 59 станциях I полигона (размер  $660 \times 550$  км) и 47 станциях II полигона ( $1540 \times 440$  км). Для тотальных обловов слоя 0—150 м использовали сеть ДЖОМ (80/113 см) с капроновым ситом № 46. Непосредственно после получения пробы определяли ее сырую массу с помощью волюмиметров Яшнова. Для некоторых проб выполнена их количественная детальная обработка по стандартной методике [4].

При анализе первичных данных исходили из методологических принципов, излагавшихся применительно к пространственной неоднородности поля мезопланктона поверхностного слоя [2].

**Временная (суточная) изменчивость в распределении биомассы.** В связи с тем что сбор проб на станциях полигона выполнялся в разное время суток, при анализе пространственного распределения планктона необходимо оценить вариабельность, вносимую временной переменной. Для этого выявим характер суточных изменений биомассы в исследуемом слое (рис. 1). По типу кривых на рисунке можно предположить, что максимумы биомассы в ночное время образуются за счет вертикальных миграций организмов из более глубоких слоев в исследуемый. Однако в целом размах варьирования невелик и составляет около 40% средней величины биомассы для акватории I полигона и 34% — для II. Это, вероятно, говорит о том, что большая часть организмов не перемещается за пределы исследуемого слоя.

**Размерный состав мезопланктона.** Обработка некоторых проб показала, что на долю копепоид различных таксономических групп приходится около 90% суммарной численности всех организмов в слое 0—150 м.

Расчеты функций плотности распределения разноразмерных особей в пределах таксономической группы (рис. 2) свидетельствуют о том, что это распределение близко к экспоненциальному. Основу численности копепоид образуют особи (преимущественно копепоидитные стадии) размером 0,6—0,8 мм. Используя зависимости, связывающие массу тела и линейный размер особей [5, 6], можно приближенно оце-

нить долю определенных таксономических групп в суммарной массе планктона. Оказывается, что копеподы размерного диапазона 0,6—1,2 мм составляют в среднем 50% общей массы планктона в исследуемом слое. Сходные величины указывались для этого района и ранее [10]. Следует отметить, что, по нашим данным, биомасса *Calanoida* примерно в 50 раз превосходит биомассу *Cyclopoida*.

Известно, что интенсивность вертикальных миграций копепод в данном географическом районе довольно мала [1]. В основном они происходят в пределах 150-метрового слоя. Это подтверждает наше предположение об относительно небольших помехах, вносимых вертикальными миграциями копепод в пространственную неоднородность распределения общей массы планктона в данном слое. Для сравнения следует отметить, что при рассмотрении более узких слоев (порядка десятков метров), особенно поверх-

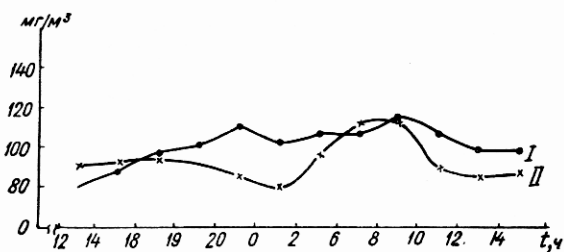


Рис. 1. Временная (суточная) изменчивость биомассы мезопланктона слоя 0—150 м на I и II полигонах.

ностных, вариабельность, вносимая миграциями в пространственное распределение мезопланктона, намного значительнее [2]. Увеличение биомассы в слое 0—150 м в ночные часы, вероятно, создается за счет подъема из более глубоких слоев организмов, совершающих интенсивные суточные миграции. Результаты обработки проб, взятых в ночное время (например, ст. 945), показывают, что видами, увеличивающими биомассу планктона в слое ночью (примерно на 20—30%), являются копеподы рода *Pleuromamma* и представители высших ракообразных — эуфаузииды. Рачки рода *Pleuromamma* (*P. gracilis*, *P. indica*, *P. chirhias*) обнаруживают наиболее интенсивные среди копепод миграции в данном районе [1] и в дневные часы опускаются ниже границы исследуемого слоя.

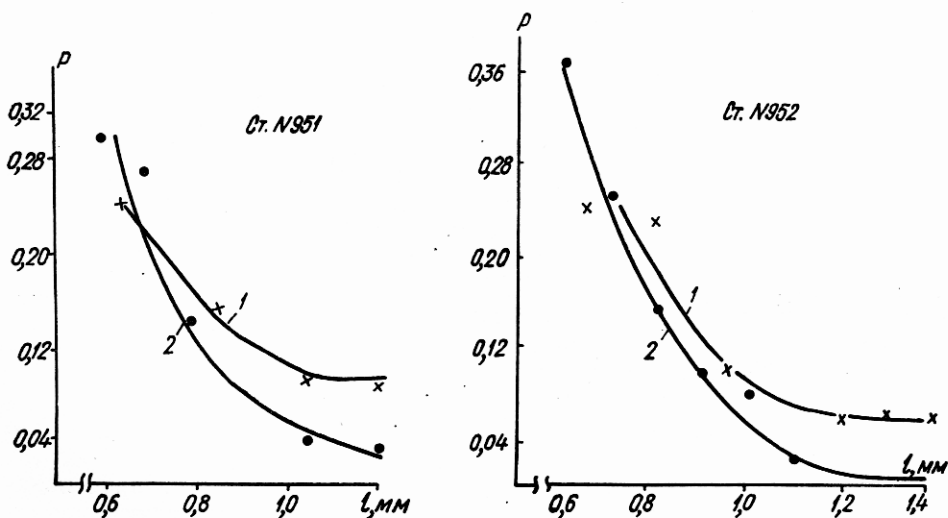


Рис. 2. Функции плотности распределения размеров особей *Cyclopoida* (1) и *Calanoida* (2) в пределах таксономической группы.  
По оси ординат — вероятность плотности распределения.

дуемого слоя. Размерная структура численности особей рода *Pleuromamma* (рис. 3) показывает, что основу численности составляют наиболее мелкие особи, т. е. возрастные стадии различных видов. Аналогично могут вести себя эуфаузииды, создавая при подъеме в ночные часы

50%-ное увеличение биомассы в слое 0—200 м [8]. Видовой состав планктона данного района хорошо известен [1, 9].

**Пространственная неоднородность распределения биомассы мезопланктона.** Неоднородность трендов, показанных на рис. 1, не позволяет объединить совокупность измерений биомасс на обоих полигонах в одну выборку и рассчитать единый для всего полигона тренд. Поэтому при анализе пространственной (горизонтальной) неоднородности распределения биомассы мезопланктона для нивелирования временной переменной вычитали тренды соответствующего полигона. Подробное описание этой операции приводилось нами ранее [2]. Полученные таким образом данные по распределению биомассы (в единицах отклонения от нормы) использовали для оценок морфометрии пространственной неоднородности поля.

На рис. 4 показана двумерная корреляционная функция пространственного распределения биомассы. Расчет функции проводится в предположении изотропности случайного поля биомассы. Предполагается, что корреляции между величинами биомассы в различных локальных областях зависят от расстояния между областями и не зависят от других характеристик их относительного расположения.

Обозначим расстояние между областями через  $l$ . Тогда корреляционная функция  $R(l)$  по данным наблюдений оценивается следующим образом. Для фиксированного значения  $l$  отбираются пары областей  $(O_k', O_k'')$ , находящиеся на расстоянии  $l$  с биомассами  $(B_k', B_k'')$ .

Если таких пар имеется  $n$ , то оценка ковариационной функции имеет вид  $C(l) = 1/n \sum B_k' B_k'' / \delta^2$ . Полученная эмпирическая зависимость  $R(l)$  изображена на рис. 4. Она построена для значений  $l = m \Delta l$  при  $\Delta l$  около 100 км. Быстрое убывание  $R(l)$  и отсутствие выбросов при больших  $l$  свидетельствуют о том, что при большом пространственном разрешающем масштабе ( $\Delta l \approx 100$  км) предположение об изотропии приближенно выполняется и оценка  $R(l)$  корректна.

Радиус корреляции составил около 150 км. Таким образом, типичное «пятно», т. е. область, занятая биомассой, изменяющейся как единое целое, имеет характерные масштабы порядка 150 км. Величина  $j = \sqrt{C(0)}$  дает представление о характерных величинах пульсаций в центральных частях пятна, т. е. о величинах биомасс, выраженных в единицах отклонения от «нормы» (здесь  $C$  — ковариация биомасс). Интересно отметить, что масштаб пятен мезопланктона согласуется с таковым вихревых циклонических образований, установленных для северо-западной части Индийского океана в тот же (межмуссонный) период [7]. Полученное представление о масштабах пятен грубо приближенно, поскольку по виду функции (рис. 4) можно только заключить, что радиус корреляции составляет

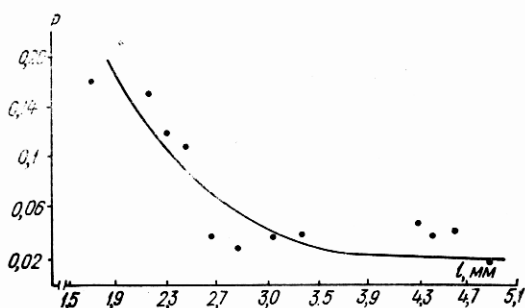


Рис. 3. Функции плотности распределения размеров особей рода *Pleuromma* на ст. 945. По оси ординат — вероятность плотности распределения.

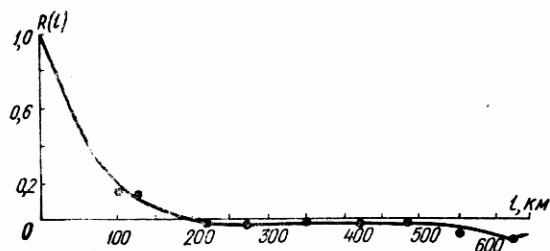


Рис. 4. Автокорреляционная функция распределения биомасс мезопланктона слоя 0—150 м на акватории двух полигонов.

не более 150 км. Таким образом, более реалистический вывод состоит в том, что на полигоне с данным  $\Delta l$  не улавливаются основные характеристики пятнистости. Сравнивая полученные характеристики пятен слоя 0—150 м с таковыми поверхностного слоя [2], можно отметить, что в верхних слоях (2—4 м от поверхности) пятна мезопланктона имеют гораздо меньший масштаб (по радиусам корреляции они различаются в 5 раз) и в 3 раза меньшую биомассу.

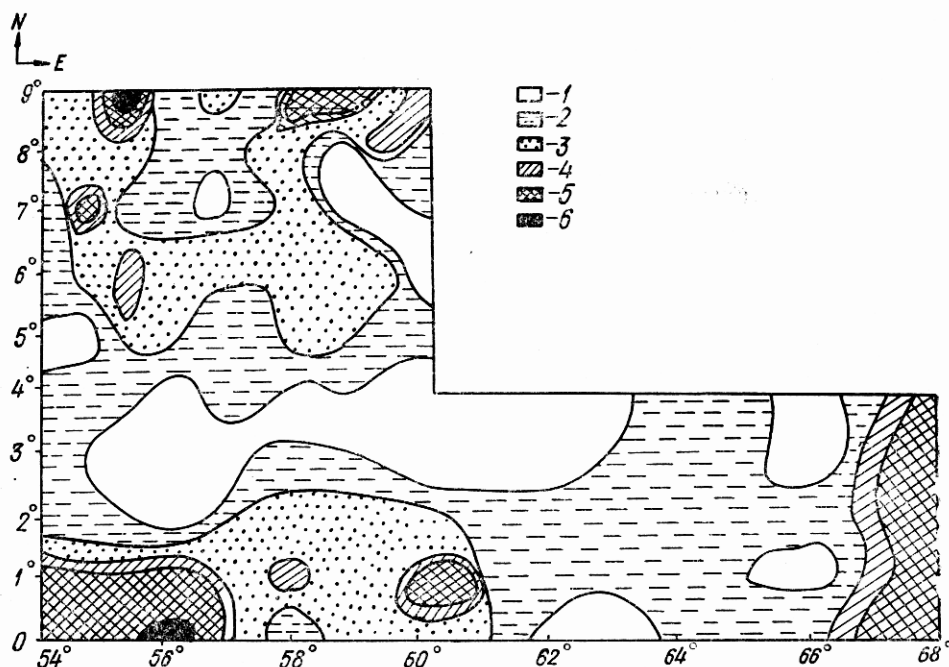


Рис. 5. Качественная схема распределения биомассы мезопланктона слоя 0—150 м на акватории I и II полигонов.

Биомасса дана в единицах отклонения от «нормы»,  $\text{мг/м}^3$ :

1 — (—50)—(—25); 2 — (—25)—0; 3 — 0—25; 4 — 25—50; 5 — 50—75; 6 — 75—100.

Имеющиеся результаты позволяют дать и качественные оценки распределения биомасс на исследуемой акватории (рис. 5). Можно выделить четыре зоны максимальных биомасс мезопланктона: северо-западную, северо-восточную, юго-западную экваториальную и восточную. По локализации северо-западная зона повышенных биомасс полностью соответствует координатам одного из вихревых циклонических образований [7]. В то же время здесь же проходит стержень крупномасштабного циклонического круговорота, который образуется в Аравийском море в период зимнего муссона и далее остается после прекращения его действия. Северо-восточный максимум биомасс также располагался в зоне крупномасштабного круговорота.

Существование юго-западной экваториальной зоны повышенных биомасс, вероятно, объясняется геоморфологическими особенностями рельефа дна (гора Экватор с максимальным поднятием, отстоящим от поверхности на 193 м). Последние создают условия для развития в таких районах стационарных вихревых образований, обуславливающих подъем вод. Юго-западная зона является наиболее обширной и стационарной из всех выделенных и сохраняется не только в межмуссонный период, но и в период начала действия юго-западного муссона [3]. Широтная локализация этой зоны, по-видимому, определяется развитием на экваторе в межмуссонный период поверхностной восточной струи течений, имеющей дрейфовое происхождение и зарегистрированной инструментально [7].

В заключение следует отметить, что анализ материалов, собранных по пространственной неоднородности распределения мезопланктона слоя 0—150 м, показал возможность в основном качественного анализа этой неоднородности в связи с гидрологическими характеристиками среды. Эта ограниченность в интерпретациях определяется прежде всего планом биологических работ по программе «КИПРИО», и хотя в целом удалось установить характерный масштаб пространственных неоднородностей мезопланктона слоя 0—150 м, следует отметить, что в случае использования для оценки распределения планктона современных статистических методов анализа поля, массив первичных данных должен быть примерно вдвое увеличен. Это может быть достигнуто двумя путями: либо увеличением частоты сбора проб (если фиксирована площадь обследуемой акватории), либо увеличением площади обследуемой акватории (если фиксирована пространственная дискретность измерений) <sup>1</sup>.

1. Виноградов М. Е., Воронина Н. М. Некоторые черты распределения планктона северной части Индийского океана. — Тр. Ин-та океанологии, 1962, 58, с. 80—111.
2. Гольдберг Г. А., Пионтковский С. А. Пространственно-временная структура поля мезопланктона в поверхностном слое тропической зоны Индийского океана. — Настоящий сб., с. 46—56.
3. Гордина А. Д. Ихтиопланктон экваториальной зоны Индийского океана в период летнего муссона. — В кн.: Комплексные океанологические исследования Индийского океана. Севастополь: МГИ АН УССР, 1981, с. 133—140.
4. Жадин В. И. Методы гидробиологического исследования. — М.: Высш. шк., 1960. — 189 с.
5. Камшилов М. М. Определение веса *Calanus finmarchicus* G. на основании измерений длины тела. — Докл. АН СССР, 1951, 76, № 6, с. 231—235.
6. 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.
7. Коснырев В. К. Структура синоптической изменчивости в северо-западной части Индийского океана. — Настоящий сб., с. 10—21.
8. Brinton E., Gopala Krishnan K. Distribution and abundance of planktonic amphipods in the Indian ocean. — In: The biology of the Indian ocean / Ed. by B. Zeitzschel. New York: Springer, 1973, p. 349—357.
9. Fleminger A., Hulsemann K. Relationship of Indian ocean epiplanktonic Calanoids to the World oceans. — Ibid., p. 339—349.
10. Rao T. S. S. Zooplankton studies in the Indian oceans. — Ibid., p. 243—257.

Ин-т биологии южных  
морей им. А. О. Ковалевского  
АН УССР, Севастополь

Получено 10.06.82

S. A. PIONTKOVSKY, G. A. GOLDBERG

# TIME-SPATIAL STRUCTURE OF THE MESOPLANKTON FIELD OF THE 0-150 M LAYER BY THE DATA OF TOTAL FISHING

## Summary

The results of studies in the large-scale spatial heterogeneity of the mesoplankton field (discreteness of the biomass registration 40-60 miles) are presented for the total 0-150 m layer in the north-western part of the Indian Ocean. Based on the analysis of autocovariational functions of biomass distribution a typical scale (about 100 miles) of mesoplankton spots is established. A relation between characteristics of biological and hydrological heterogeneities is discussed.

<sup>1</sup> Авторы выражают глубокую благодарность Т. А. Мельник и П. А. Щербатенко за помощь в таксономическом анализе и количественной обработке проб.