

ISSN 0203-4646

ЭКОЛОГИЯ МОРЯ



22
—
1986

8. Yentsch C. S. Distribution of chlorophyll and phaeophytin in open ocean. — Deep-Sea Research, 1965, 12, p. 653—666.
9. Yentsch C. S. The relationship between chlorophyll and photosynthetic carbon production with reference to the measurement of decomposition products of chloroplastic pigments. — Mem. Inst. Ital. Idrobiol., 1965, 18, suppl., p. 323—346.

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

Получено 18.01.83

O. A. YUNEV, Yu. G. ARTEMOV

VALUES AND DISTRIBUTION OF THE CHLOROPHYLL „a“ AND PHEOPHYTIN „A“ CONCENTRATIONS OVER BANKS IN THE SOUTH ATLANTICS

Summary

The fluorimetric method was used to measure chlorophyll „a“ and pheophytin „a“ concentration in the surface and photosynthesis layers over the banks in the South Atlantic. The results obtained from these measurements are presented in the work. Statistical analysis of the results has revealed a random character of the chlorophyll „a“ concentration distribution in the surface and photosynthesis layers. The lack of deterministic component testifies to the fact that the banks under study exert no essential influence on the distribution of the pigment concentration. About 40-50% of pheophytin are found in the surface layer of the ocean and this chlorophyll-pheophytin ratio remained up to the depth of occurrence of the maximal pigment concentration. The pheophytin percentage increased with the depth and amounted to 90-100% on the levels of 150-200 m.

УДК 577.1:581.526.325(261)

А. С. ЛОПУХИН, А. Г. БЕНЖИЦКИЙ

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИЙ АТФ МИКРО- И ФИТОПЛАНКТОНА НАД ПОДНЯТИЯМИ ДНА ЮЖНОЙ АТЛАНТИКИ

В последнее время в океанологической практике для количественной оценки живого вещества первого и второго трофических уровней стали успешно применять высокочувствительный индикатор — аденозинтрифосфорную кислоту (АТФ), присущую только живым организмам и выполняющую важную роль в процессах метаболизма и биоэнергетики в клетках [1—6].

Целью данной работы явилось определение АТФ микропланктона с помощью хемилюминисцентного метода для экспрессной характеристики распределения микроорганизмов в некоторых районах поднятий дна Южной Атлантики. Исследования АТФ микропланктона составляли часть комплексной программы по изучению биологической структуры и продуктивности пелагиали в акваториях горных сооружений океанического ложа.

Работы проводились в 11-ом рейсе НИС «Профессор Водяницкий» с ноября 1981 по февраль 1982 г. Исследованные акватории располагались в южной тропической зоне Западной и Восточной Атлантики над банкой Дейвис и горой Модельная, находящимися под воздействием Бразильского течения, и над горами Вальдивия и Удачная, расположенными в районе влияния Бенгельского течения.

Материал и методика. Пробы морской воды отбирались в светлое время суток с помощью пластмассового батометра и для отделения макропланктона предварительно профильтровывались через газ № 38. Затем проводилась одновременная параллельная фильтрация каждой пробы на мембранные фильтры «Сынпор» № 6 и № 4 с размером пор 0,40 и 0,85 мкм соответственно. Предпринималась попытка относительно фракционировать микропланктон на суммарный микропланктон и преимущественно фитопланктон. Предполагалось, что через фильтр № 4 большинство бактериальных клеток пройдет беспрепятственно, и

разница в концентрации АТФ позволит судить об относительном участии фитопланктона в суммарном АТФ. Такое разделение весьма условно, так как через фильтр № 4 могут пройти и мельчайшие формы фитопланктона (мелкие жгутиковые, синезеленые и др.). Этот фильтр мог задерживать агрегированные клетки бактерий, что вносило погрешность в поставленный опыт. Тем не менее использованный методический прием дал возможность в определенной мере судить об участии фитопланктона в пробе, а разница между суммарным АТФ и АТФ фитопланктона показала роль бактерий и мельчайших фотосинтезирующих организмов в пробе.

Фильтрация проводилась под незначительным вакуумом, не превышавшем 0,25—0,3 ат. Объем проб, фильтровавшихся через фильтр № 6, достигал 1 л, через фильтр № 4 — 2 л. По завершении фильтрации сконцентрированный микропланктон подвергался незамедлительной горячей экстракции в 5 мл 0,02 М раствора ацетатного *трис*-буфера, рН 7,5—7,7 в течение 5 мин на водяной бане. Экстракт сливался в мерную пробирку, а фильтр дополнительно обрабатывался 1—2 мин кипящим *трис*-буфером объемом 2 мл. После объединения экстрактов регистрировался их общий объем, и полученная проба замораживалась в герметично закрытом флаконе до проведения АТФ-метрии.

Анализ проб проводился на люминометре 1250 ЛКБ-Валлак через несколько дней после окончания работ в каждом из районов исследования с использованием соответствующих реактивов АТФ-мониторинг. При необходимости данные могли быть получены вслед за отбором пробы и экстрагированием аденозинтрифосфата. Предварительно перед каждой серией анализов готовился и измерялся стандартный ряд растворов АТФ от 2,5 до 50 нг/мл. Как показывает практика, этот диапазон концентраций оказывается достаточным при исследовании малопродуктивных вод открытого океана и обеспечивает последующий пересчет содержания АТФ в пробах как из фотической зоны, так и в пробах глубинного зондирования. Согласно инструктивным указаниям к прибору и реактивам ЛКБ-Валлак из последовательно размораживаемых проб отбирались по 0,9 мл экстракта и переносились в специальные полистироновые кюветы. Последние помещались в измерительную головку анализатора, где в них с помощью инжектора впрыскивались 0,1 мл энзима. Интенсивность свечения регистрировалась с интервалом 10 с в течение 100 с. Расчет концентраций АТФ производился по данным блока цифропечати [7].

В общей сложности по четырем полигонам, расположенным над исследованными вершинами, на 90 станциях выполнено 694 анализа.

Результаты и обсуждение. Исследованные акватории располагались над районами поднятий океанического дна, которые образовались в результате тектонических и вулканических процессов в земной коре. У побережья Бразилии банка Дейвис и гора Модельная представляли собой относительно изолированные вулканические конусы, в то время как у Африканского побережья горы Вальдивия и Удачная являлись наиболее высокими отметками крупных подводных хребтов Китового и Вавилова. Эти структурно-морфологические отличия, а также особенности гидрологического режима районов Западной и Восточной Атлантики обусловили, в свою очередь, некоторое отличие исследованных акваторий и в гидробиологическом отношении. Результаты проведенных анализов по полигонам представлены в таблице.

Банка Дейвис представляет собой небольшой плосковершинный подводный вулкан, расположенный в цепочке других мелководных банок на глубине 50—60 м, вытянутых в широтном направлении от побережья Бразилии до острова Тринидад. Бразильское течение пересекает эту подводную гряду в субмеридиональном направлении с севера на юг и обуславливает в этом районе вместе с сезонными ветрами всю гидрологическую обстановку.

**Концентрации АТФ микро- и фитопланктона в акваториях поднятий дна
Южной Атлантики**

Понгон	Место отбора пробы	Горизонт, слой, м	Средние концентрации АТФ, нг·л ⁻¹					
			Суммарный микропланктон			Фитопланктон		
			Среднее значение	σ^*	Количество измерений	Среднее значение	σ^*	Количество измерений
I	Банка Дэйвис	0	14	± 6	21	9	± 4	21
		25	18	± 14	17	12	± 7	17
		0—25	16			10,5		
II	Гора Модельная	0	17	± 9	17	9	± 4	17
		25	21	± 6	15	15	± 4	15
		0—25	19			12		
III	Гора Вальдивия	0	24	± 12	32	19	± 16	25
		25	26	± 10	27	17	± 8	25
		0—25	25			18		
IV	Гора Удачная	0	28	± 10	23	14	± 6	23
		25	37	± 21	23	28	± 15	23
		0—25	32,5			21		

* σ — среднее квадратическое отклонение.

Как видно из таблицы, АТФ фитопланктона в общем микропланктоне составляет значительную часть, достигая 64—66% на поверхности и в слое над термоклином соответственно. Значительная вариабельность величин АТФ как на поверхности, так и для слоя 0—25 м нашла отражение на карте распределения абсолютных значений АТФ общего микропланктона (рис. 1). Максимальные концентрации (30—40 нг·л⁻¹) непосредственно отмечены над вершиной банки, постепенно снижаясь к периферии. По мере удаления от банки к юго-западу вдоль Бразильского течения вновь наблюдается полоса несколько повышенных концентраций АТФ по сравнению с окружающими водами, что связано, по-видимому, с влиянием банки Дэйвис на экологическую обстановку в изученном районе. Глубоководное зондирование на осевом разрезе вдоль течения в 70 милях от вершины банки показало максимальную концентрацию АТФ на глубине 100 м (17 и 12 нг·л⁻¹ для суммарного АТФ и фитопланктона соответственно). Минимальное содержание зарегистрировано на глубине 400 м (0,4 нг·л⁻¹). На глубине 700 м содержание АТФ повысилось до 2 нг·л⁻¹, что может быть связано с активностью бактериопланктона в пределах субантарктической водной массы, занимающей в рассматриваемом районе слой 700—900 м. Согласно полученным данным, исследованная акватория может быть отнесена к олиготрофным водам открытого океана.

Гора Модельная располагается над грядой вулканического происхождения, простирающейся с северо-запада на юго-восток. Над грядой выступают три вершины: первая (условно названная Модельной) находится на глубине 1120 м, вторая расположена примерно в 60 милях юго-восточнее Модельной на глубине 180 м, третья размещается на более значительной глубине — 1900 м. Акватория полигона находилась под влиянием восточной части субтропического антициклонального круговорота и периферии Бразильского течения. Станции на этом полигоне в отличие от других располагались в виде двух отдельных разрезов, выполненных вдоль простираения горной системы. Пробы в этом районе отобраны только из верхнего слоя (0—25 м) и содержат АТФ в среднем 19 нг·л⁻¹. По этим значениям можно судить о некотором увеличении микропланктона в акватории второго полигона, причем доля фитопланктона для слоя 0—25 м также несколько увеличилась (см. таблицу). В целом концентрации АТФ микропланктона в районе рассматриваемой подводной гряды оказались близкими содержанию АТФ в акватории

банки Дейвис, характеризую изученные воды так же, как малопродуктивные.

Гора Вальдивия расположена в северной части Китового хребта, который простирается с юго-запада на северо-восток и в районе 20° ю. ш. сочленяется с континентальным склоном Африканского материка. Вершина представляет собой относительно ровное плато с глубинами 220—260 м. Акватория горы находится на юго-восточной периферии субтропического антициклонального круговорота и подвержена воздействию вод Бенгельского течения, с одной стороны, и ветви течения Западных Ветров — с другой.

АТФ фитопланктона поверхностного слоя, как и на предыдущих полигонах, оказался достаточно высоким, составив 79% его суммарной концентрации в общем микропланктоне. Для горизонта 25 м эта цифра уменьшилась до 65%. Значения общего АТФ в слое над термоклином при картировании показали значительную однородность в распределении (рис. 2). На общем фоне низких концентраций над горой выделилось обширное

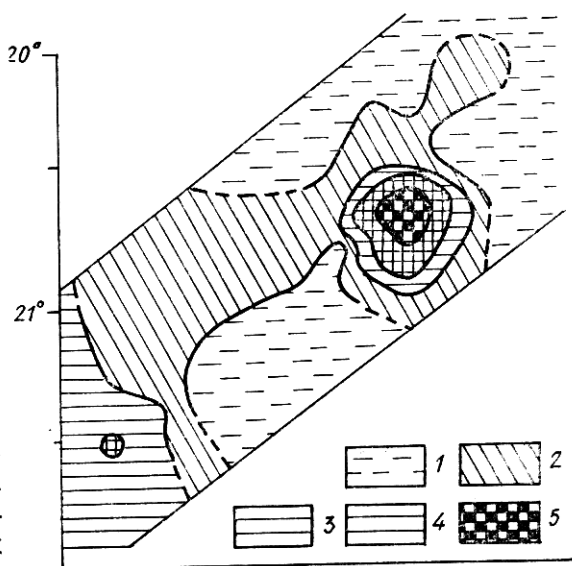


Рис. 1. Распределение концентраций АТФ общего микропланктона в слое 0—25 м акватории банки Дейвис, $\text{нг} \cdot \text{л}^{-1}$:

1 — 5—10, 2 — 10—15, 3 — 15—20, 4 — 20—30, 5 — 30—40.

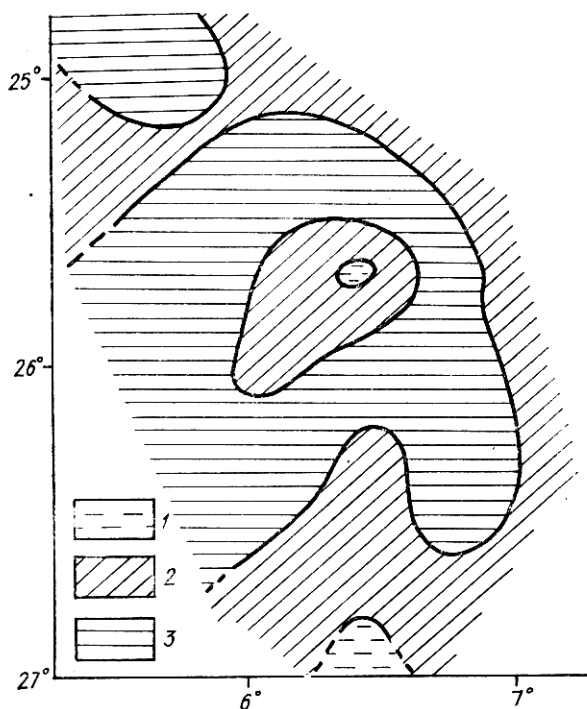


Рис. 2. Распределение АТФ общего микропланктона в слое над термоклином (0—30 м) акватории банки Вальдивия, $\text{нг} \cdot \text{л}^{-1}$:

1 — 5—10, 2 — 10—20, 3 — 20—30.

поле со значениями 20—30 $\text{нг} \cdot \text{л}^{-1}$. Аналогичная картина проявилась и при картировании значений АТФ фитопланктона. Характерно, что в обоих случаях наблюдалась тенденция развития поля с большими концентрациями в субмеридиональном направлении по ходу господствующего здесь течения непосредственно за вершиной. Справа от нее по течению проявлялись пятна более значительных концентраций, чем в центральной части полигона, что отвечает существующей концепции местных подъемов вод в районах поднятий, связанных со взаимодействием течений и силами Кориолиса для южного полушария. К югу от Вальдивии концентрации АТФ были минимальными. Таким образом, анализ распределе-

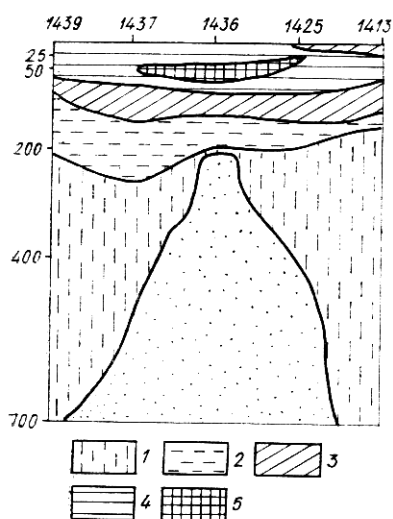


Рис. 3. Вертикальное распределение концентраций АТФ по меридиональному профилю района банки Вальдивия, $\text{нг} \cdot \text{л}^{-1}$:
1 — 1–5, 2 — 5–10.

ния АТФ, несмотря на небольшие абсолютные значения концентраций, позволяет подметить непосредственную связь повышенных концентраций с рассматриваемой горой и гидрологической обстановкой в районе. В этом отношении представляет интерес профиль акватории между тремя глубоководными станциями и двумя станциями с отбором проб до 200 м (рис. 3). Непосредственно над вершиной на глубине 25–75 м картируется линзовидная водная масса протяженностью до 40 миль с концентрациями АТФ микропланктона $30\text{--}40 \text{ нг} \cdot \text{л}^{-1}$. Ниже эвфотического слоя концентрации АТФ резко уменьшались и составляли $1\text{--}5 \text{ нг} \cdot \text{л}^{-1}$.

Район горы Вальдивия по средним значениям АТФ характеризовался несколько повышенными концентрациями по сравнению с полигонами Западной Атлантики. Полученные данные позволяют отнести акваторию Вальдивии к переходным от олиготрофных к мезотроф-

ным водам открытого океана.

Гора Удачная входит в систему хребта Вавилова, глубина вершины 580 м. Акватория расположена на периферии Южного субтропического круговорота и находится под влиянием Бенгельского течения и восточной ветви Южно-Атлантической циркуляции.

Согласно величинам, приведенным в таблице, роль АТФ фитопланктона на поверхности акватории горы Удачная составила 50% и оказалась минимальной при сравнении этого показателя с остальными районами. Для горизонта 25 м эта цифра увеличилась до 76%. Анализ данных по распределению АТФ микропланктона в слое над термоклином (0–25 м) позволил выявить зону повышенных концентраций, располагающуюся примерно вдоль хребта Вавилова с максимумами перед вершиной и за ней (рис. 4). Содержание АТФ в этой части акватории достигало $50\text{--}60 \text{ нг} \cdot \text{л}^{-1}$. Минимальные значения отмечены на южной периферии полигона. Вертикальное распределение АТФ микропланктона, прослеженное по четырем глубоководным станциям, носило тот же характер, что и над горой Вальдивия. Максимальные концентрации АТФ установлены на глубинах 25–75 м над склонами ($40\text{--}60 \text{ нг} \cdot \text{л}^{-1}$). Ниже зоны фотосинтеза концентрации АТФ не превышали $5 \text{ нг} \cdot \text{л}^{-1}$ (рис. 5).

Полученные данные позволяют рассматривать воды, омывающие гору Удачная, как переходные к мезотрофным. Концентрации АТФ микропланктона в этом районе превышают значения, полученные по другим полигонам, и охватывают значительно большие площади. Это может быть связано с влиянием трансформированных вод Бенгельского течения, богатых биогенными элементами, а также с масштабностью хребта Вавилова, определяющего гидрологическую обстановку в районе.

Закключение. Данные по полигонам банки Дэйвис и горы Модельная характеризовались относительной однозначностью параметров как по концентрациям АТФ общего микропланктона, так и по АТФ фитопланктона. Среднее содержание в слое 0–25 м составило около $18 \text{ нг} \cdot \text{л}^{-1}$. Доля АТФ фитопланктона в слое над термоклином на обоих полигонах оказалась близкой и составила 66 и 63%. Следует отметить четкую зональность в распределении АТФ микропланктона в акватории первого полигона, где максимальные величины ($30\text{--}40 \text{ нг} \cdot \text{л}^{-1}$) уста-

новлены непосредственно над банкой. По-видимому, малая глубина этого поднятия (60 м) оказала существенное влияние на распределение микропланктона в этой акватории, хотя в целом его развитие здесь в период исследования было незначительным. Вертикальное распределение АТФ на банке Дейвис характеризовалось максимумом в слое фотосинтеза на 100 м; другой относительный максимум, обусловленный бактериальной активностью, отмечен на глубине 700 м. В целом акватории обоих полигонов согласно существующим классификациям могут быть отнесены к олиготрофным водам открытого океана.

Акватории горных вершин Вальдивия и Удачная, выступающих над крупными океаническими хребтами, характеризуются более высокими значениями АТФ общего и фитопланктона. Средние концентрации суммарного АТФ в этих районах в слое над термоклином колебались от 25 до 33 $\text{нг} \cdot \text{л}^{-1}$. Доля фитопланктона составила соответственно 72 и 65%. Несмотря на относительную однозначность величин АТФ и однородность их распределения в акваториях горных вершин, непосредственно над сравнительно мелководной Вальдивией в поверхностном слое проявилась значная область максимальных концентраций. Такие области отчетливо выделяются и по вертикали над склонами гор на глубинах 25–75 м. Ниже фотической зоны относительные максимумы, связанные с бак-

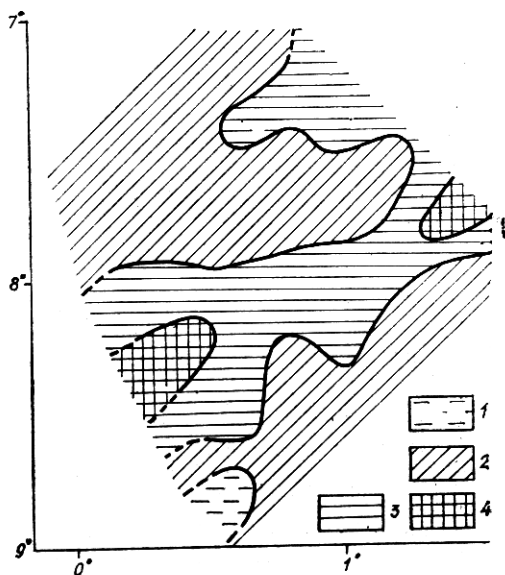


Рис. 4. Распределение концентраций АТФ общего микропланктона в слое над термоклином (0–25 м) акватории банки Удачная, $\text{нг} \cdot \text{л}^{-1}$:

1 — 10–20, 2 — 20–30, 3 — 30–50, 4 — 50–60.

Термоклином колебались от 25 до 33 $\text{нг} \cdot \text{л}^{-1}$. Доля фитопланктона составила соответственно 72 и 65%. Несмотря на относительную однозначность величин АТФ и однородность их распределения в акваториях горных вершин, непосредственно над сравнительно мелководной Вальдивией в поверхностном слое проявилась значная область максимальных концентраций. Такие области отчетливо выделяются и по вертикали над склонами гор на глубинах 25–75 м. Ниже фотической зоны относительные максимумы, связанные с бак-

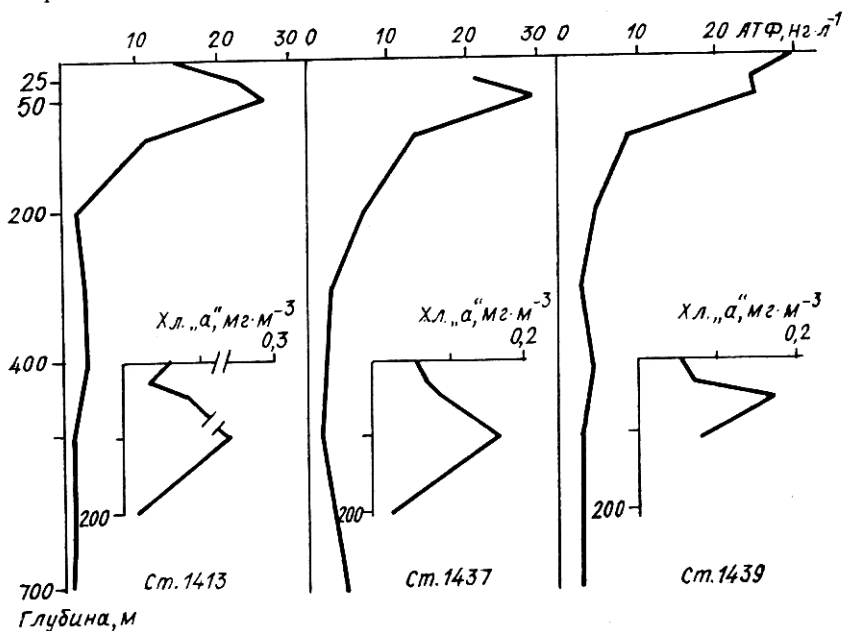


Рис. 5. Вертикальное распределение концентраций АТФ и хлорофилла «а» на глубоководных станциях банки Удачная.

териальной активностью, отмечались на 400, 500 и 700 м. В целом акватории гор Вальдивия и Удачная могут быть отнесены к переходным мезотрофным водам.

Анализ данных по всем полигонам показал закономерное увеличение концентраций АТФ от поверхности океана к слою термоклина. Роль фитопланктона при этом повышается. Несмотря на относительно близкие значения концентраций АТФ, варьирующих в пределах одного порядка, в распределении этого параметра намечается тенденция зависимости от поднятий морского дна. Достаточно четко это проявляется для акваторий вершин, глубины которых приурочены к зоне активного фотосинтеза (банка Дэйвис), а также для вершин, венчающих крупные региональные поднятия, такие, как хребты Китовый и Вавилова. Полученные величины АТФ микропланктона позволяют характеризовать акватории полигонов в общем как малопродуктивные, хотя и отличающиеся от фоновых характеристик открытого океана.

1. Миркина С. Д. Ферментативная активность и АТФ в водах северо-западной части Индийского океана. — Океанология, 1979, 19, вып. 4, с. 621—626.
2. Сибурт Дж. М., Лавуа Д. П. Нестандартный подход к оценке продукции гетеротрофов. — В кн.: Человек и биосфера. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1979, вып. 3, с. 43—50.
3. Сорокин Ю. И., Люцарев С. В. Сравнительная оценка двух методов определения биомассы планктонной микрофлоры. — Океанология, 1978, 18, вып. 2, с. 358—365.
4. Burney C. M., Johnson K. M., Loveie D. M. et al. Dissolved carbohydrate and microbial ATP in the North Atlantic: concentrations and interactions. — Deep-Sea Res. A, 1979, 26, N 11, p. 1267—1290.
5. Campbell W. B., Jacobsen T. R., Pomeroy L. R. Heterotrophic photoautotrophic index: A quantitative parameter of microbial interactions applied to a Gulf Stream intrusion. — Mar. Sci. Comm., 1979, 5, N 6, p. 383—398.
6. Karl D. M., Wersen C. O., Jannasch H. W. Deep Sea primary production at the Galapagos hydrothermal vents. — Science, 1980, 207, p. 1345—1347.
7. Luminometer for luminescence measurements. — Turku, Finland, 1981. — 67 p.

Ин-т биологии юж. морей

им. А. О. Ковалевского АН УССР, Севастополь

Получено 24.06.83

A. S. LOPUKHIN, A. G. BENZHITSKY

DISTRIBUTION OF MICRO- AND PHYTOPLANKTON ATP CONCENTRATIONS OVER THE BOTTOM ELEVATIONS OF THE SOUTH ATLANTICS

Summary

The ATP content of the micro- and phytoplankton in the regions of bottom elevations in the South Atlantic is determined. Microplankton distribution tends to depend on the character of the oceanic bottom elevations. The obtained values of ATP concentrations permit characterizing water surfaces of the studied proving grounds on the whole as being of low efficiency though differing from the background characteristics of the open ocean.

УДК 576.8.+577.472(26)

Г. В. ШУМАКОВА, Э. А. ЧЕПУРНОВА

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ БАКТЕРИОПЛАНКТОНА В РАЙОНАХ ПОДНЯТИЙ ДНА ЮЖНОЙ АТЛАНТИКИ

В проблеме изучения биологической продуктивности Мирового океана районы поднятий океанического дна занимают особое положение. В этих районах из-за сложной структуры динамики вод происходят существенные изменения гидрологических, гидрохимических и биологических характеристик, что может привести к повышению уровня биологической продуктивности.

Микробиологические работы выполнены в 11-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий» (ноябрь 1981—февраль 1982 гг.) в комплексе с