

ЭКОЛОГИЯ МОРЯ

1871



23

1986

11. *Holm-Hansen O., Booth C. R.* The measurements of adenosine triphosphate in the ocean and its ecological significance. — *Idem.*, 1966, 11, N 4, p. 510—519.
12. *Karl D. M.* Cellular nucleotide measurements and applications in microbial ecology. — *Microbiol. Rev.*, 1980, 44, p. 739—796.
13. *Thore A.* Hemiluminescent analysis in microbiology. — Helsinki; LKB—Wallac, 1981. — 48 p.

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

Получено 24.06.83

A. S. LOPUKHIN, I. V. KIRILLOV

ATP AS AN INDEX OF MICROPLANKTON BIOMASS DISTRIBUTION IN THE CENTRAL PART OF THE ARABIAN SEA

Summary

The plankton samples are investigated for ATP content and distribution of its concentrations in the surface layer and euphotic zone as an index of the biomass. The sampling technique and preparation of the samples for the chemiluminescent analysis as well as the method for measuring and counting the data are described. The biomass values obtained on the basis of the ATP data permit determining the investigated water area as oligotrophic or transitional to mesotrophic waters.

УДК 551.464(261)

В. М. ЧИСТЕНКО

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ БЕЛКА ВЗВЕШЕННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ АТЛАНТИКЕ

В исследованиях, связанных с продуктивностью Мирового океана, значительное место отводится взвешенному веществу [6, 9, 13]. Особое внимание сосредоточено на изучении его органической составляющей [3, 4, 9], включающей в себя живую (планктонную группу организмов) и мертвую (детрит) части взвеси. Одной из основных компонент взвешенного органического вещества (ВОВ) считается белок. В живой части ВОВ процентное содержание белка изменяется в широких пределах — от 25 до 88%, в детрите белок представлен в виде устойчивых белково-подобных соединений [7] и составляет 13—44% массы. Так как белок является важным энергетическим компонентом пищевой цепи в океане, содержание его во взвеси служит дополнительной характеристикой продуктивности вод Мирового океана. Однако сведения о количестве белка во взвеси довольно ограничены. По литературным данным [1], во взвеси водных масс Курило-Камчатского района оно находилось в пределах 1—100 мкг/л, для вод северо-восточной части Тихого океана приводится значение 144—284 мкг/л. В прибрежных водах залива Марсель [14], где содержание белка взвеси определялось два-три раза в месяц в течение года от поверхности до дна, концентрация его колебалась от 0 до 81,3 мкг/л. Самые высокие значения отмечены в весенне-летний период. В сестоне тропической Атлантики среднее содержание белка изменялось от 2 до 28 мг/м³ как по акватории, так и по вертикали [15]. Низкие значения, вероятно, можно объяснить, во-первых, преобладанием в центральных районах тропической Атлантики неживой материи в общей массе сестона, где ее относительное содержание может составлять в верхнем фотосинтезирующем слое воды более 90% и с глубиной достигать 99% [4]. Во-вторых, методика сбора проб (диаметр пор фильтра 1 мкм) исключала из определений бактериопланктон, который в состав живой материи сестона открытых районов океана вносит существенный вклад. На основании данных, полученных для центральных районов южной тропической зоны Атлантического океана, удельный вес

Таблица 1. Координаты станций отбора проб на белок во взвешенном веществе в юго-восточной части Южной Атлантики (5-й рейс НИС «Профессор Водяницкий», декабрь 1978 г. — февраль 1979 г.)

Номер станции	Координаты		Дата проведения работ	Глубина, м
	ю. ш.	в. д.		
376	30°00'	0°00'	17—19. XII	4000
380	30°00'	4°04'	20. XII	4800
382	29°59'	7°09'	21. XII	4950
383	30°00'	9°36'	22. XII	4800
390	19°00'	11°52'	3. I	240
394	21°00'	7°12'	5. I	3200
396	22°05'	4°50'	5. I	4200
399	24°10'	0°00'	7. I	5250
406	32°00'	0°00'	9. I	4125
413	35°00'	0°00'	10. I	4500
424	40°00'	0°00'	13. I	5100
426	40°35'	0°10'	15. I	4800
427	40°03'	0°03'	16—18. I	4800
428	41°45'	0°02'	19. I	1350
432	42°03'	1°06'	20. I	4320
434	41°57'	0°38'	21. I	1480
467	31°38'	7°48'	27. I	4640
469	31°39'	8°20'	28. I	88
481	30°00'	12°37'	15—16. II	3300

бактериопланктона в верхнем 100-метровом слое составлял 2,8—5,4% при содержании живой материи 3,1—6,6% от взвешенного вещества. При общем уменьшении живых компонентов взвеси (сестона) по вертикали, вклад бактерий возрастал и на глубинах 1000—3500 м бактериопланктон являлся единственным представителем живого вещества сестона, составляя 0,7—1,8% общей его массы [4]. Для вод Южной Атлантики [3] были получены сравнительные данные о содержании белка взвеси верхнего 500-метрового слоя на трех многосуточных полигонах, выполненных от района прибрежного апвеллинга Юго-Западного побережья Африки в глубь океана. Показано, что с удалением от апвеллинга концентрация взвешенного белка уменьшалась от 718,6 до 7,4 мкг/л. Максимальное содержание зарегистрировано в водах апвеллинга, минимальное — в старых трансформированных водах.

Материал и методы. В настоящем сообщении приводятся новые данные о белке взвеси верхнего 500-метрового слоя юго-восточного сектора Южной Атлантики, который относится к числу слабо изученных районов Мирового океана. Этот материал существенно дополняет сведения о белке взвешенного вещества водных масс периферии южного субтропического круговорота.

Работы проводились в районе, ограниченном на западе нулевым меридианом, на востоке — побережьем Юго-Западной Африки, на севере — 19° ю. ш. и на юге — 42°30' ю. ш. Координаты приведены в табл. 1. Расположение станций показано на рис. 1. Исследования проводили на трех разрезах: меридиональном и двух широтных, и на двух банках: Дисковери и Вима. Пробы морской воды брали на горизонтах: 0; 25; 50; 75; 100; 200 и 500 м 30-литровым винипластовым батометром одновременно с пробами на бактерио-, фито- и микрозоопланктон. Для сбора взвеси морскую воду (объемом около 5 л) фильтровали через мембранные ультрафильтры марки «Синпор» № 6 (0,45 мкм) с диаметром рабочей части 60 мм под давлением азота 0,03—0,04 МПа. Фильтр со взвесью промывали дистиллированной водой от растворимых солей, подсушивали при температуре 65—75°С. Белок определяли методом Лоури с использованием реактива Фолина [3].

Результаты и обсуждение. Наблюдения проводились в летний период Южного полушария с декабря 1978 г. по февраль 1979 г. в слож-

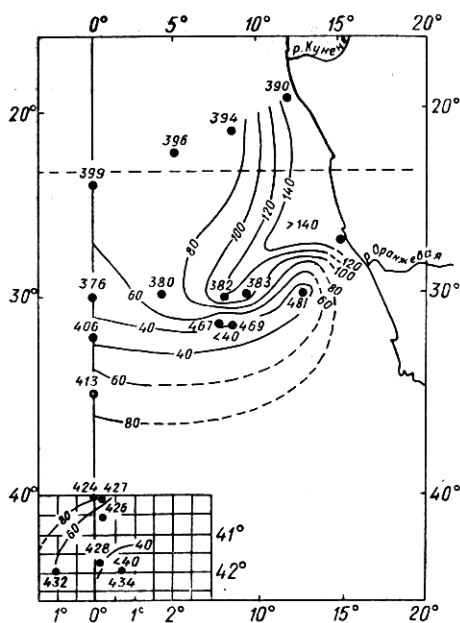


Рис. 1. Схема расположения станций и пространственное распределение белка взвешенного вещества (в мкг/л) в слое 0—100 м в юго-восточной части Южной Атлантики

изменялось в широких пределах — от 9,7 до 397,3 мкг/л. В целом для всего юго-восточного района средние концентрации изменялись в фотическом слое (0—100 м) от 32,6 до 152,8 мкг/л, в слое 100—200 м — от 12,0 до 119,9 мкг/л и в слое 200—500 м — от 10,7 до 72,9 мкг/л (табл. 2). Максимальные концентрации отмечены в водных массах Бенгельского течения, в прифронтальном районе субантарктического фронта и приблизительно в 180 км к северу от банки Вима, между 7°09' и 9°36' в. д. Низкие концентрации зафиксированы в водных массах внутренней части субтропической конвергенции, на крутом уступе материкового склона Западной Африки и над банками Вима и Дисковери.

На рис. 2 представлен широтный разрез по южному тропику, пересекающий субтропические воды периферии антициклонального круговорота и воды Бенгельского течения. Близость к шельфовой зоне, присутствие вод Бенгельского течения, богатых биогенными элементами, оказывают значительное влияние на развитие органической жизни этого района, что в свою очередь способствует увеличению концентраций ВОВ и непосредственно белка взвеси. Наиболее высокое содержание его характерно для шельфовой зоны Западного побережья Африки, где максимальные значения (284,0—347,0 мкг/л) зафиксированы над слоем галоклина. Этот поверхностный максимум связан с интенсивным развитием фито- и бактериопланктона [5, 11]. Четкую зависимость распределения белка взвеси от содержания фито- и бактериопланктона в связи с изменением гидрологических характеристик можно проследить по вертикальному профилю (рис. 3). Второй максимум (154,3 мкг/л), обнаруженный на глубине 100 м, по всей видимости, указывает как на присутствие организмов микрозоопланктона, где отмечалось его максимальное количественное развитие [12], так и на наличие отмершего органического вещества. Свидетельство тому — низкое процентное насыщение кислородом (49,9%) водных масс на глубине 100 м и ниже, что говорит об интенсивно протекающих процессах окисления органического вещества. Водные массы, располагавшиеся между максимума-

ном по гидрологическим, метеорологическим и динамическим условиям районе океана. Поверхностные воды были представлены субтропическими ($S=35,5-35,8\text{‰}$; $t=20-22^\circ\text{C}$) и субантарктическими: ($S=34,2-34,5\text{‰}$; $t=4-6^\circ\text{C}$) водными массами [10], между которыми в районе 36°—40° ю. ш. выделялся по гидрологическим и гидрохимическим характеристикам субантарктический фронт. На востоке субтропические водные массы ограничивались водами Бенгельского течения с пониженными температурой (15—17°C) и соленостью (35,3—35,4‰). Мощность субтропических вод в районе исследований колебалась от 80 до 280 м, ниже располагались центрально-атлантические водные массы ($S=35,5-34,5\text{‰}$; $t=15-6^\circ\text{C}$). В район исследований входила также одна из высокопродуктивных зон Мирового океана — шельфовая зона Западного побережья Африки.

Абсолютное содержание белка во взвешенном веществе исследуемого района океана в слое 0—500 м

Таблица 2. Средние содержания белка во взвешенном веществе по слоям (мкг/л)

Номер станции	Слой, м			Номер станции	Слой, м		
	0—100	100—200	200—500		0—100	100—200	200—500
390	152,8	119,9	—	424	87,7	34,0	—
394	55,5	65,0	72,9	426	51,4	34,3	—
396	64,2	35,2	29,8	427 (средне-сут.)	68,0	40,8	42,0
399	67,0	97,2	31,9	428	44,0	25,9	—
376 (средне-сут.)	56,2	36,4	37,1	432	64,0	24,3	27,8
380	62,6	39,2	55,0	434	32,0	28,9	—
382	118,6	51,6	39,6	467	47,8	41,0	42,8
383	111,3	62,4	71,4	469	(0—25 м)	(25—50 м)	—
406	37,4	19,7	25,6	481 (средне-сут.)	38,8	38,3	—
413	73,7	12,0	10,7		34,6	31,7	30,0

ми, характеризовались пониженным содержанием белка с минимумом (37,0 мкг/л) под пикноклином на горизонте 30 м.

В субтропических водах, выход которых на поверхность отмечен в районе 9° в. д., концентрация белка во взвеси верхнего 25-метрового слоя понижалась в четыре-пять раз по сравнению с шельфовой зоной. В районе исследования наблюдался сезонный термоклин, от глубины залегания которого изменялась численность фитопланктона, что, следовательно, вело к изменению содержания белка во взвеси. В западном направлении разреза параллельно снижению численности всех групп планктонных организмов и изменению их видового состава происходило снижение содержания белка во взвеси. Исключение составила ст. 396, где на горизонте 25 м отмечено его возрастание до 128 мкг/л. В данном случае увеличение происходило в результате повышенной деятельности фито- и бактериопланктона в верхнем 25-метровом слое над верхней границей термоклина. Возможно, это объясняется гидрологическим режимом поверхностных водных масс, в частности отмеченным здесь понижением солёности верхнего 30-метрового слоя до 35,6‰ по сравнению с водами, прилегающими с запада ($S=35,7‰$) и востока ($S=35,9‰$). На крайне западной станции разреза, при малых колебаниях абсолютных значений концентрации белка взвеси в верхнем 75-метровом слое от 50 до 64 мкг/л, на глубине 100 м наблюдалось его увеличение до 162 мкг/л, что, вероятно, обусловлено скоплением ВОВ — как живых организмов, так и детрита в слое скачка температуры и со-

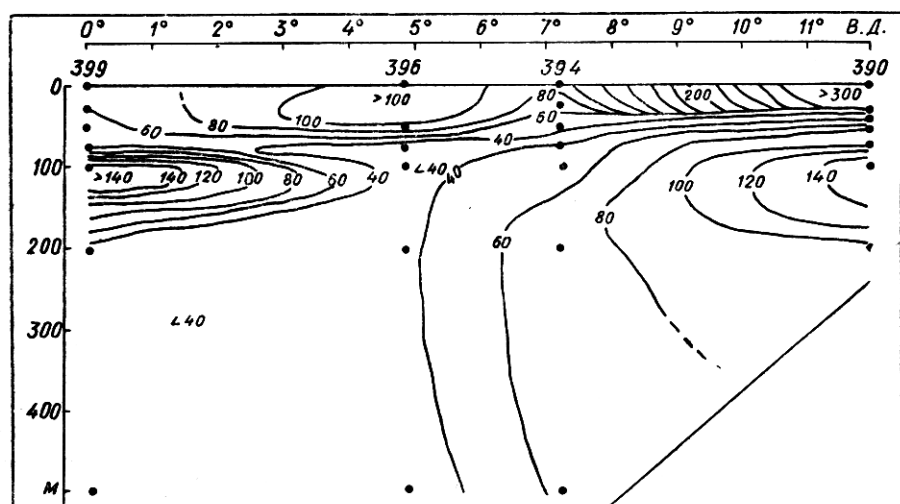


Рис. 2. Распределение белка взвешенного вещества (в мкг/л) в слое 0—500 м на широтном разрезе по южному тропику

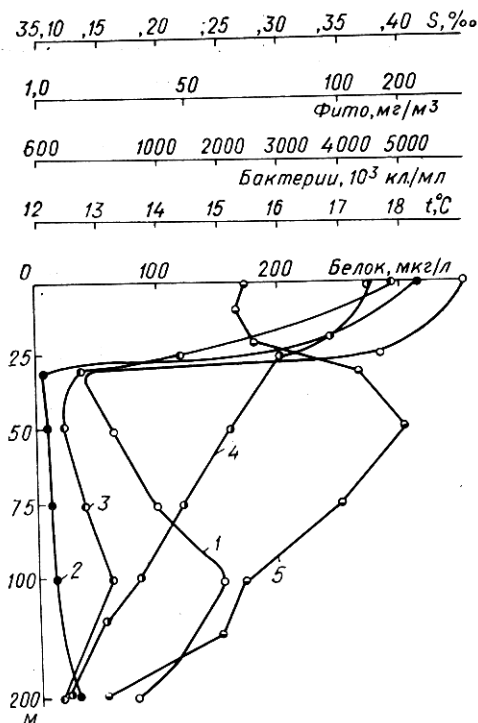


Рис. 3. Вертикальное распределение на шельфе Африки, ст. 390:

1 — белка взвеси; 2 — биомассы фитопланктона; 3 — общего числа бактерий; 4 — температуры; 5 — солености

(рис. 4, а), в слое 100—200 м — от 36,4—62,4 мкг/л и в слое 200—500 м — от 37,1 до 71,4 мкг/л (табл. 2). Область высоких концентраций белка взвеси, ограниченная изолиниями 80—100 мкг/л, пролегла между 5° и 10° в. д., занимая субтропические водные массы в слое 0—75 м с максимумами на 50 м — 207 мкг/л (7°09' в. д.) и 75 м — 163 мкг/л (9°36' в. д.). В обоих случаях максимум находился в слое скачка температуры и солености. На западе концентрации белка 60—80 мкг/л, видимо, характерные для зоны фотосинтеза района опускания субтропических вод, занимали верхний однородный 50-метровый слой. В восточном направлении они углублялись до 150—160 м (ст. 383). Далее этот слой выходил на поверхность приблизительно за 160—180 км от второй многосуточной станции (ст. 481). Повышенные количества белка ВОВ в слое 200—500 м, отмеченные в этом же районе, можно объяснить обилием мелких форм зоопланктона, в частности мелких сальп, тела и обрывки которых, а также их выделения, попадавшие в батометр, могли увеличить его содержание во взвеси. Схождение здесь же максимальных горизонтальных градиентов белка при сопоставлении с гидрологическими характеристиками подтверждает предполагаемую повышенную вертикальную и горизонтальную динамику вод 500-метровой толщи в зоне активного взаимодействия поверхностных субтропических, центральноатлантических водных масс с водами Бенгельского течения. Для большей части водной толщи ниже слоя активного фотосинтеза характерны концентрации 40—60 мкг/л. Низкое содержание белка во взвеси (менее 40 мкг/л) наблюдалось в слое 100—500 м между нулевым меридианом и 2° в. д., восточнее эти концентрации занимали слой 100—200 м, располагаясь между 2° и 4° в. д.

В субтропических водах на разрезе по нулевому меридиану (рис. 4, б) повышенные концентрации белка приурочивались к поверхностному однородному 20—25-метровому слою над верхней границей термокли-

лености над подстилающими его центральноатлантическими водными массами. Действительно, повышение активности фитопланктона отмечено здесь [11] как на поверхности, так и на горизонте 50 м, а присутствие нитритов по всей 500-метровой толще и повышенное их содержание в слое 30—100 м указывают на активно протекающие процессы распада органического вещества. С глубиной содержание белка во взвешенном веществе уменьшалось. Изолинии низких его концентраций, соответствующие 40 мкг/л и располагавшиеся на нулевом меридиане на глубине 150—175 м, поднимались в восточном направлении разреза в верхние слои. На 4°50' в. д. они занимали водную толщу от 50 до 500 м с минимумом на 75 м (29 мкг/л) и далее к шельфу вытягивались узкой полосой с выходом на горизонте 30 м.

На разрезе 30° ю. ш. происходило увеличение содержания белка ВОВ в восточном направлении в фотическом слое (0—100 м) от 56,2 до 118,6 мкг/л

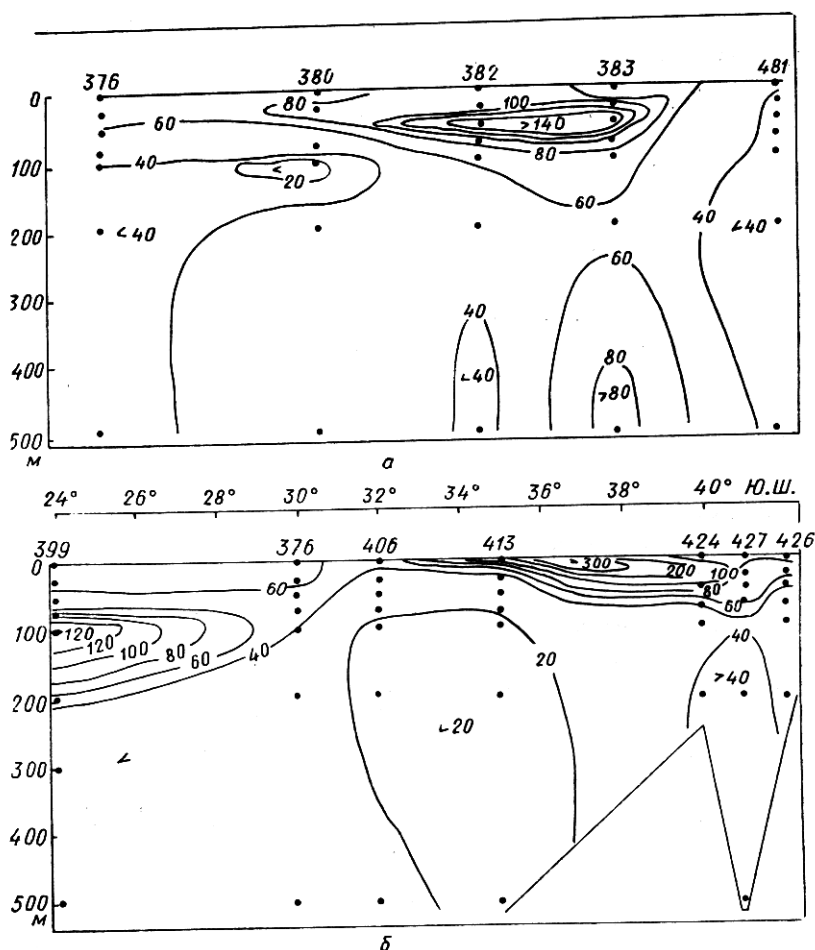


Рис. 4. Распределение белка взвешенного вещества (в мкг/л) в слое 0—500 м в юго-восточной части Южной Атлантики:

а — разрез по 30° ю. ш.; б — разрез по нулевому меридиану

на. На поверхности в прифронтальной зоне зафиксировано экстремальное значение — 397,3 мкг/л. Здесь же отмечалось увеличение численности фитопланктона и первичной продукции. Ниже наблюдался резкий спад количества белка. Между верхней границей термоклина и горизонтом 100 м содержание его изменялось от 26 до 33 мкг/л. Отличительная особенность этого района — появление очень низких концентраций (10—14 мкг/л) белка во взвеси, характерных для старых трансформированных центральноатлантических водных масс.

К 40° ю. ш. в субантарктических водах верхняя граница термоклина опускалась до глубины 50—75 м. Соответственно до этих же глубин опускались и более богатые белком воды с сохранением их высоких содержаний (80—100 мкг/л) на поверхности. Подобное распределение белка взвеси в верхнем 100-метровом слое субантарктических вод сходно с распределением фитопланктона. Глубже водные массы содержали 30—40 мкг/л белка во взвеси.

На банке Дискавери, имеющей две вершины и расположенной в субантарктических водных массах, наибольшие значения фиксировались около западной вершины с максимумами в слое 25—50 м (112,5—82,5 мкг/л). Низкие концентрации отмечены над ее восточной вершиной с максимумом на 50 м (68 мкг/л). С глубиной количество белка во взвеси снижалось в два-три раза и распределение по вертикали было однородно.

На банке Вима, расположенной в субтропических водах южнее 30° ю. ш., содержание белка во взвеси изменялось от 24 до 80,7 мкг/л (ст. 467, 469). Несколько более высокие концентрации зафиксированы над западным склоном. В обоих случаях максимумы отмечались на горизонте 25 м, что согласуется с максимумом первичной продукции у поверхности. Над западным склоном максимум составил 80,7 мкг/л, над вершиной — 50,6 мкг/л.

Анализ полученного материала по району исследования может быть сведен к следующему. В основном количественное содержание белка во взвешенном веществе дает нам качественное представление о состоянии водных масс, т. е. отражает насыщенность водных масс того или иного района живыми организмами. В большей мере это относится к бактериям и фитопланктону, что подтверждается нашими результатами. Высоким количествам белка во ВОВ шельфовой зоны соответствует высокая численность всей группы планктонных организмов, в прифронтальном районе — высокая численность фитопланктона и высокая первичная продукция. Отмечено сходство в вертикальном распределении белка и бактерио- и фитопланктона. Оно проявляется в расположении максимумов над верхней границей термоклина (и пикноклина) и в понижении их концентрации с глубиной.

Закономерное снижение концентрации белка с удалением от шельфовой зоны и зависимость распределения его от движения водных масс как вертикального (восходящие и нисходящие), так и горизонтального переноса можно проследить на рис. 1. Представленное на этом рисунке пространственное распределение белка взвешенного вещества фотического слоя наглядно демонстрирует соответствие динамического хода изолиний высоких его концентраций направлению движения меандрирующих потоков основных струй Бенгельского течения [2, 8]. Изолинии низких концентраций соответствуют субтропической конвергенции. Схождение максимальных горизонтальных градиентов белка ВОВ указывает, вероятно, на активные контактные зоны в районе периферии Бенгельского течения.

1. Богданов Ю. А., Григорович Ю. А., Шапошникова М. Г. Определение белка в водной взвеси. — *Океанология*, 1968, 8, вып. 6, с. 1087—1090.
2. Булатов Р. П., Галеркин Л. И., Поярков С. Г. О вертикальной циркуляции вод в юго-восточной части Атлантического океана. — Там же, 1973, 95, с. 20—27.
3. Витюк Д. М., Измestьева М. А. Белок и углеводы во взвешенном веществе Южной Атлантики и Средиземного моря. — В кн.: Экспедиционные исследования в Южной Атлантике и Средиземном море. Киев: Наук. думка, 1975, с. 137—148.
4. Витюк Д. М. Живая и неживая материя во взвешенном веществе Южной Атлантики. — *Биология моря* (Киев), 1979, вып. 49, с. 33—36.
5. Гутвейб Л. Г., Бучацкийская А. Н. Численность бактериопланктона юго-восточного сектора южноатлантического антициклонального круговорота. — *Экология моря*, 1980, вып. 4, с. 20—25.
6. Емельянов Е. М., Романкевич Е. А. Геохимия Атлантического океана. — М.: Наука, 1979. — 218 с.
7. Изменение химического состава воды и взвесей при распаде органического вещества фитопланктона в аэробных условиях / Б. А. Скопинцев, Э. С. Бикбулатов, Е. М. Бикбулатова, Н. И. Мельникова. — В кн.: Микробиологические и химические процессы деструкции органического вещества в водоемах. Л.: Наука, 1979, с. 159—186.
8. Морошкин К. В., Бубнов В. А., Булатов Р. П. Циркуляция вод в юго-восточной части Атлантического океана. — *Океанология*, 1970, 10, вып. 1, с. 38—47.
9. Романкевич Е. А. Геохимия органического вещества в океане. — М.: Наука, 1977. — 255 с.
10. Россов В. В., Демин Б. Т., Демина Н. В. Исследования водных масс юго-восточного сектора южноатлантического антициклонального круговорота. — *Экология моря*, 1980, вып. 4, с. 3—8.
11. Роухияйен М. И. Фитопланктон юго-восточного сектора южноатлантического антициклонального круговорота. — Там же, с. 9—14.
12. Скрябин В. А. Микрозоопланктон юго-восточной части Атлантического океана. — Там же, с. 30—35.
13. Страхов Н. М. Основные черты гидродинамического режима океанской водной толщи. Взвеси. — В кн.: Химия океана. Геохимия донных осадков. М.: Наука, 1979, т. 2, с. 30—51.

14. *Raoul A. Daumas*. Variations of particulate proteins and dissolved amino acids in coastal sea water. — *Mar. Chem.*, 1976, 4, p. 225—242.
15. *Hagmeier E.* Zum Gehalt an Seston und Plankton in tropischen Atlantic. — *Helgol. land. Wiss. Meeresuntersuch.* 1964, 11, N 3—4, p. 270—286.

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

Получено 25.10.83

V. M. CHISTENKO

SPATIAL DISTRIBUTION OF THE SUSPENDED MATTER PROTEIN IN THE SOUTH-EASTERN ATLANTIC

Summary

The paper is concerned with new data on the content of protein in the suspended matter in the upper 500-meter layer of the south-eastern sector in the South Atlantic. Its absolute values in the 0-500 m layer varied from 9.7 to 397.3 $\mu\text{g/l}$. Average content of protein in the suspended matter are presented for 0-100, 100-200 and 200-500 m layers. Structure and dynamics of water masses in the region under study affect the spatial and vertical distributions of the suspended matter protein. The differences in the protein concentration are mainly determined by qualitative development of phyto- and bacterioplankton.