

ISSN 0203-4646

ЭКОЛОГИЯ МОРЯ



22
—
1986

ЭКОСИСТЕМЫ ПЕЛАГИАЛИ

УДК 581.526.326

М. И. РОУХИЙНЕН, Ю. Г. АРТЕМОВ,
Р. К. БОЧАРОВА

МЕЛКОМАСШТАБНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ФИТОПЛАНКТОНА В РАЙОНАХ ПОДНЯТИЙ ОКЕАНИЧЕСКОГО ДНА ЮЖНОЙ АТЛАНТИКИ

Изучение влияния поднятий океанического дна на распределение фитопланктона являлось одной из задач 11-го рейса НИС «Профессор Водяницкий» (ноябрь 1981—февраль 1982 г.). Исследовались районы банок Дейвис и Модельная у побережья Южной Америки, находящихся в зоне влияния Бразильского течения, а также горы Вальдивия и банки Удачная в зонах течений Западных Ветров и Бенгельского (рис. 1).

Цель исследований — на примере распределения фитопланктона показать влияние подводных поднятий на формирование полей биологической продуктивности.

В районе каждого поднятия сбор материала проводился на 17—27 станциях до глубины 100—200 м. Пробы отбирали 25-литровым батометром из винилпласта. Одновременно с отбором воды для изучения бактерио- и микрозоопланктона проводились определения АТФ и пигментного состава планктона, а также гидрохимических элементов. Фитопланктонные пробы объемом в 3 л концентрировались методом обратной фильтрации через нуклеопоровый фильтр с диаметром пор 1 мкм и доводились до объема 50—60 мл. Микроскопия суспензии проводилась сразу после ее получения без фиксации. По всем районам обработано 380 проб, собранных на 87 станциях.

Данные по численности и биомассе фитопланктона обрабатывались на бортовой ЭВМ ЕС-1010. В течение рейса выполнен анализ статистическими методами интегрированных по слою 0—100 м данных всех четырех полигонов.

Используя подход теории случайных функций, мы представили данные каждого полигона как единичную реализацию соответствующего случайного поля. Из-за отсутствия априорной информации о структуре случайных полей применялись выборочные оценки параметров этих полей. Нестационарность полигонных данных оценивалась по корреляции с временем суток взятия проб. Малые значения коэффициентов корреляции свидетельствовали о стационарности рядов, или о «модельной» нестабильности, которая не сказывалась в течение периода проведения исследований (3—7 сут). Ввиду ограниченных размеров полигонов мы полагали однородность и изотропность исследованных полей. Выборочные пространственные корреляционные функции (АКФ), с помощью которых оценивались корреляционные функции поля, использовались для построения двухмерных карт распределения численности и биомассы фитопланктона в слое 0—100 м. Восстановление значений в узлах регулярной пространственной сети проводилось методом оптимальной интерполяции [1].

Результаты наблюдений. Полигон I (банка Дейвис). В районе банки Дейвис, как это характерно для открытого океана, основу фитопланктона составляли ультра- и наннопланктонные формы

мелких жгутиковых водорослей, периодиниевых и кокколитофорид. Среди периодиниевых преобладали представители родов *Gymnodinium*, а также *Oxytoxum* и *Gyrodinium*. Из кокколитофорид чаще других встречались виды родов *Coccolithus* (прежде всего *C. meteory*), *Disco-sphaera* (*D. tubifer*), *Syracosphaera*. Диатомовые водоросли были сов-

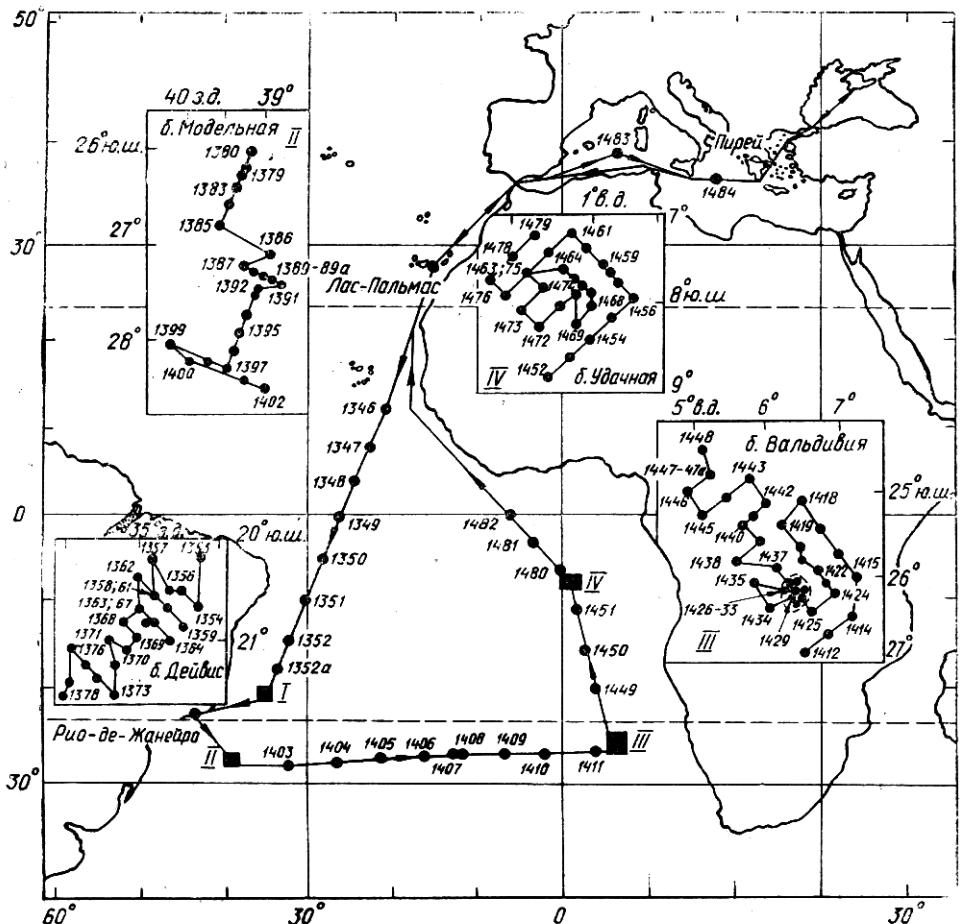


Рис. 1. Схема станций.

сем редки, только кое-где встречены виды рода *Rhizosolenia*, *Nitzschia*.

Среди 20 выполненных станций величины численности и биомассы фитопланктона колебались от 2 до 11 млн. кл./м³ и от 3 до 12 мг/м³

Таблица 1. Численность и биомасса фитопланктона в районе банки Дейвис, слой 0—100 м

Номер станции	Численность, млн. кл./м ³	Биомасса, мг/м ³	Номер станции	Численность, млн. кл./м ³	Биомасса, мг/м ³
1353	6,1	9,6	1366	8,0	4,6
1354	5,6	6,0	1367	5,0	6,2
1355	3,4	3,7	1368	4,7	6,3
1356	4,5	4,0	1369	5,0	4,5
1357	6,0	12,1	1373	10,2	7,0
1358, 61			1374	9,4	7,2
1359, 67			1375	4,1	3,6
1360*	11,0	11,0	1376	6,2	6,2
1361**	4,4	2,5	1377**	2,1	3,1
1362	7,4	4,1	1378	4,7	6,3
1364	4,8	4,3			

* Слой 0—45, ** слой 0—75.

Таблица 2. Коэффициенты корреляции между численностью и биомассой фитопланктона в районе банки Дейвис

Фитопланктон	Среднее	Стандартное отклонение	$r \varphi$	$r \lambda$	Количество наблюдений
Численность, млн. кл./м ³	10,7	18,5	-0,071	-0,060	17
Биомасса, мг/м ³	7,4	5,2	-0,060	-0,11	17

Таблица 3. Пространственные автокорреляционные функции полей численности и биомассы фитопланктона в районе банки Дейвис

АКФ	$\rho, \text{ км}$				
	24	29	47	57	74
Численность	-0,126	-0,106	-0,034	0,003	-0,016
Биомасса	-0,224	-0,129	0,058	0,023	0,022

(табл. 1). В среднем по району 1 млн. клеток соответствовал 1 мг сырой массы и весь район характеризовался 6 млн. кл. и 6 мг/м³ в слое 0—100 м.

Пространственный ход средних значений полей численности и биомассы фитопланктона оценивался по мере корреляционной зависимости с координатами исследованного района. Коэффициенты корреляции $r \varphi$ (по широте) и $r \lambda$ (по долготе) приведены в табл. 2.

По расчитанным значениям пространственных автокорреляционных функций (табл. 3) находились радиусы корреляции полей численности и биомассы фитопланктона. Значения АКФ вычислялись осреднением не менее 30 коэффициентов корреляции пар станций, распределенных по всему полигону.

Проведенные расчеты не позволяют достоверно выявить существование в пределах полигона локальных зон повышения или понижения концентраций фитопланктона. Отмеченный подъем вод на восточной и северной перифериях банки, а также по течению за ней не отражался на скоплении фитопланктона, хотя в зонах подъема вод (ст. 1354—20°40'5 ю.ш., 34°21'0 з.д.; ст. 1356—20°23'0 ю.ш., 34°38'7 з.д.) количество фосфатов в слое фотосинтеза достигало 56 мкг/л, на других же станциях составляло 2—16 мкг/л.

Вертикальное распределение фитопланктона в районе банки Дейвис в исследованный период определялось основным и сезонным термоклином. Сезонный термоклин только начинал формироваться, верхняя его граница отмечалась на глубинах 20—30 м, нижняя — на 40—70 м. Основной термоклин на разделе поверхностной водной массы и промежуточной, располагался на глубине 125—150 м и градиенты плотности в нем были выше, чем в сезонном. В связи с этим развитие фитопланктона протекало по всей исследованной толще (до 100—150 м), тогда как положение максимумов в большинстве изученных нами случаев приурочено к сезонному термоклину. У поверхности и к глубине 100 м количество фитопланктона уменьшалось (рис. 2).

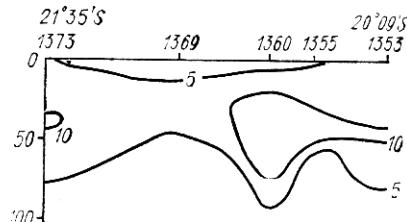


Рис. 2. Распределение биомассы (мг/м³) фитопланктона на разрезе через банку Дейвис.

приурочено к сезонному термоклину. У поверхности и к глубине 100 м количество фитопланктона уменьшалось (рис. 2).

Полигон II (гора Модельная). В районе настоящего поднятия исследовались две банки. Одна из них глубиной 1100 м над вершиной располагалась на 26°13'5 ю. ш. и 39°15'5 з. д., другая с отметкой 180 м — на 27°18' ю. ш. и 39°02'5 з. д. Здесь по сравнению с предыдущим районом принципиальных различий во флористическом составе в целом не отмечено. Некоторой особенностью являлось то, что на одной из станций (1381), характеризуемой опусканием вод, на глубине 100 м встречен набор видов диатомовых водорослей. Это несколько мелких представителей рода *Chaetoceros*, *Nitzschia* sp., sp., *Thallasiothrix* sp., *Dactyliosolen* sp. и др.

На рассматриваемой акватории (17 станций) численность клеток фитопланктона в слое 0—100 м изменялась в пределах 2,6—15 млн./м³, биомасса 2,0—19 мг/м³. Средняя численность по району составила 7,3 млн., биомасса 7,3 мг/м³, т. е. концентрация фитопланктона здесь близка к наблюдавшейся в районе банки Дейвис. В исследуемом районе, по имеющимся данным, не удалось получить устойчивой оценки нормированной пространственной автокорреляционной функции поля численности фитопланктона, в связи с чем построение поля пространственного распределения методом объективного анализа проводилось только для биомассы.

Автокорреляционная функция $r(\rho)$ поля биомассы аппроксимировалась следующим выражением:

$$r(\rho) = (1,0 + 0,020 \rho) \cdot e^{-0,375 \cdot \rho^{0,5}} \cdot \cos(0,015 \cdot \rho),$$

где ρ км — аргумент функции. Область максимальной ее концентрации выявлялась над вершиной с отметкой 1100 м на 39°40' з. д. и 26°10'—27° с. ш. (ст. 1381—1385), характеризуясь величинами более 10 мг/м³ (рис. 3, а). По данным отряда гидрологии и гидрохимии, в этом районе в исследуемый период зарегистрирован некоторый подъем вод на глубинах 100—200 м над вершиной банки и несколько севернее ее (ст. 1381 — 26°15'2 ю. ш., 39°15'1 з. д., 1382 — 26°19'5 ю. ш., 39°17'6 з. д.), тогда как в поверхностном слое подъем вод наблюдался южнее банки (ст. 1384 — 26°37' ю. ш., 39°26'9 з. д.; 1385 — 26°48'5 ю. ш., 39°31'2 з. д.).

Однако наблюдаемые подъемы не обусловливались геоморфологией дна. В некоторых случаях они не достигали поверхности, тем не менее могли способствовать выносу биогенов в зону фотосинтеза и повышению развития фитопланктона.

Минимальная биомасса (до 6 мг/м³) получена по разрезу через поднятие с отметкой 180 м на разрезе по 39° з. д. между 27°20'—27°40' с. ш. (ст. 1392—1394) южнее вершины. Аналогичное пятно повышенной биомассы выявлено юго-западнее первого, примерно между 39°20'—39°40' и 28°—28°30' (ст. 1397 и 1398). Оба эти участка характеризовались заглублением вод. В первом случае опускание наблюдалось от 75 м и глубже, т. е. под термоклином, нижняя граница которого проходила на глубине 40 м. Во втором пятне минимальной биомассы нижняя граница термоклина проходила на глубине 70 м и опускание всегда начиналось на границе слоя скачка. Таким образом, создавались условия, препятствующие обогащению биогенами поверхностного слоя, что, видимо, и привело к снижению биомассы фитопланктона в этих областях. Другой возможной причиной снижения количества фитопланктона могло служить выедание его микрозоопланктоном, о чем можно судить по слабой ($r = -0,43$) корреляционной зависимости между их численностью.

Вертикальная структура фитопланктона в исследуемом районе определялась в основном сезонным термоклином, верхняя граница которого залегала на глубинах 20—30 м и только в районе между 27° и 27°40' она поднималась до 10 м. Нижняя граница всюду проходила на глубине около 50 м. Второй температурный скачок на рассматриваемом полигоне практически отсутствовал. Тем не менее зона фотосинтеза простиралась до глубины не менее 100 м. В этом районе отмечались все возможные варианты положения фитопланктонных максимумов по

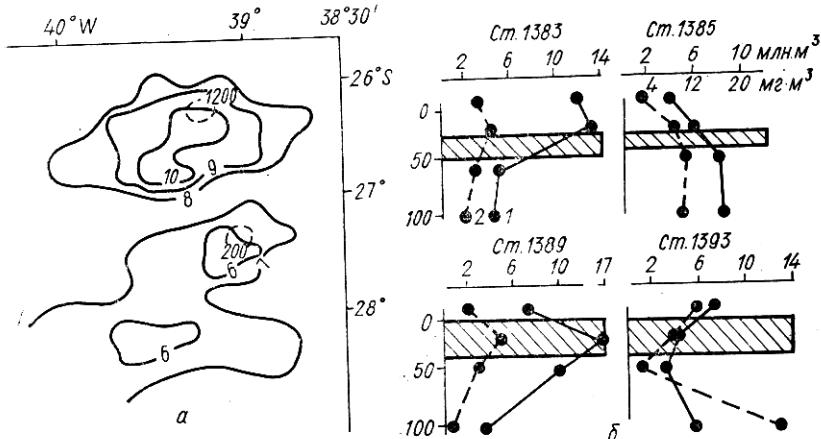


Рис. 3. Распределение фитопланктона в районе горы Модельная: а — поле биомассы ($\text{мг}/\text{м}^3$), слой 0—100 м; б — вертикальная структура:
1 — численность, 2 — биомасса, 3 — слой термоклина.

отношению к сезонному термоклину. Так, на ст. 1383 максимумы численности и биомассы отмечены непосредственно над слоем скачка на глубине 25 м. На ст. 1385 наибольшее скопление фитопланктона зарегистрировано под ним на глубинах 50—100 м. Примером скопления фитопланктона в термоклине может служить ст. 1389 — 27°18' ю. ш., 39°02'05 з. д. над вершиной банки с отметкой 180 м, где выражен подъем вод.

Аналогичный характер распределения, например, биомассы фитопланктона, отмечен почти по всему разрезу, пересекающему банку от 38°50'1 до 39°16' з. д. На ряде станций (например, ст. 1393 — 27°30'0 ю. ш., 39°08' з. д.) отмечено два максимума фитопланктона — у поверхности и на глубине 100 м, выше и ниже слоя термоклина, который располагался на 10—40 м (рис. 3, б).

Полигон III (гора Вальдивия). Несмотря на то, что III полигон значительно удален от двух предыдущих и располагается у Африканского побережья на юго-восточной периферии Южного субтропического антициклонического круговорота, флористический состав планктона по родовым таксонам не отличался от районов, рассмотренных вблизи Южной Америки. Преобладали мелкие жгутиковые водоросли, отмеченные выше роды перидиниевых и кокколитофорид. Однако в связи с влиянием вод течения Западных Ветров и течения, идущего от м. Игольного, обогащенных питательными солями, суммарное количество фитопланктона в рассматриваемом районе почти в два раза выше. Средняя численность составила 13,2 млн. кл., колеблясь в пределах 1,7—33,3 млн./ м^3 , а биомасса 11 $\text{мг}/\text{м}^3$ с изменениями от 2,5 до 20,8 $\text{мг}/\text{м}^3$.

Корреляционный радиус поля численности клеток фитопланктона в районе горы Вальдивия находится в пределах 80—85 км. Пространственная автокорреляционная функция аппроксимирована выражением

$$r(\rho) = (1,0 + 0,012) \cdot e^{-0,215 \cdot \rho^{0,5}} \cdot \cos(0,017 \cdot \rho).$$

Максимальная численность клеток фитопланктона (свыше 18 млн. кл.) обнаружена северо-западнее горы Вальдивия и изопланкты вытянуты в южном направлении, охватывая и западную часть района с повышенным количеством фосфатов (рис. 4, I а). Область минимальной численности зарегистрирована в районе горы и юго-восточнее ее. Разброс величин биомассы имел более случайный характер, чем численность, что не позволило построить поле их распределения. Однако тенденция повышения биомассы наблюдалась также и в северо-западном направлении.

Рассматриваемый район характеризовался сложной гидрологической структурой, обусловленной как рельефом дна самой банки, так и притоком вод с востока и северо-востока. Наиболее обширная зона подъема вод, вызванного влиянием банки, отмечена северо-западнее ее и на расстоянии около 80 миль от вершины, где располагалось пятно максимальной концентрации фитопланктона. Северо-западная часть района отличалась и повышенной концентрацией микрозоопланктона. Его распределение в целом по акватории коррелировало с фитопланктоном на уровне 0,7.

Зона фотосинтеза в районе горы Вальдивия оказалась более стратифицированной. Определяющую роль в распределении фитопланктона по глубинам играл сезонный термоклин, охватывающий слой от глубины 30—40, а в ряде случаев до 70—90 м. В связи с этим основная концентрация фитопланктона на большинстве станций наблюдалась в 50-метровой толще, достигая на отдельных горизонтах 30 млн. кл.; 28 мг/м³ (рис. 4, I, б). Особенno это проявлялось в пятне максимальной концентрации.

Полигон IV (банка Удачная). В связи с тем что район банки Удачной подвержен влиянию бенгельских вод, омывающих шельф, флористический состав здесь в сравнении с другими районами несколько изменился. Наряду с ранее отмеченными комплексами заметно чаще попадались диатомовые водоросли. В их числе встречен ряд крупноклеточных видов рода: *Rhizosolenia* (*Rh. calcar-avis*, *Rh. styliformis*, *Rh. alata*), *Thalassiosira* sp., sp., *Cerataulina bergonii*, *Striatella punctata*, *Thalassionema nitzschiooides* и др. Однако численность и биомасса в пределах рассматриваемой акватории оказались такими же, как и в районе горы Вальдивия, составив соответственно 13 млн. кл. и 11 мг/м³. Несмотря на то что в этом районе между численностью и биомассой установлена довольно тесная корреляционная зависимость, определяющаяся коэффициентом 0,79, величины биомассы имели больший коэффициент вариабельности (66%), и имеющихся данных оказалось недостаточно для получения устойчивой оценки автокорреляционной функции. Поэтому методом объективного анализа оказалось возможным построить поле пространственного распределения только по численности с коэффициентом вариабельности 40%. Пространственная автокорреляционная функция аппроксимировалась выражением

$$r(\rho) = (1,0 - 0,009 \rho) \cdot e^{-0,207 \cdot \rho^{0,5}} \cdot \cos(-0,009 \rho).$$

Наибольшая численность обозначалась в восточной и юго-восточной частях исследованной акватории с максимумом (свыше 14 млн. кл.) на восточной периферии зоны подъема вод (рис. 4, II, а). Такая же тенденция отмечалась и в распределении биомассы.

В исследуемом районе, как и в предыдущем, основная масса фитопланктона распространялась до глубины 50 м. Так, на разрезе, направленном через банку с северо-запада на юго-восток, максимумы фитопланктона обнаруживались в слое термоклина, верхняя граница которого залегала на 20 м, а нижняя на 80—110 м (рис. 4, II, б).

Выводы. 1. Флористический состав планктона в районах исследованных поднятий слагался из ультра- и наннопланктонных флагеллат, перидиниевых водорослей, а также кокколитофорид. Исключение составил район банки Удачная, где в результате влияния Бенгельского течения состав в значительной степени пополнился диатомовыми водорослями.

2. В районах поднятий, расположенных в зоне действия бразильских вод, на банках Дейвис и Модельная, средняя численность клеток

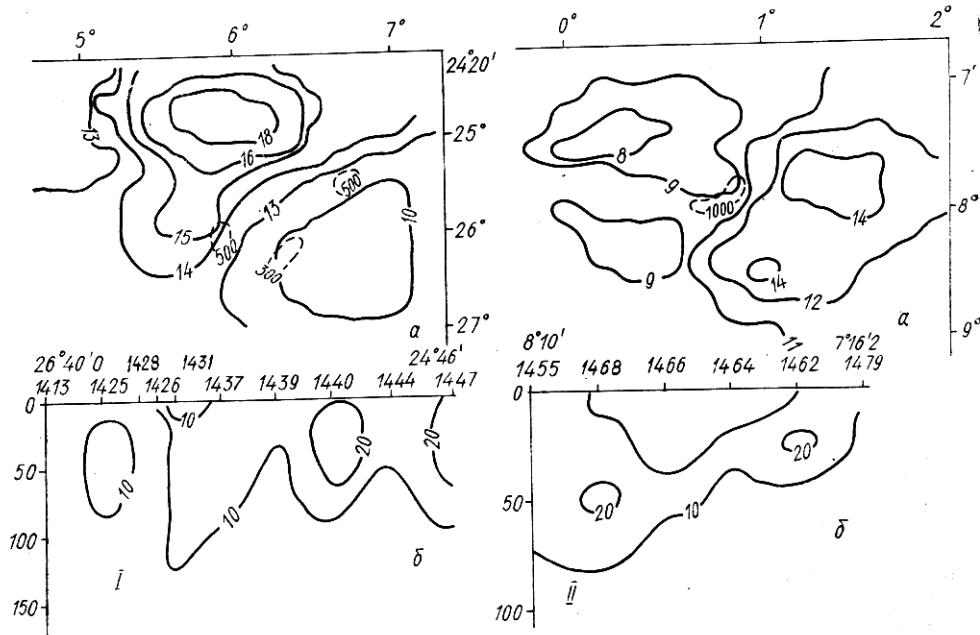


Рис. 4. Распределение фитопланктона:

I — гора Вальдивия, II — банка Удачная; а — поле численности, млн. кл./м³, слой 0—100 м, б — вертикальное распределение биомассы, мг/м³.

и биомасса составили 6 млн. кл., 6 мг/м³ и 7,3 млн. кл., 7,3 мг/м³ соответственно. У побережья Южной Африки, где оказывается влияние течения Западных Ветров и течения м. Игольного (гора Вальдивия), а также Бенгельских вод (банка Удачная), обогащенных биогенами, количество фитопланктона увеличилось почти в два раза, составив в обоих случаях 13 млн. кл., 11 мг/м³.

В соответствии с существующей классификацией [2] все обследованные районы, включая зоны повышенной интенсивности развития фитопланктона, следует отнести к мезотрофным. Показатели численности и биомассы фитопланктона на поднятиях у Южной Америки приближались к нижним и средним характеристикам мезотрофного диапазона, а на поднятиях у Южной Африки — по численности к их среднему и верхнему пределам, по биомассе — к нижнему.

3. В районе банки Дейвис влияния поднятия на распределение фитопланктона не отмечены. На II полигоне (гора Модельная) повышение биомассы не связано с влиянием банки и обусловливается наличием гидрофронта.

Над горой Вальдивия пятно концентрации фитопланктона находилось на северо-западе акватории и обусловливалось поднятием вод, связанным с геоморфологией дна. В районе банки Удачная фитопланктон концентрировался по восточной периферии зоны поднятия вод, вызванного также влиянием банки.

4. В районах поднятий дна, подверженных действию бразильских вод, развитие фитопланктона охватывало 100-метровую толщу, у побережья Южной Африки фитопланктон концентрировался в слое 0—50 м.

1. Андрющенко А. А., Беляев В. Н. Математическое обеспечение расчетов океанографических полей по данным наблюдений. — Киев : Наук. думка, 1978. — 133 с.
2. Кобленц-Мишик О. И., Веденников В. И. Ориентировочное сопоставление первичной продукции и количества фитопланктона на поверхности. — Океанология, 1973, 13, с. 75—84.

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

Получено 20.04.82

M. I. ROUKHIYAINEN, Yu. G. ARTEMOV,
R. K. BOCHAROVA

SMALL-SCALE DISTRIBUTION
OF PHYTOPLANKTON IN THE REGIONS
OF THE OCEANIC BOTTOM ELEVATIONS

Summary

Elevations of the Deivis and Modelnaya banks in South America as well as of the Valdiviya and Udachnaya ones in South Africa are considered for their effect on the formation of phytoplankton distribution fields. In the region of the Deivis bank the fields of quantity and biomass were characterized as purely random ones, the influence of elevation on the phytoplankton distribution was not observed. Over the Modelnaya bank an increase in biomass was not associated with the influence of the bank but was due to the presence of the hydrological front. Over the Valdiviya mountain the spot of phytoplankton concentration was in the north-west and depended on the water rise caused by the bottom geomorphology. In the region of the Udachnaya bank phytoplankton was concentrated along the eastern periphery of the water rise zone evoked by the bank influence as well. Spots of the phytoplankton concentration were characterized by the mesotrophic range of the quantity and biomass values.

УДК 581.1(261)

О. А. ЮНЕВ, Ю. Г. АРТЕМОВ

ВЕЛИЧИНЫ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИЙ
ХЛОРОФИЛЛА «А» И ФЕОФИТИНА «А»
НАД БАНКАМИ В ЮЖНОЙ АТЛАНТИКЕ

Хлорофилл «а» является основным фотосинтетическим пигментом и может служить показателем биомассы фитопланктона, а величины его концентраций могут отражать уровень биологической продуктивности исследуемых районов океана. Эти положения использовались нами при выяснении влияния, которое оказывают топографические поднятия в океане на первичную продукцию.

В настоящее время определенные трудности вызывает измерение фотосинтетически активного хлорофилла «а», так как продукты его разрушения могут составлять значительную часть. Поэтому в настоящей работе выяснялась взаимосвязь фотосинтетически активного хлорофилла «а», а также продуктов его разрушения на поверхности океана и в слое фотосинтеза.

Материал и методы. Исследования в 11-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий» проводились на банках Дейвис и Модельная, расположены