

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНСКОЙ ССР
ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ ЮЖНЫХ МОРЕЙ ИМ. А. О. КОВАЛЕВСКОГО

ISSN 0203-4646

ЭКОЛОГИЯ МОРЕЯ



35

1990

РЕСПУБЛИКАНСКИЙ
МЕЖВЕДОМСТВЕННЫЙ СБОРНИК
НАУЧНЫХ ТРУДОВ

ЭКОЛОГИЯ МОРЕЯ

Основан в 1980 г.

Выпуск 35

КИЕВ НАУКОВА ДУМКА 1990

ЭКОСИСТЕМЫ ПЕЛАГИАЛИ

УДК 581.526.325:591.176.2(262.5)

Г. П. БЕРСЕНЕВА, Д. К. КРУПАТКИНА

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПИГМЕНТОВ ФИТОПЛАНКТОНА В ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЕЯ В РАННИЙ ЛЕТНИЙ ПЕРИОД

Представлено пространственное распределение хлорофилла по двум размерным группам фитопланктона в восточной части Черного моря по материалам 34-го рейса НИС «Академик Вернадский» в июне—июле 1986 г. Рассмотрен вклад двух размерных групп фитопланктона в общую биомассу в поверхностном слое и по глубине эвфотической зоны. Для олиготрофных областей доля мелких форм составляла 40—55%, для мезотрофных — 20—30. Для обеих фракций представлено вертикальное распределение концентрации активного хлорофилла и неактивной его части — феофигментов. Отмечено резкое возрастание относительного содержания феофитина ниже 50-метрового слоя и вариации этого показателя по сезонам.

Исследования последних лет свидетельствуют о том, что мелкоразмерные формы фитопланктона могут составлять существенный процент от общей биомассы и продукции. В олиготрофных водах вклад мелких форм пикопланктона (0,2—2 мкм) в первичную продукцию составляет 28—80% [15, 16]. Данные, полученные в мезотрофных и эвтрофных водах, показали значительный вклад (30—80%) более крупных форм ультрапланктона (2—5 мкм) [13, 14]. Однако остается неясным, как изменяется соотношение размерных групп в районах разной трсфности одного и того же водоема. Измерения содержания хлорофилла как показателя биомассы фитопланктона, интенсивно проводимые в западной и восточной частях Черного моря, не затрагивали этой проблемы [1, 4, 10].

В настоящей работе рассматривается содержание хлорофилла и феофитина в двух размерных группах фитопланктона, полученных с помощью последовательной фильтрации через два фильтра с диаметром пор 2,5 и 0,4 мкм марки СЫНПОР. Такое разделение не обеспечивает

четкого фракционирования по размерам клеток, так как могут встречаться агрегированные клетки или колониальные формы. Под размерными группами подразумеваются фракции фитопланктона, задерживаемые фильтрами с указанным размером пор.

Материал и методика. Материалом для настоящих исследований послужило определение содержания пигментов, проводимое в восточной части Черного моря с 13 июня по 3 июля 1986 г. во время 34-го рейса НИС «Академик Вернадский». Пробы воды отбирали 10-литровым пластмассовым батометром. Горизонты выбирали таким образом, чтобы обследовать слои с максимальными градиентами температуры и плотности в соответствии с оптическими характеристиками водных масс. В течение трех недель на 36 станциях отобрано 410 проб. Фильтры сохраняли в морозильной камере менее месяца. Экстракцию проводили 90%-ным раствором ацетона в течение 18 ч при 5–6 °С. Для измерения концентрации хлорофилла и феофитина использовали флюориметрический метод [11].

Результаты и обсуждение. *Пространственное распределение хлорофилла.* Распределение пигментов в поверхностном слое и по глубине эвфотической зоны представлено по сумме хлорофилла и феофитина для обеих фракций.

Район исследования охватывал центральную пелагическую область восточной части моря напротив Крымского полуострова и Керченского пролива и прибрежную — вдоль Кавказского побережья от Новороссийска до Батуми. Эти два района четко выделяются содержанием хлорофилла в поверхностном слое (рис. 1). Для открытой восточной части моря характерны величины 0,05–0,15 мг·м⁻³ с незначительным повышением до 0,17 мг·м⁻³ в центрах циклонических круговоротов севернее мыса Синоп и напротив, Батуми. В прибрежной зоне концентрация хлорофилла увеличивалась до 0,25–0,30 мг·м⁻³. Повышенное содержание пигмента отмечено также напротив Керченского пролива. Это районы максимального развития фитопланктона в Черном море, что подтверждается во все периоды наблюдения, хотя они могут быть несколько смещены в пространстве в зависимости от изменения циркуляции вод, связанной с направлением и скоростью ветра [5].

Общая схема распределения фитопланктона в исследованном районе представлена суммарным содержанием хлорофилла для всего эвфотического слоя (рис. 2). В прибрежной зоне эта величина составляла

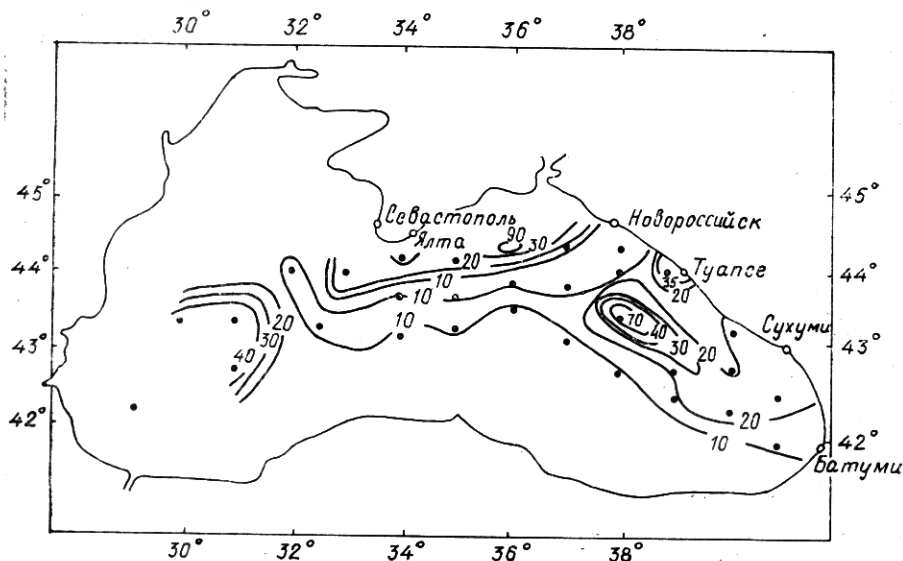


Рис. 1. Карта распределения концентрации хлорофилла обеих фракций в поверхностном слое

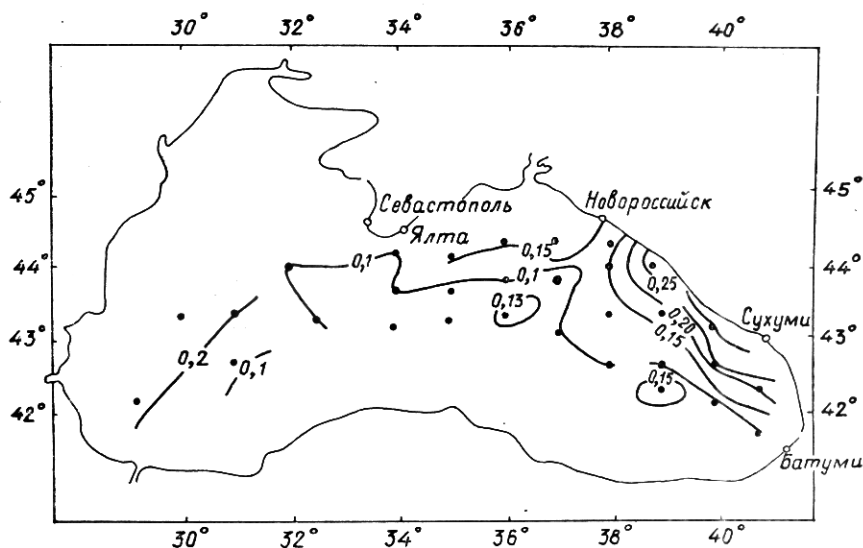


Рис. 2. Карта распределения концентрации хлорофилла в слое 0—100 м

27—35 $\text{мг} \cdot \text{м}^{-2}$, напротив Керченского пролива она достигала 90 $\text{мг} \cdot \text{м}^{-2}$, что характерно для эвтрофных вод. По этому показателю ядро максимального содержания хлорофилла (90—100 $\text{мг} \cdot \text{м}^{-2}$) в пелагической области сдвинуто в северо-восточную часть напротив Туапсе, что не отражалось на карте распределения хлорофилла в поверхностном слое. Для объяснения этих отличий необходимо проанализировать особенности вертикального распределения хлорофилла с привлечением данных по гидрологии исследованного района. В период измерений происходило формирование сезонного термоклина, расположенного на глубине 5—15 м. Второй скачок, обусловленный градиентом солености, находился на глубине 50—70 м. Сравнение содержания хлорофилла у побережья и в глубоководной части выявило различия в вертикальном распределении этого параметра. У побережья высокие значения получены в верхнем слое моря (20—30 м), в глубоководной части — в нижнем (50—70 м) (рис. 3). Это может быть связано с тем, что в неритических районах устойчивость поверхностных вод ослабляется сгонно-нагонными эффектами, которые вызывают подъем подповерхностных вод, обогащенных биогенными элементами. В пелагических районах устойчивость водной массы выше из-за пониженных линейных скоростей и, следовательно, турбулентного перемешивания [9].

Вследствие этого фитопланктон сосредоточен на большей глубине, где происходит повышение концентрации биогенных элементов.

В восточной части моря определяющее значение имеют постоянные течения, связанные с общей циркуляцией водных масс в Черном море, поэтому здесь следует ожидать большей стабильности показателей биомассы фитопланктона в одинаковые сезоны годы. Величины, измеренные летом 1986 г., повторяют картину распределе-

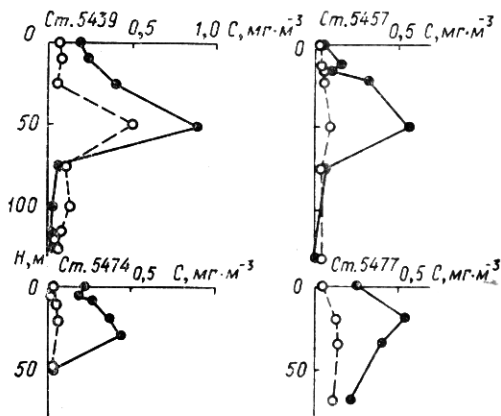


Рис. 3. Вертикальное распределение хлорофилла a (C_a), феофитина a (C_f) по глубине эвфотической зоны

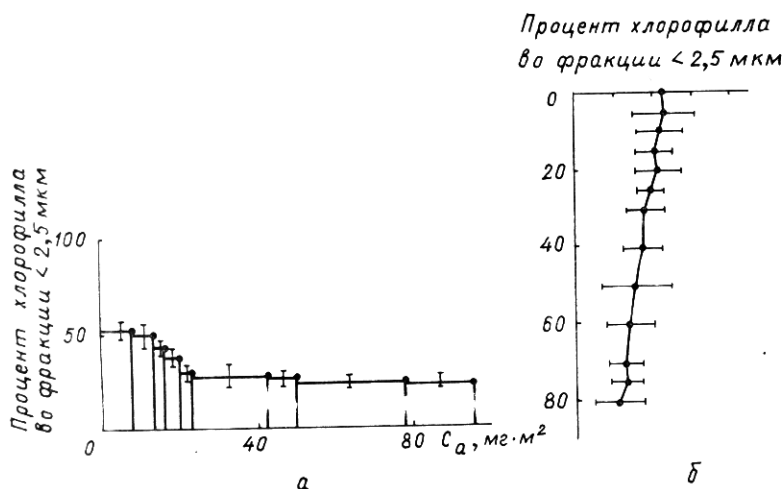


Рис. 4. Зависимость доли мелкой фракции от интегральной концентрации хлорофилла в слое 0—100 м (а) и изменение вклада мелкой фракции с глубиной (б)

ния хлорофилла для поверхностного и всего эвфотического слоя, полученную летом 1980 г. [6].

Измерение содержания хлорофилла по двум фракциям фитопланктона позволило оценить их вклад в общую биомассу. При колебаниях интегрального содержания хлорофилла по эвфотической зоне от 6 до 96 $\text{мг} \cdot \text{м}^{-2}$ вклад мелкой фракции изменялся от 26 до 56%. Полученные пределы продемонстрировали зависимость соотношения двух фракций фитопланктона от продуктивности района (в данном случае от концентрации хлорофилла) (рис. 4, а). С повышением содержания хлорофилла «а» (C_a) уменьшался вклад мелких форм (0,4—2,5 мкм): для олиготрофных областей с концентрацией хлорофилла 10—30 $\text{мг} \cdot \text{м}^{-2}$ этот вклад составлял 40—55%, для мезотрофных районов с концентрацией 40—90 $\text{мг} \cdot \text{м}^{-2}$ процент хлорофилла в размерной группе <2,5 мкм уменьшался до 20—30%.

Прослеживалось уменьшение доли мелкой размерной группы с глубиной (рис. 4, б). Математическая обработка данных по 37 станциям показала, что в поверхностных слоях она составляла 40—45%, а с увеличением глубины уменьшалась до 23%. Таким образом, основной вклад в продукцию нижних горизонтов вносила фракция фитопланктона, задерживаемая фильтром с диаметром пор 2,5 мкм.

Соотношение хлорофилла и феофитина. С помощью флуориметрического метода рассчитаны отдельно концентрации хлорофилла и неактивной его части — феопигментов. На рис. 3 представлено вертикальное распределение этих двух компонентов по сумме двух фракций. В верхнем 50-метровом слое содержание феофитина составляло 15—27%. Ниже этого слоя отмечено резкое возрастание относительного содержания феофитина до 50—60% с повышением до 90—100% на глубине 100 м. Подобный характер распределения феопигментов наблюдается на протяжении многолетних исследований в Черном море [1, 3, 4, 9]. Эти наблюдения охватывали весенний, летний и осенний сезоны, т. е. периоды начала формирования или установившейся водной стратификации. Резкое возрастание феофитина в слое скачка в природных популяциях фитопланктона объяснялось накоплением в нем детрита и феофитинизацией, протекающей при низкой освещенности [17]. Однако в период перемешивания водных масс следует ожидать более равномерного распределения относительного содержания феофитина по глубине эвфотической зоны, поскольку благодаря турбулентному перемешиванию происходит перераспределение детрита, содержащего основное количество феофитина. Кроме того, в этих условиях рас-

тительные клетки часто попадают в хорошо освещенные слои, в которых не происходит феофитинизация. То же наблюдается на мелководных станциях, где воды достаточно перемешаны и характеризуются отсутствием температурных градиентов. Так, в северо-западном районе в прибрежной области величина относительного содержания феофитина практически не изменялась по глубине и составляла 20—45% [6].

При рассмотрении размерного распределения феофитина отмечается, что в мелкой фракции (<1—2 мкм) процент феофитина по отношению к хлорофиллу выше, чем в более крупной фракции. Это означает, что в мелкую фракцию включается больше детритного материала, чем во фракциях 3—10 и 10—20 мкм. В данном случае фитопланктон с нижних горизонтов эвфотической зоны на 80% представлен крупной фракцией (>2,5 мкм), в которой относительное содержание феофитина выше (в среднем на 23%), чем в мелкой (в среднем на 16%). Вероятно, менее благоприятные световые условия привели к деструкции хлорофилла в этой размерной группе.

В переходной зоне от кислородной к сероводородной (глубина 100—160 м) крупная фракция (>2,5 мкм) была представлена на 15—30% хлорофиллом *a* и на 70—90% феофитином. Наблюдения за видовым составом этой размерной группы показали наличие здесь синезеленых водорослей, составляющих около 30% общей численности, 8 перидиниевых и 10% диатомовых. Остальная биомасса представлена золотистыми и мелкими жгутиковыми [8]. Отмечено, что клетки находились в плохом физиологическом состоянии. Подавляющая часть клеток (75—100%) имела обесцвеченные или полностью разрушенные хроматофоры, что согласуется с представленным пигментным составом.

Мелкая фракция (0,4—2,5 мкм) в редоксзоне содержала в основном хлорофилл *b*, что установлено по спектрам поглощения ацетоновых экстрактов пигментов и кислотному фактору K_x (отношение флуоресценции экстрактов до и после подкисления). Как видно из рис. 5, у фитопланктона с глубины 50 м наблюдался обычный спектр поглощения с максимумами при 430 и 667 нм. Уже на глубине 90 и 105 м в спектре абсорбции появился хлорофилл *a* с максимумами поглощения при 450 и 667 нм. Кислотный фактор K_x в исследованных пробах колебался от 0,50 до 0,90. У чистого хлорофилла *b* этот показатель меньше единицы ($K_x=0,90$), поскольку при подкислении у феофитина *b* оптическая плотность возрастает по сравнению с хлорофиллом *b*. Величины ниже 0,90, вероятно, связаны с модификациями хлорофилла *b* на этих глубинах. Отсутствие хлорофилла *b* в пробах из редоксзоны свидетельствует об отмирании клеток фитопланктона и большей фотохимической стабильности вспомогательного пигмента по сравнению с основным. Видовой состав мелкой фракции в переходной зоне не учитывался.

Относительное содержание феофитина, полученное в летний период 1986 и 1982 гг. — 15—30% [3], в весенний и осенний периоды — 45—60% [7, 10]. Эта особенность отмечалась и ранее. Весной неактивный хлорофилл составлял до 40% общего содержания, летом — 5—20% [9]. Авторы связывают повышенное содержание феопигментов с интенсивным развитием и последующей гибелью двух массовых видов водорослей *Skeletonema costatum* и *Chaetoceros curvisetus*. Как показали наши последние исследования [2], именно эти два вида вызывают сильную феофитинизацию на фильтре, что может привести к определению завышенных величин феофитина. Для исключения артефакта

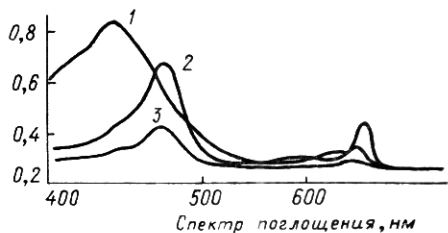


Рис. 5. Спектр ацетонового экстракта пигментов фитопланктона с глубины 50, 90 и 105 м

можно проводить контроль измерения феопигментов с помощью метода сгущения проб на нуклеопоровые фильтры [2]. Не исключено, что повышенное содержание феопигментов в весенний и осенний периоды связано с массовой гибелью этих видов водорослей.

Выводы. В олиготрофных областях восточной части Черного моря с концентрацией хлорофилла $10\text{--}30\text{ мг}\cdot\text{м}^{-2}$ вклад мелкой фракции составлял $40\text{--}55\%$, а для мезотрофных ($40\text{--}90\text{ мг}\cdot\text{м}^{-2}$) — этот вклад существенно ниже — до $20\text{--}30\%$. Доля мелкой фракции уменьшалась по глубине эвфотической зоны от 45 до 23%. В крупной фракции фитопланктона относительное содержание феофитина выше, чем в мелкой, и составляло 32 и 16% соответственно. Общее содержание феофитина в верхнем 50-метровом слое находилось в пределах $15\text{--}27\%$, а ниже отмечено его резкое возрастание до $60\text{--}90\%$. Летние показатели по относительному содержанию феопигментов ($15\text{--}30\%$) ниже весенних и осенних ($45\text{--}60\%$), что связано со спецификой видового состава фитопланктона в эти сезоны.

1. Берсенева Г. П., Франк Н. А., Анонасенко А. Д. Содержание хлорофилла *a* в планктоне Черного моря в период летней стратификации // Экология моря. — 1983. — Вып. 12. — С. 15—21.
2. Берсенева Г. П., Шалапенко А. А. Содержание феофитинов и хлорофиллоз в морских одноклеточных водорослях // Океанология. — 1986. — Вып. 3. — С. 481—486.
3. Берсенева Г. П. Пространственно-временное распределение хлорофилла *a* и его соотношение с феофитином в летний период 1982 г. // Динамика вод и продуктивность планктона Черного моря. — М., 1987. — С. 263—272.
4. Ведерников В. Н., Коновалов Б. В., Кобленц-Мишке О. И. Особенности распределения первичной продукции и хлорофилла в Черном море осенью 1978 г. // Экосистемы пелагиали Черного моря. — М.: Наука. — 1980. — С. 105—117.
5. Кондратьева Т. М. Количественное развитие и распределение фитопланктона // Основы биологической продуктивности Черного моря. — Киев: Наук. думка. — 1979. — С. 70—79.
6. Крупаткина Д. К., Кириллов И. В. Пространственное распределение хлорофилла *a* в Черном море и факторы, определяющие его в позднелетний период // Динамика вод и продуктивность планктона Черного моря. — М., 1987. — С. 231—239.
7. Макарова Н. П., Чурилова Т. Я., Жоров С. В. Пространственно-временное распределение хлорофилла *a* и его соотношение с феофитином в осенний период 1983 г. // Там же. — С. 272—282.
8. Островская Н. А., Ковалева Т. М., Скрябин В. А., Билева О. К. К вопросу о влиянии динамики вод на вертикальное распределение планктона в пограничной сероводородной зоне в Черном море в раннелетний период // Совершенствование управления развитием рекреационных систем. — Севастополь, 1987. — 21 с. — (Рукопись деп. в ВИНТИ. № 5805-B87).
9. Финченко З. З. Продукция фитопланктона // Основы биологической продуктивности Черного моря. — Киев: Наук. думка. — 1979. — С. 88—97.
10. Юнев О. А. Пространственно-временное распределение хлорофилла «a» и его соотношение с феофитином в весенний период 1981 г. // Динамика вод и продуктивность планктона Черного моря. — М., 1987. — С. 239—253.
11. Юнев О. А., Берсенева Г. П. Флуориметрический метод определения концентрации хлорофилла «a» и феофитина «a» в фитопланктоне // Гидробиол. журн. — 1986. — 22, № 2. — С. 89—95.
12. Herbland A., Le Bouteiller A., Raimbaut P. Size structure of phytoplankton biomass in the equatorial Atlantic Ocean // Deep-Sea Res. — 1985. — A32, N 7. — P. 819—836.
13. Joint J. R., Pomroy A. J. Production of picoplankton and nanoplankton in the Celtic Sea // Mar. Biol. — 1983. — 77. — P. 19—27.
14. Larson V., Hagstrom A. Fractionated phytoplankton primary production, exudate release and bacterial production in a Baltic eutrofication gradient // Ibid. — 1982. — 67. — P. 57—70.
15. Li W. K. W., Subba Rao D. V., Harrison W. G. et al. Autotrophic picoplankton in the tropical ocean // Science. — 1983. — 219, N 4582. — P. 292—295.
16. Platt T., Subba Rao, Irvin B. Photosynthesis of picoplankton in the oligotrophic ocean // Nature. — 1983. — 301, N 5902. — P. 702—704.
17. Yentsch C. S. Distribution of chlorophyll and phaeophytin in the open ocean // Deep-Sea Res. — 1965. — 12. — P. 653—666.

PECULIARITIES OF DISTRIBUTION OF PHYTOPLANKTON PIGMENTS IN THE EASTERN PART OF THE BLACK SEA IN EARLY SUMMER

Summary

The content of chlorophyll and pheophytin was studied in two dimensional groups of phytoplankton in the eastern part of the Black Sea in June-July, 1986. The contribution of these groups of phytoplankton to the total biomass was estimated both in the surface layer and in the euphotic zone depth. The share of small forms for oligotrophic regions was 40-55%, that for mesotrophic ones — 20-30% with the tendency to decrease in the euphotic zone depth. Pheophytin is shown to prevail in the large fraction of phytoplankton.

УДК 579(26)

Э. А. ЧЕПУРНОВА, Л. Г. ГУТВЕЙБ

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ОЦЕНКИ СОДЕРЖАНИЯ ПИКОЦИАНОБАКТЕРИЙ В БАКТЕРИОПЛАНКТОНЕ ТРОПИЧЕСКОЙ АТЛАНТИКИ

На крупномасштабном полигоне в тропической Атлантике (12° с. ш.—1° ю. ш., 16° з. д.—32°30' з. д.) изучали закономерности распределения бактериопланктона и цианобактерий. Средняя биомасса бактериопланктона в слое 0—100 м составила 50,6 мг·м⁻³, цианобактерий — 9,9 мг·м⁻³. Максимальные концентрации суммарной биомассы бактериопланктона и цианобактерий обнаружены в районах прибрежного и океанического апвеллингов. В процентном выражении от суммарного количества бактериопланктона и цианобактерий доля цианобактерий на различных горизонтах водной толщи изменялась в среднем по полигону от 0,5 до 4,0% — по численности и от 4,7 до 23,4% — по биомассе.

Изучение биологической продуктивности открытых районов океана предусматривает получение характеристик количественного распределения всех компонентов структуры планктонного сообщества. В последнее время появился особый интерес к изучению планктонной пикофракции благодаря обнаружению в бактериопланктоне (методами люминесцентной и электронной микроскопии) множества (десятки и сотни тысяч в 1 мл воды) мелких автофлуоресцирующих клеток, отнесенных к хроококкоидным цианобактериям. По размерам и морфологии эти клетки похожи на бактериальные, но отличаются характерным желто-оранжевым свечением при возбуждении сине-фиолетовым светом в люминесцентном микроскопе [4, 5, 12, 15, 16]. Значимость этих организмов в планктонном сообществе оценивается очень высоко.

Судя по литературным источникам, при изучении микропланктона основное внимание исследователей было обращено на определение доли пикофракции в суммарном фитопланктоне [8, 13, 17, 18] или доли гетеротрофов в пикофракции [6], а также на изучение соотношения автотрофов и гетеротрофов в общем микропланктоне [7].

Информация о количественном содержании авто- и гетеротрофной компонент в суммарном бактериопланктоне была впервые получена нами [11].

В 47 рейс НИС «Михаил Ломоносов» (июнь — октябрь 1986 г.) в плане комплексного изучения динамически активной зоны тропической Атлантики были продолжены исследования по выяснению количественных соотношений между общим бактериопланктоном и цианобактериями.

Материал и методика. Закономерности распределения бактериопланктона и цианобактерий изучали на крупномасштабном полигоне, ограниченном с севера на юг 12° с. ш. — 01° ю. ш. и с востока на запад 16° з. д. — 32°30' з. д. (рис. 1).

Пробы воды для анализа отбирали со стандартных горизонтов (0,5—10, 20—25, 50, 75, 100, 125, 150, 200 м) в основном до глубины