

УДК 577.475(261/264)

**ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ
БИОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ ЮЖНОЙ АТЛАНТИКИ****Н. И. Кашкин**

В обзоре опубликованных данных о количественном распределении планктона у атлантических берегов Африки (Кашкин, 1958) была сделана попытка собрать и обобщить сведения из доступной автору литературы об основных особенностях распределения планктона в прибрежных водах Африки, освоение которых советским рыбопромысловым флотом в то время только еще начиналось. Сейчас в прибрежных водах Африки развернут интенсивный советский промысел рыбы и на очереди стоит промысловое освоение других районов. В частности, начал развиваться советский промысел тунцов в экваториальных и тропических районах (Жаров и др., 1964), сделаны первые попытки промысла антарктического криля (см. статьи этого сборника). В связи с этим возникла необходимость дать по возможности сжатую сводку накопленных к настоящему времени в мировой литературе сведений о количественном распределении планктона в Атлантическом океане. Сведения о сезонных и географических изменениях в планктоне низких широт необходимы в данном обзоре потому, что в ряде районов (например, в районе Бенгельского течения и в северной части шельфа Аргентины и Уругвая) бедные субтропические воды и сравнительно богатые воды холодных течений непосредственно примыкают друг к другу и смешиваются в зонах гидрологических фронтов. Отдельные стороны биологических последствий этого смешения и конвергенции течений в Южной Атлантике прослежены еще в очень малой степени. Поэтому общая характеристика планктона как тех, так и других вод сможет в дальнейшем облегчить более детальный анализ количественного распределения планктона в этих перспективных в промысловом отношении районах.

Автор не ставил перед собой задачу исчерпывающего использования многочисленных и разнообразных работ, посвященных количественному распределению планктона в отдельных районах Тропической и Южной Атлантики. В обзоре собраны и изложены результаты основных исследований количественного распределения планктона в рассматриваемых частях Атлантического океана, включая атлантический сектор Антарктики¹. Работы регионального значения использованы с возможной сте-

¹ В список литературы, как правило, внесены только источники, из которых заимствованы иллюстрации. Это же относится и к ссылкам в тексте.

пенью полноты только для одного из районов, а именно — восточной части Карибского моря и вод у северо-восточных берегов Южной Америки (на юг до Ресифе). Этот район Тропической Атлантики изучен в настоящее время очень неполно, что и заставило собрать все относящиеся к нему сведения, характеризующие распределение планктона.

В обзор включены также результаты исследований, выполненных в двух относительно небольших районах (Бенгельское течение и Патагонский шельф) английским «Комитетом Дискавери». Эти районы обладают сравнительно крупными промысловыми ресурсами.

В данной работе совершенно не затрагиваются особенности распределения антарктического криля (*Euphausia superba*) и других эуфауниид.

Исследования Советской антарктической экспедиции, продолжающиеся из года в год, охватывают в основном индо- и тихоокеанский сектора Антарктики. В атлантическом секторе эти исследования были весьма ограниченными по времени и захватили только самую западную его часть. Результаты советских исследований распределения планктона в Антарктике могут быть перенесены на атлантический сектор только после их корректировки в соответствии с особенностями гидрологического режима атлантического сектора. Подобная корректировка выходила за пределы задач данного обзора. Однако невозможно оставить в стороне один из основных результатов океанологических исследований Советской антарктической экспедиции, а именно — выявление сложности и четкой закономерности структуры Антарктической дивергенции. Эта дивергенция вызвана постоянным перемещением вокруг Антарктического материка глубоких атмосферных циклонов, в центральных частях которых возникают локализованные интенсивные циклонические круговороты океанских вод. В свою очередь в центральных частях циклонических круговоротов возникает интенсивный подъем поверхностных вод, в дальнейшем растекающихся по направлению к периферии циклонических круговоротов. В центре районов интенсивного подъема вод, скорость которого может в индоокеанском секторе достигать до 8,2 см/ч, количество фитопланктона обычно бывает очень небольшим: в быстро поднимающихся к поверхности водах его массовое развитие наступает только спустя некоторое время после подъема. В результате этого мощная вспышка фитопланктона обычно может быть обнаружена на некотором расстоянии от центрального района циклонического круговорота (Беклемишев, 1958). Антарктическая дивергенция представляет собой серию таких круговоротов, протягивающуюся приблизительно на одной и той же широте вокруг всего материка Антарктиды.

В районе дивергенции может наблюдаться сложная картина распределения планктона и чередование максимумов и минимумов его количества. Обычно максимум фито- и зоопланктона располагается один вслед за другим по направлению поверхностного течения, и максимум количества зоопланктона наблюдается на большем расстоянии от центра круговорота. Однако иногда в центральной части круговорота можно также обнаружить в поверхностных слоях воды сравнительно большое количество зоопланктона, в том числе и эуфауниид. Детали этой общей картины в атлантическом секторе пока еще не прослежены. Чрезвычайное плодородие вод антарктической зоны вызвано постоянным выносом богатых биогенными элементами подповерхностных вод в районе дивергенции на поверхность океана.

КАРТЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕРВИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ И КОЛИЧЕСТВА ПЛАНКТОНА

Закономерности количественного распределения жизни в океане освещены в многочисленных руководствах и сводках, поэтому на общих моментах в данном обзоре можно не останавливаться. Основные данные, характеризующие распределение количества планктона в Атлантическом океане, представлены в этом разделе в форме картосхем. Все

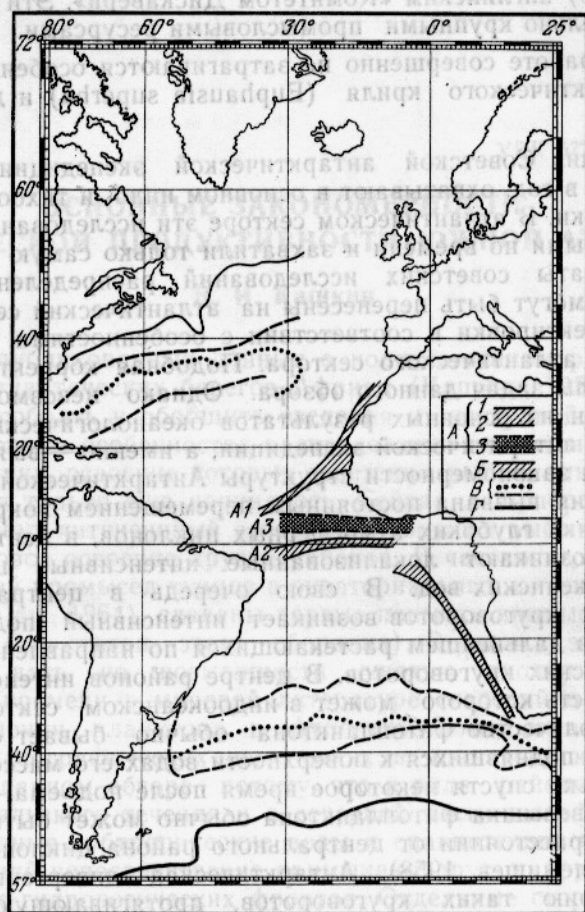


Рис. 1. Гидрологическая структура поверхностных вод Атлантического океана:

A — границы в тропосфере океана: 1 — дивергенция течений в районе островов Зеленого мыса (7—15° с. ш.); 2 — районы дивергенции экваториальных течений; 3 — конвергенция в районе экваториального противотечения (на глубине тропического слоя скачка температуры соотношение 2 и 3 обратное тому, которое наблюдается на поверхности); **B** — дивергенция в районе Бенгельского течения; **В** — среднее положение субтропической конвергенции и северные и южные границы района субтропической конвергенции; **Г** — океанический полярный фронт-антарктическая и арктическая конвергенции (Defant 1961)

необходимые пояснения отнесены в подписи к рисункам. Поскольку распределение количества планктона во многом зависит от гидрологических условий того или иного района, в число рисунков включена схема гидрологической структуры поверхностных вод Атлантического океана

по Дефанту (рис. 1). Сами по себе картосхемы (рис. 2—5), отражающие особенности распределения планктона, не требуют, на наш взгляд, более пространственных пояснений, чем сопровождающие их подписи.

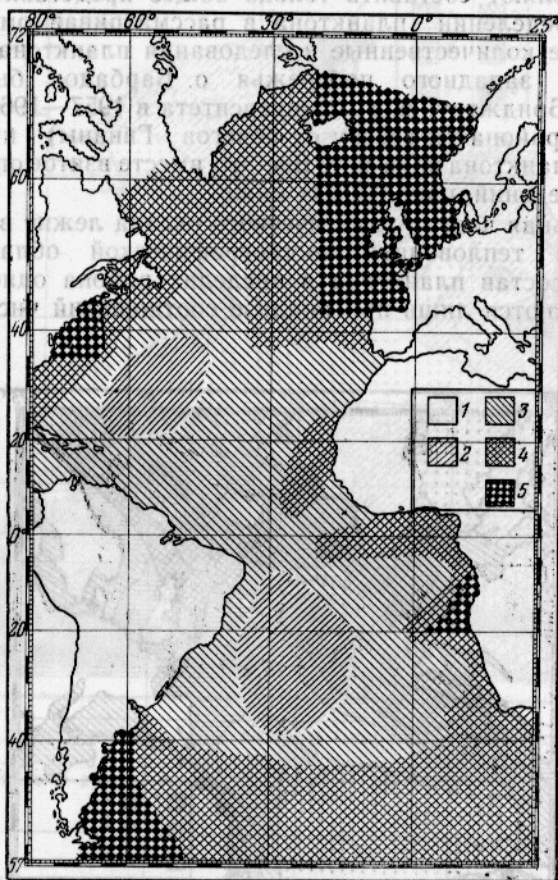


Рис. 2. Распределение продукции фитопланктона в Атлантическом океане:

1 — данных нет; 2 — 0—10; 3 — 10—25; 4 — 25—50;
5 — > 50 мг/м³ органического вещества за год
(Walford, 1958)

О КОЛИЧЕСТВЕННОМ РАСПРЕДЕЛЕНИИ ПЛАНКТОНА У СЕВЕРО-ВОСТОЧНЫХ БЕРЕГОВ ЮЖНОЙ АМЕРИКИ

Количественное распределение планктона в обширном районе от восточной части Карибского моря до широты устья р. Сан-Франсиску относительно мало изучено. Восточная часть рассматриваемого района (примерно до долготы устья Амазонки 50° з. д.) была исследована немецкой планктонной экспедицией на судне «Национал» (в сентябре—октябре 1889 г.), исследованиями С. Ломана с борта судна «Дойчланд» (в июле 1911 г.), исследованиями Немецкой атлантической экспедиции на экспедиционном судне «Метеор» (август 1926 г. — апрель 1927 г.), исследованиями советских экспедиций на экспедиционных судах «Михаил Ломоносов» и «Седов» в период Международного геофизического года и после него (1959—1962 гг.). Распределение фитопланктона в восточной части Карибского моря и в водах Атлантического океана

к востоку от Малых Антильских островов в годы после второй мировой войны изучали американские исследователи с судов «Атлантик» и «Крауфорд». Все эти исследования носили характер разовых эпизодических съемок и позволяют составить только общее представление о количестве и распределении планктона в рассматриваемом здесь районе. Круглогодичные количественные исследования планктона на единственной станции у западного побережья о. Барбадос были выполнены сотрудниками Бриджтаунского университета в 1957—1960 гг. Для центральной части района (к северу от берегов Гвианы) никаких данных о количестве планктона пока нет. Все это вместе взятое определяет фрагментарность сведений, приводимых ниже.

Экваториальная часть Атлантического океана лежит в пределах циркумтропической тепловодной зоогеографической области пелагиали. Качественный состав планктона в пределах района однороден. Различия обнаруживаются лишь при анализе соотношений численности орга-

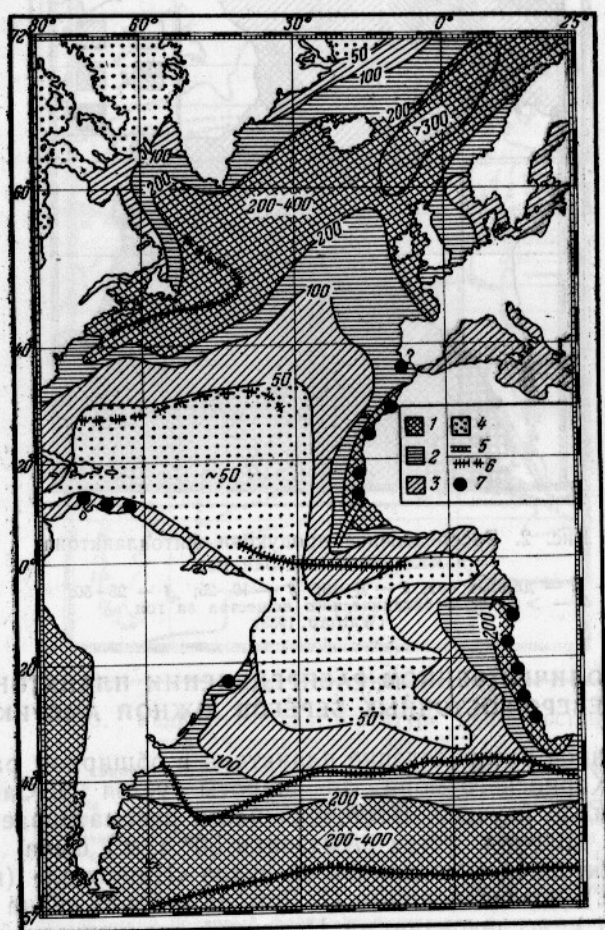


Рис. 3. Распределение продукции фитопланктона в Атлантическом океане:

1 — > 200; 2 — 100—200; 3 — 50—100; 4 — < 50 г углерода под 1 м² за год; 5 — дивергенция течений; 6 — дивергенция течений и другие границы течений; 7 — районы подъема глубинных вод (Gessner, 1959)

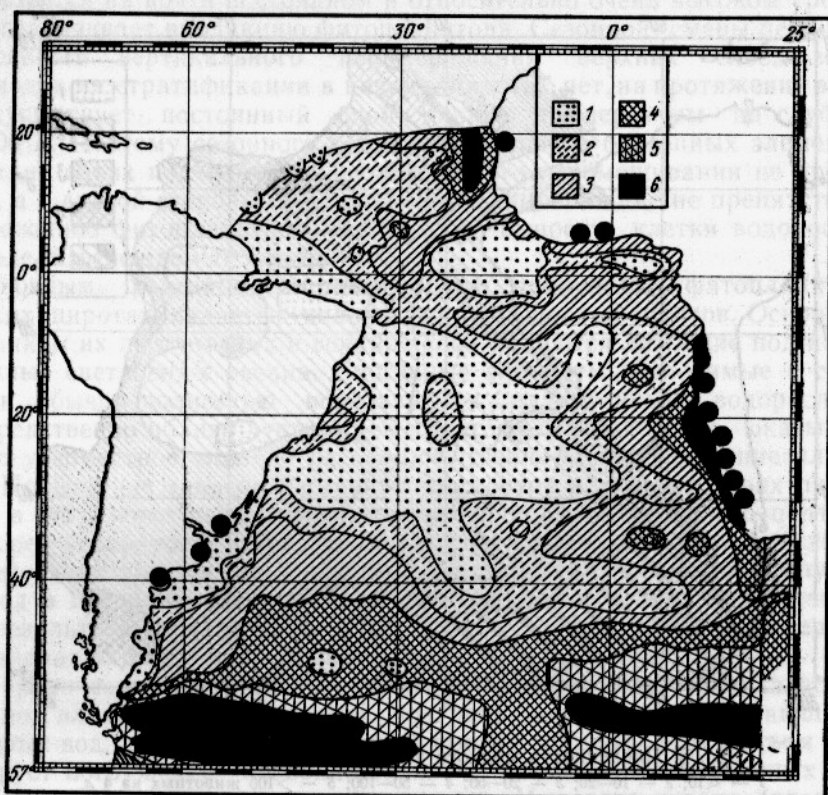
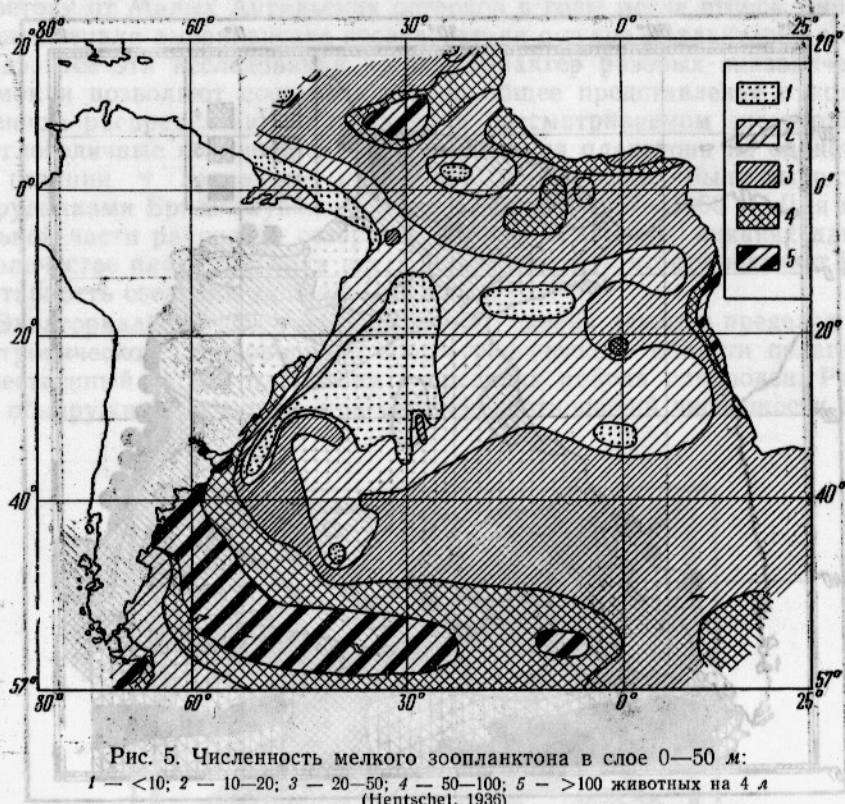


Рис. 4. Суммарная численность нано- и микропланктона в слое 0—50 м: 1 — <5; 2 — 5—10; 3 — 10—20; 4 — 20—50; 5 — 50—100; 6 — >1000 особей в 1 л. Кружками помечены районы возможного подъема вод у берегов (схематизировано) (Hentschel, 1933.)

низмов отдельных таксономических групп планктона. В целом население пелагиали отличается очень большим разнообразием видов по сравнению с пелагической флорой и фауной умеренных и высоких широт, при этом количество особей отдельных видов обычно не велико, а их численность никогда не достигает столь высоких величин, как в умеренных широтах. Исключением из этого правила, возможно, является состав планктона узкой прибрежной зоны и отдельных бухт и заливов, например залива Кариако, где некоторые виды встречаются как массовые формы. В фитопланктоне открытых вод преобладают по численности кокклитофориды и перидиней. Диатомовые водоросли преобладают в планктоне только в прибрежных и приустьевых районах. Одной из характерных особенностей фитопланктона тропических и экваториальных вод является присутствие морских пелагических сине-зеленых водорослей, из которых триходесмиум (*Oscillatoria* (*Trichodesmium*) *Thiebauti*) при массовом развитии может вызвать цветение моря, скапливаясь на поверхности в рыжеватые полосы до нескольких миль длиной. Цветение моря, вызванное триходесмиумом, наблюдается чаще всего в водах Северного экваториального течения.

Различия видового состава зоопланктона в целом в отдельных районах экваториальной зоны Атлантического океана у северо-восточных берегов Южной Америки пока еще остаются неисследованными, в част-



ности не ясен вопрос о распределении неритических и океанических видов планктонных животных.

Соотношение основных причин, определяющих количественное распределение планктона в низких широтах иное, чем в умеренных широтах. В умеренных широтах весь цикл продукции фито- и зоопланктона подчинен сезонным климатическим колебаниям. В первом приближении количество фитопланктона определяется, с одной стороны, сезонными колебаниями освещенности, концентрации солей биогенных элементов (азота, фосфора и других) и интенсивности вертикального перемешивания освещенных слоев моря, а с другой стороны, количество фитопланктона зависит от сезонных колебаний его выедания планктонными растительноядными животными — фильтраторами. Сезонные колебания количества зоопланктона определяются сезонными колебаниями количества растительной пищи (фитопланктона) и сезонными колебаниями выедания зоопланктона хищными беспозвоночными животными и планктоноядными рыбами. При этом отдельные фазы продукционного процесса следуют одна за другой по времени. Зимнее вертикальное перемешивание обновляет запасы биогенных элементов в освещаемых слоях моря. Весной на базе этих запасов под влиянием увеличения количества света и в результате прекращения вертикального перемешивания возникает вспышка интенсивного развития фитопланктона. В конце весны и начале лета происходит размножение основных массовых растительноядных планктонных животных — фильтраторов, в свою очередь используемых для откорма планктоноядными рыбами и их молодь.

В низких широтах количество солнечного света на протяжении всего

года остается на почти постоянном и относительно очень высоком уровне и не ограничивает продукцию фитопланктона. Сезонной смены периодов интенсивного вертикального перемешивания верхних слоев моря и периодов их стратификации в низких широтах нет, на протяжении всего года существует постоянный слой скачка температуры на глубине 60—100 м. Поэтому сезонного обновления запасов биогенных элементов в верхних слоях под влиянием вертикального перемешивания не происходит, а с другой стороны, вертикальное перемешивание не препятствует размножению фитопланктона, так как не выносит клетки водорослей за пределы освещаемых слоев.

Основным фактором, определяющим продукцию фитопланктона в низких широтах, является количество биогенных элементов. Основным источником их поступления в верхние слои являются лежащие под ними, лишенные света воды океана. Биогенные элементы, выносимые с суши реками, обычно полностью используются планктонными водорослями непосредственно вблизи устьев рек, поэтому речной сток оказывает только узкоместное влияние на количественное распределение планктона. Пополнение запасов биогенных элементов в верхних слоях происходит в результате двух процессов: постоянного медленного подъема вод через поверхность слоя скачка температуры, которое происходит по всей акватории океана в низких широтах (исключая районы опускания вод в центральных частях океанических круговоротов течений) и в результате локализованного подъема глубинных вод у берегов и в районах экваториальных дивергенций течений.

В тропических районах океана слой температурного скачка возникает под влиянием постоянного прогрева медленно поднимающихся холодных вод, подстилающих верхний прогретый слой. Этот подъем компенсирует погружение поверхностных и образование глубинных вод, которое происходит на высоких широтах Мирового океана (главным образом, в районах к югу от Гренландии и в море Уэдделла). Средняя скорость подъема вод через слой температурного скачка в низких широтах не превышает $5 \cdot 10^{-5}$ см/сек, поэтому темп обновления биогенных элементов в верхнем слое океана в результате этого процесса относительно очень мал и способен поддерживать существование лишь минимального количества планктона.

В тропиках по периферии океанических круговоротов течений (например, в южной части Саргассова моря) численность фитопланктона достигает максимума именно над слоем температурного скачка. Из-за большой прозрачности тропических вод на эту глубину проникает достаточное для фотосинтеза количество света. В этом слое максимальной численности фитопланктона используется большая часть биогенных элементов, приносимых с медленно поднимающимися холодными водами. Концентрация солей биогенных элементов в верхнем слое океана в результате этого может падать до аналитического нуля.

Гораздо большее значение для развития планктона в низких широтах имеет подъем вод у берегов под влиянием пассатов и так называемый возраст поверхностных вод. При подъеме вод на поверхность в некоторых случаях отдельные фазы продукционного процесса оказываются сдвинутыми друг относительно друга не во времени (как это обычно наблюдается в высоких и умеренных широтах), а в пространстве. В поверхностном потоке поднятых вод можно проследить определенную последовательность отдельных зон с качественно различным составом планктона. В непосредственной близости к району подъема вод располагается зона интенсивного развития фитопланктона, использующего свободные запасы солей биогенных элементов. По периферии

зоны интенсивного развития фитопланктона располагается зона развития планктонных растительноядных животных фильтраторов, вслед за которой иногда можно выделить зону преобладания в планктоне хищных беспозвоночных, планктоноядных и хищных рыб. По мере продвижения вод от районов подъема у берегов в открытый океан концентрация биогенных элементов в поверхностных слоях неуклонно снижается, падает и количество фито- и зоопланктона, воды течения «стареют». В несколько меньших масштабах аналогичный процесс имеет место в районах экваториальных дивергенций течений в открытом океане.

Интенсивность подъема вод у берегов зависит от сезонных колебаний силы и направления пассатных ветров, что в свою очередь вызывает сезонные количественные колебания планктона в тропических районах океана, находящихся под влиянием течений, в состав которых входят недавно поднятые «молодые» воды. При этом можно ожидать, что положение отдельных трофических зон, о которых речь шла выше, на протяжении года должно изменяться в зависимости от интенсивности пассатов и подъема вод. В деталях этот процесс сезонных колебаний количества планктона в тропических и экваториальных водах Атлантического океана пока еще остается не прослеженным.

Воды Атлантического океана у северо-восточных берегов Южной Америки по количеству планктона и в соответствии с гидрологическими особенностями могут быть грубо разделены на три основных района: Северное экваториальное течение; Южное экваториальное течение; прибрежные воды Венесуэлы. Относительно небольшой по площади район устья Амазонки несколько выделяется на общем фоне и может быть рассмотрен особо.

Достигающие берегов Южной Америки воды Северного и Южного экваториальных течений являются «старыми», численность планктона в этих водах лишь немного превышает минимальную для всего Атлантического океана численность планктона, которая отмечена в центральных районах Саргассова моря и южноатлантического круговорота течений. Численность фито- и зоопланктона в водах Северного экваториального течения несколько выше, чем в водах Южного и Бразильского течений, что является результатом влияния района дивергенции вод, располагающегося узкой полосой от западных берегов Африки (мыс Зеленый) до приблизительно $5-7^{\circ}$ с. ш. и $30-35^{\circ}$ з. д. Здесь по юго-восточной кромке Северного экваториального течения численность фито- и зоопланктона в слое $0-50$ м по материалам, собранным батометрами, составляет приблизительно $20-50$ тыс. клеток в 1 л и более 100 животных в 4 л соответственно (район $5-10^{\circ}$ с. ш., $30-35^{\circ}$ з. д.). Количество сестона в этом районе в слое $0-100$ м по материалам, собранным планктонными сетями (Канаева, 1963), также относительно выше, чем в других изученных участках западной половины Атлантического океана под низкими широтами ($250-500$ мг/м³).

По мере продвижения вод Северного экваториального течения от о-вов Зеленого Мыса на запад количество планктона в поверхностных слоях сильно снижается (рис. 6).

В Южном экваториальном течении численность планктона в слое $0-50$ м и объем проб сетного планктона в слое $0-200$ (300) м (рис. 7) также постепенно снижается от востока на запад по мере «старения» вод этого течения. Относительное повышение количества планктона, обнаруженное Немецкой планктонной экспедицией 1889 г. в экваториальных водах к северу от о. Вознесения, по-видимому, обусловлено подъемом вод на экваториальной дивергенции. В фитопланктоне здесь было много диатомовых водорослей.

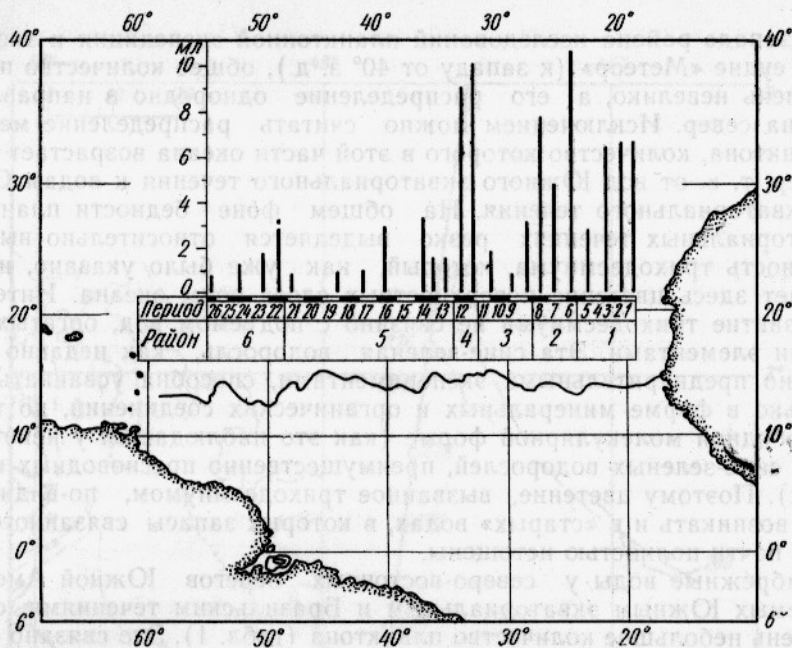


Рис. 6. Дрейф яхты «Пегула» (ломаная линия) и колебания объема поверхностных проб планктона (мл планктона на 1 милю дрейфа сети; средние по трехсуточным периодам по ходу судна). Сборы сетью с диаметром входного отверстия 50 см. (Evans, 1961)

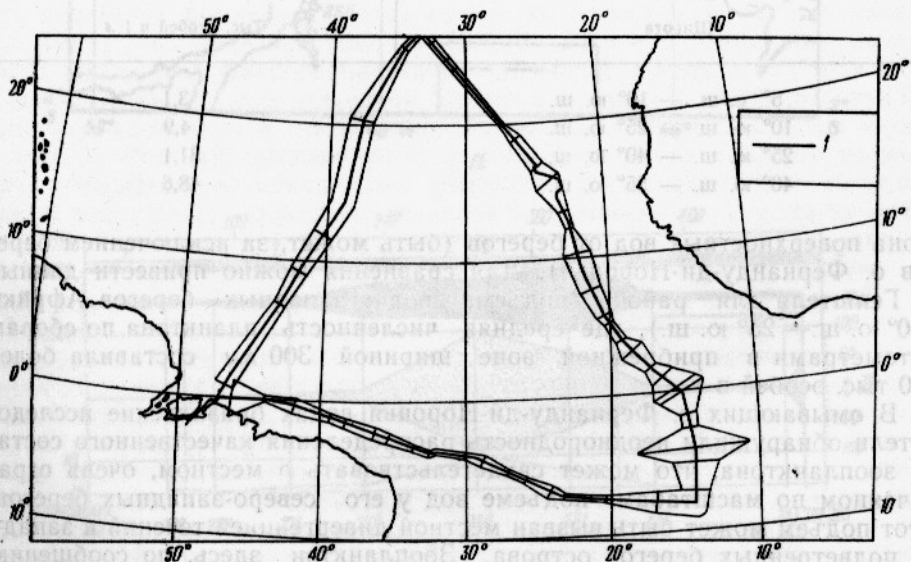


Рис. 7. Объем осадка проб планктона, собранных в сентябре—октябре 1889 немецкой планктонной экспедицией на судне «Национал» сетью Гензена с диаметром входного отверстия 35,7 см при вертикальных ловах с глубины 200—300 м до поверхности. За абсциссу принят путь корабля. По ординате объем планктона, 1 мл соответствует 0,45 мм: 1 — путь экспедиции (Schiitt, 1892)

На западе района исследований планктонной экспедиции и экспедиции на судне «Метеор» (к западу от 40° з. д.), общее количество планктона очень невелико, а его распределение однородно в направлении с юга на север. Исключением можно считать распределение мелкого зоопланктона, количество которого в этой части океана возрастает с юга на север, т. е. от вод Южного экваториального течения к водам Северного экваториального течения. На общем фоне бедности планктона в экваториальных течениях резко выделяется относительно высокая численность триходесмиума, который, как уже было указано, иногда вызывает здесь цветение поверхностных слоев воды океана. Интенсивное развитие триходесмиума не связано с подъемом вод, богатых биогенными элементами. Эта сине-зеленая водоросль, как недавно было выяснено предварительными экспериментами, способна усваивать азот не только в форме минеральных и органических соединений, но также и в свободной молекулярной форме (как это наблюдается у некоторых других сине-зеленых водорослей, преимущественно пресноводных и почвенных). Поэтому цветение, вызванное триходесмиумом, по-видимому, может возникать и в «старых» водах, в которых запасы связанного азота уже почти полностью истощены.

Прибрежные воды у северо-восточных берегов Южной Америки, омываемых Южным экваториальным и Бразильским течениями, содержат очень небольшое количество планктона (табл. 1). Это связано с тем, что здесь нет подъема вод на поверхность: ни сезонного, за счет вертикального плотностного перемешивания, ни местного, за счет ветрового

Таблица 1
Средняя суммарная численность планктона в прибрежной зоне шириной 300 км у побережья Южной Америки (Hentschel, 1936)

Широта	Тыс. особей в 1 л
5° с. ш. — 10° ю. ш.	3,1
10° ю. ш. — 25° ю. ш.	4,9
25° ю. ш. — 40° ю. ш.	31,1
40° ю. ш. — 55° ю. ш.	48,8

сгона поверхностных вод от берегов (быть может, за исключением берегов о. Фернанду-ди-Норонья). Для сравнения можно привести данные Э. Генштеля для района подъема вод у западных берегов Африки (10° ю. ш.— 25° ю. ш.), где средняя численность планктона по сборам батометрами в прибрежной зоне шириной 300 км составила более 300 тыс. особей в 1 л.

В омывающих о. Фернанду-ди-Норонья водах бразильские исследователи обнаружили неоднородность распределения качественного состава зоопланктона, что может свидетельствовать о местном, очень ограниченном по масштабам подъеме вод у его северо-западных берегов. Этот подъем может быть вызван местной дивергенцией течений к западу от подветренных берегов острова. Зоопланктон здесь, по сообщению бразильских планктологов, количественно относительно богат (Van-pucci, Queigoz, 1963).

Другим локальным районом с повышенным количеством фито- и зоопланктона является район стыка вод Амазонки и вод открытого океана (рис. 8, а, б). Здесь наблюдается явление так называемого речного фронта. К. Тиманн, обработавший сборы экспедиции, сделанные в апре-

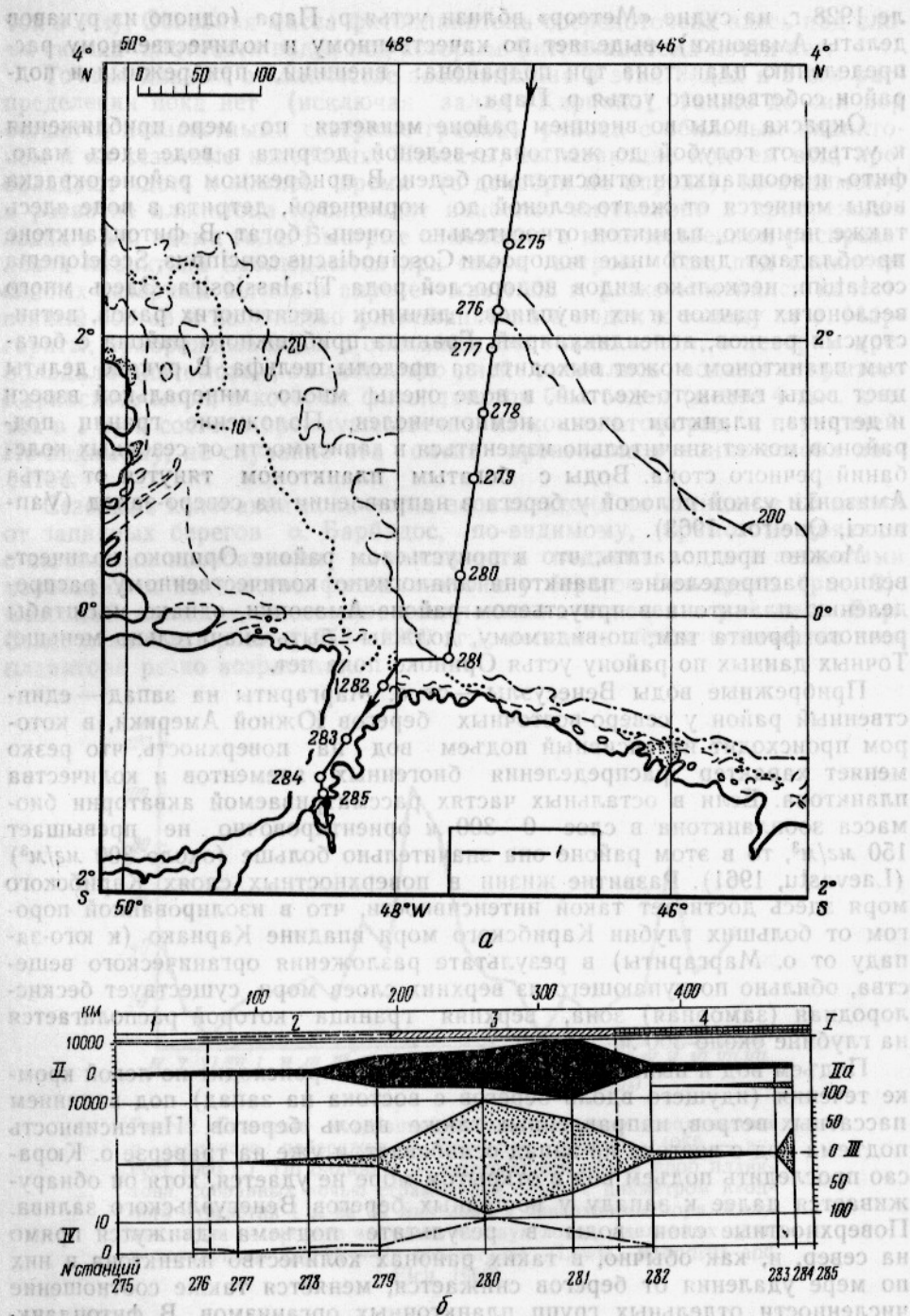


Рис. 8. Распределение планктона в приустьевом районе р. Амазонки и в р. Пара:

a — разрез и нумерация станций экспедиционного судна «Метеор»; *б* — границы района вод с измененной окраской и распределение планктона на поверхности океана: *I* — окраска воды: *1* — голубая, *2* — оливково-зеленая, *3* — оливково-зеленая и коричневая, *4* — глинисто-желтая; *II* — численность морских диатомей и пресноводных водорослей (*IIa*), число клеток; *III* — численность зоопланктона (число особей на 10 л); *IV* — численность аппендикулярий (число особей на 10 л) (Thienemann, 1934)

ле 1928 г. на судне «Метеор» вблизи устья р. Пара (одного из рукавов дельты Амазонки), выделяет по качественному и количественному распределению планктона три подрайона: внешний, прибрежный и подрайон собственного устья р. Пара.

Окраска воды во внешнем районе меняется по мере приближения к устью от голубой до желтовато-зеленой, детрита в воде здесь мало, фито- и зоопланктон относительно беден. В прибрежном районе окраска воды меняется от желто-зеленой до коричневой, детрита в воде здесь также немного, планктон относительно очень богат. В фитопланктоне преобладают диатомные водоросли *Coscinodiscus concinnus*, *Skeletonema costatum*, несколько видов водорослей рода *Thalassiosira*. Здесь много веслоногих рачков и их науплиев, личинок десятиногих раков, ветвистоусых рачков, аппендикулярий. Граница прибрежного района с богатым планктоном может выходить за пределы шельфа. В рукаве дельты цвет воды глинисто-желтый, в воде очень много минеральной взвеси и детрита, планктон очень немногочислен. Положение границ подрайонов может значительно изменяться в зависимости от сезонных колебаний речного стока. Воды с богатым планктоном тянутся от устья Амазонки узкой полосой у берега в направлении на северо-запад (Vapucci, Queiroz, 1963).

Можно предполагать, что в приустьевом районе Ориноко количественное распределение планктона аналогично количественному распределению планктона в приустьевом районе Амазонки, однако масштабы речного фронта там, по-видимому, должны быть значительно меньше. Точных данных по району устья Ориноко пока нет.

Прибрежные воды Венесуэлы — от о. Маргариты на запад — единственный район у северо-восточных берегов Южной Америки, в котором происходит интенсивный подъем вод на поверхность, что резко меняет характер распределения биогенных элементов и количества планктона. Если в остальных частях рассматриваемой акватории биомасса зоопланктона в слое 0—300 м ориентировочно не превышает 150 мг/м³, то в этом районе она значительно больше (около 300 мг/м³) (Laevastu, 1961). Развитие жизни в поверхностных слоях Карибского моря здесь достигает такой интенсивности, что в изолированной порогом от больших глубин Карибского моря впадине Кариако (к юго-западу от о. Маргариты) в результате разложения органического вещества, обильно поступающего из верхних слоев моря, существует бескислородная (заморная) зона, верхняя граница которой располагается на глубине около 300 м.

Подъем вод и вынос биогенных элементов происходит по левой кромке течения (идущего вдоль берегов с востока на запад) под влиянием пассатных ветров, направленных также вдоль берегов. Интенсивность подъема вод с востока на запад ослабевает, и уже на траверзе о. Кюрасао проследить подъем вод в открытом море не удастся, хотя он обнаруживается далее к западу у восточных берегов Венесуэльского залива. Поверхностные слои воды в результате подъема движутся прямо на север, и, как обычно, в таких районах количество планктона в них по мере удаления от берегов снижается, меняется также соотношение численности отдельных групп планктонных организмов. В фитопланктоне в непосредственной близости от берегов преобладают диатомовые водоросли, среди которых встречаются не только тропические океанические и неритические виды, но также и виды умеренно холодноводные.

Наибольшая численность фитопланктона отмечена в районе подъема вод у западного берега о. Маргариты (244 тыс. клеток в 1 л, апрель 1962 г.), велико оно также и у входа в залив Кариако (до 200 тыс. кле-

ток в 1 л). Основная масса фитопланктона сосредоточена здесь над слоем скачка плотности воды, под которым фитопланктона почти нет.

Точных данных о количестве зоопланктона в этих водах и о его распределении пока нет (исключая залив Кариако). Также до сих пор остаются неизвестными северные границы района с обильным планктоном и их сезонные колебания. Пассаты, вызывающие подъем вод, преобладают здесь в зимнее время (с декабря по апрель), по-видимому, и развитие планктона происходит наиболее интенсивно в прибрежных водах в это время года. Быстрые изменения в количественном распределении планктона наблюдаются при смене ветров. Так, под влиянием слабых северных ветров в апреле—мае 1962 г. резко изменился качественный состав и количество фитопланктона в водах к западу от о. Маргариты; прибрежные воды с обильным фитопланктоном, в котором преобладали диатомовые, за несколько дней сменились водами открытого Карибского моря, в которых фитопланктон был беден (менее 4 тыс. клеток в 1 л) и состоял преимущественно из кокколитофорид и перидиней. По-видимому, не случайно эта смена произошла в конце сезона пассатов.

Сезонные колебания количества зоопланктона на станции в 15 милях от западных берегов о. Барбадос, по-видимому, прямо не связаны с сезонными колебаниями интенсивности подъема вод и с сезонными колебаниями количества фитопланктона у берегов Венесуэлы (рис. 9). Сезонный минимум количества зоопланктона отмечен в районе о. Барбадос в зимнее время (1958—1960 гг.), весной и летом количество зоопланктона резко возрастает.

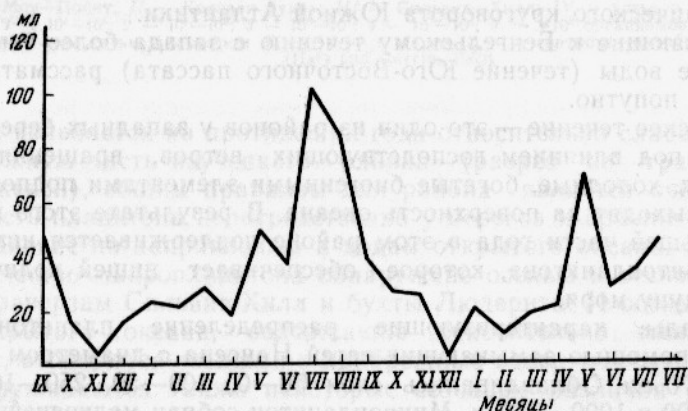


Рис. 9. Сезонные колебания количества макрозоопланктона у западного побережья о. Барбадос (сентябрь 1958 — август 1960 г.). По ординате — вытесненный объем проба планктона, собранных ночью страминовой сетью с диаметром входного отверстия 1 м за 30 мин лова у поверхности моря. Каждая точка — среднее значение из двух ловов, сделанных один в новолуние, другой — в полнолуние (Lewis, Brundritt and Eich, 1962)

В заключение следует кратко остановиться на сравнительной характеристике продуктивности открытого океана на умеренных и низких широтах. В нашем распоряжении есть данные только о разовых количествах фито- и зоопланктона. Минимальные концентрации планктонных водорослей и животных, наблюдаемые в водах низких широт, могут быть результатом не только неблагоприятных условий жизни в этих

водах (например, дефицита биогенных элементов), но также могут быть результатом очень интенсивного выедания водорослей планктонными растительноядными животными-фильтраторами, а планктонных фильтраторов — хищными беспозвоночными и планктоноядными рыбами.

Из-за напряженности пищевых связей отдельные фазы продукционного процесса проходят за сравнительно более короткое время. В результате объем хозяйственно-ценной продукции океана (возможный вылов рыбы и других объектов промысла) на низких широтах должен быть связан с разовыми величинами, характеризующими количество планктона, численно иным соотношением, чем в водах умеренных широт. Относительно низкая биомасса планктона в тропических водах по сравнению с водами умеренных широт еще не означает, что и продукция промысла на низких широтах должна быть во столько же раз ниже продукции промысла в умеренных широтах. В частности, по ориентировочным подсчетам, количество тунцов в экваториальных водах может составлять в среднем 2—3 кг/га (Riley, 1963).

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛАНКТОНА В ВОДАХ БЕНГЕЛЬСКОГО ТЕЧЕНИЯ (HART AND CURRIE, 1960)

Наблюдения, результаты которых излагаются ниже, проведены в феврале—марте и в сентябре—октябре 1950 г. с борта судна «Вильям Скорсби».

Название «Бенгельское течение» относится в данном случае к району холодных прибрежных вод, поднимающихся у побережий Юго-Западной Африки (15—34° ю. ш.). Эти воды образуют самую восточную часть антициклонического круговорота Южной Атлантики.

Примыкающие к Бенгельскому течению с запада более теплые субтропические воды (течение Юго-Восточного пассата) рассматриваются здесь лишь попутно.

Бенгельское течение — это один из районов у западных берегов материков, где под влиянием господствующих ветров, вращения Земного шара и т. д. холодные, богатые биогенными элементами подповерхностные воды выходят на поверхность океана. В результате этого на протяжении большей части года в этом районе поддерживается интенсивное развитие фитопланктона, которое обеспечивает пищей количественно богатую фауну моря.

Материалы, характеризующие распределение планктона, были собраны с помощью замыкающих сетей Нансена с диаметром входного отверстия 70 см. Облавливались слои 50—0, 100—50, 250—100, 500—250, 750—500 и 1000—750 м. Микропланктон собран мелкоячейной сетью с диаметром 50 см из газа с ячейей 40×50 мкм (вертикальный лов 100—0 м).

Среди планктонных водорослей по численности резко преобладают диатомовые, и в этом отношении фитопланктон Бенгельского течения напоминает фитопланктон антарктической зоны Южного океана. Однако монотонность фитопланктона Бенгельского течения значительно меньше, чем антарктического фитопланктона, и число видов, которые можно считать доминирующими, в Бенгельском течении относительно велико. Число видов, численность которых составляет не менее 50% от общей численности фитопланктона, в Бенгельском течении в два раза больше, чем в антарктической зоне.

Количественное распределение микропланктона в марте и сентябре—октябре 1950 г. (рис. 10) свидетельствует о том, что подъем вод существует в этом районе на протяжении всего года, а интенсивность этого

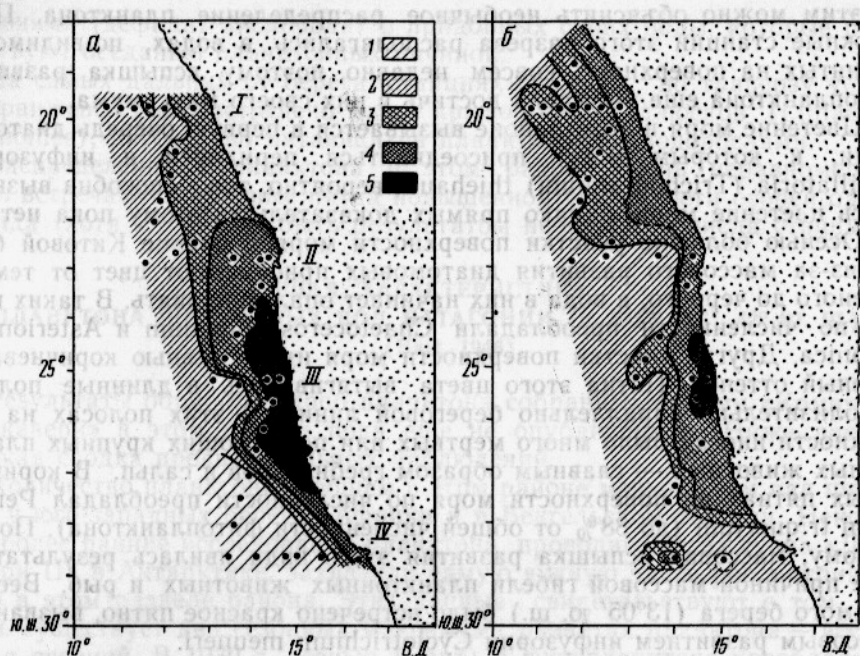


Рис. 10. Распределение микропланктона в слое 100—0 м в Бенгельском течении и прилегающих водах течения Юго-Восточного пассата:

I — Мунд-Пойнт; II — Китовая бухта; III — Сильвия-Хилл; IV — устье р. Оранжевой; 1 — 10^4-10^5 ; 2 — 10^5-10^6 ; 3 — 10^6-10^7 ; 4 — 10^7-10^8 ; 5 — $>10^8$ организмов в вертикальном лову сетью диаметром 50 см; а — в марте; б — в сентябре—октябре 1950 г. (Hart and Currie, 1960)

процесса колеблется на протяжении года относительно слабо. Исключая самую южную часть изученного района (разрез по траверзу устья р. Оранжевой), общим правилом для района является очень высокая численность планктона непосредственно у берегов и сравнительно быстрое ее падение по направлению к водам открытого океана. Максимальное количество микропланктона обнаружено осенью и весной на разрезах по траверсам Сильвия-Хилл и бухты Людериц. И осенью, и весной воды открытого океана, содержащие относительно малочисленный планктон, вторгаются языками в прибрежные воды.

Обнаруживаются также некоторые сезонные различия распределения микропланктона. Весной воды с максимальным количеством микропланктона (10^8 особей на лов сетью в слое 100—0 м) ближе прижаты к берегам, чем осенью, особенно на разрезе по траверзу Китовой бухты. Количество животных в микропланктоне, а также количество детрита весной было значительно выше, чем осенью. По-видимому, питание и рост мелких планктонных животных весной проходит интенсивнее и быстрее, чем осенью.

Распределение микропланктона на разрезе по траверзу устья р. Оранжевой весной (сентябрь—октябрь) было иным, чем в остальных частях района исследований. Численность неритических и океанических диатомовых достигала здесь наибольшей величины на двух наиболее удаленных от берегов станциях, тогда как в прибрежных водах фитопланктон был очень беден, а численность планктонных животных и количество детрита были относительно высоки. Интенсивность подъема вод в этой части района исследований в весеннее время была очень высокой. Имен-

но этим можно объяснить необычное распределение планктона. Прибрежные станции этого разреза располагались в водах, по-видимому, поднятых на поверхность совсем недавно, поэтому вспышка развития фитопланктона еще не успела достичь в них своего максимума.

Цветение моря в этом районе вызывается в первую очередь диатомовыми, к которым могут присоединяться перидинии и инфузории. *Oscillatoria* (*Trichodesmium*) *thiehaui*, вероятно, тоже способна вызвать здесь цветение моря, однако прямых доказательств этому пока нет.

Осенью большие участки поверхности моря в районе Китовой бухты из-за массового развития диатомовых приобретают цвет от темно-зеленого до черного, а вода в них начинает опалесцировать. В таких пятнах по численности преобладали *Chaetoceros didymum* и *Asterionella jaronica*. Другие участки поверхности моря имели осенью коричневатозеленый оттенок. Пятна этого цвета вытягивались в длинные полосы приблизительно параллельно береговой линии. В этих полосах на поверхности иногда было много мертвых или погибающих крупных планктонных животных — главным образом гребневиков и сальп. В коричневатых пятнах на поверхности моря по численности преобладал *Peridinium triquetrum* (до 88% от общей численности фитопланктона). По-видимому, массовая вспышка развития этого вида явилась результатом, а не причиной массовой гибели планктонных животных и рыб. Весной у самого берега (13°05' ю. ш.) было встречено красное пятно, вызванное массовым развитием инфузории *Cyclotrichium meuneri*.

Интенсивное развитие диатомовых водорослей вызывает накопление на дне мощной толщи диатомовых илов в районе 17°30'—25° ю. ш. Этот диатомовый ил содержит очень большое количество органического вещества, разложение которого вызывает возникновение анаэробных условий не только в донных отложениях, но и в придонных слоях воды.

Общая протяженность района придонных заторов достигает 400 миль вдоль побережья. Его ширина составляет 25—30 миль от берега. Донных животных в этом районе совершенно нет. Полоса темно-зеленого анаэробного ила залегает на глубине от 50 до 150 м; в непосредственной близости к берегу диатомовый ил сменяется серым илистым песком, на котором развивается обильная донная фауна. К югу от 25° ю. ш. полоса диатомового ила продолжается, но здесь в грунте преобладают окислительные условия и кислород в придонных слоях воды присутствует постоянно, по-видимому, в результате постоянного интенсивного подъема вод, содержащих относительно большое количество кислорода.

Обработка сборов зоопланктона в 1960 г. еще не была завершена, поэтому общая картина его распределения пока неясна, однако отдельные детали этой картины уже известны (по сборам осенью). Так, например, ракушковые рачки в районе Бенгельского течения являются группой, обитающей преимущественно в промежуточных слоях водной толщи. Наиболее часто встречающийся вид — *Conchoecia elegans* — населяет глубины 500—250 м. В прибрежных водах место ракушковых рачков занято ветвистоусыми, которые достигают максимальной численности у побережья на разрезе по траверзу Китовой бухты. Мизиды попадаются сравнительно редко, самый многочисленный вид *Gastrosaccus sanctus* встречен в сравнительно большом количестве в бедных планктонном водах, на траверзе устья р. Оранжевой.

Личинки некоторых донных животных на очень поздних стадиях развития, которые обычно они проходят уже после оседания на дно, были встречены в планктоне на траверзе Сильвия-Хилл наряду с некоторыми донными кумовыми рачками. Это можно объяснить неблагоприятными

условиями (дефицит кислорода) в придонных слоях воды, которые препятствуют оседанию планктонных личинок.

На самых дальних от берега станциях разреза по траверзу устья р. Оранжевой было встречено много крылоногих моллюсков (*Limacina bulimoides*), интенсивно питающихся планктонными водорослями.

Распределение зоопланктона в этом районе очень неравномерно, часто встречаются крупные пятна повышенной численности особей одного вида (хотя это может быть результатом небольшого числа станций).

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПЛАНКТОНА ШЕЛЬФОВЫХ ВОД ПАТАГОНИИ (К ЮГУ ОТ 42° Ю. Ш.) (Hart, 1946)

Результаты обработки проб планктона собранных судами «Комитета Дискавери» в этом районе пока еще не опубликованы. Ниже дается краткая сводка предварительных наблюдений.

Количество планктона в общем в этом районе меньше, чем над шельфом у юго-западных берегов Африки и в Бенгельском течении. Некоторые более ранние исследования планктона, проводившиеся с судна «Дискавери II» в Антарктике, захватили самую южную часть рассматриваемого в этом разделе района. Эти данные свидетельствуют о том, что здесь существует два сезонных максимума развития планктона — весенний и осенний. В 1930 г. осенью (март) в фитопланктоне преобладали несколько видов *Rhizosolenia*.

Таблица 2

Сезонные колебания количества фитопланктона в южной умеренной зоне
(частота встречаемости (в %) отдельных значений количества хлорофилла *a*
в единицах Харвея (Hart, 1946)

Единицы Харвея в 1 м ³	М е с я ц											
	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI
0—100	100	100	100	62,5	47,6	16,6	55,6	66,7	44,4	62,5	88,8	66,7
100—1000	—	—	—	37,5	38,1	41,7	44,4	33,3	44,4	37,5	11,2	33,3
1000—1500	—	—	—	—	14,3	41,7	—	—	11,2	—	—	—

Последующие исследования фитопланктона в районе шельфа Патагонии проводились методом Харвея (колориметрическая оценка количества хлорофилла *a* по стандарту).

Все данные, полученные в зоне умеренных широт методом Харвея, приведены в табл. 2. Малое число наблюдений и широкий разброс результатов отдельных определений не позволяет рассчитывать среднемесячные значения концентрации хлорофилла *a*, так как статистически эти средние оказываются недостоверными. Широкий разброс точек может свидетельствовать о пятнистом распределении планктона, которое часто наблюдается как в рассматриваемом районе, так и в других частях Мирового океана. Несмотря на то что данные, приведенные в табл. 2, получены на всем протяжении зоны умеренных широт южного полушария, они позволяют составить представление о сезонности планктона в западной части Атлантического океана, так как подавляющее большинство видов имеют циркумполярные ареалы и ход сезонных процессов во всей зоне сохраняется одинаковым вне зависимости от долготы.

Величины 1000 единиц Харвея на 1 м³ и выше получены только в ноябре, декабре и марте. Величины 100 единиц в 1 м³ и ниже в это время года составляют относительно небольшой процент к общему числу определений, выполненных в эти месяцы. Сезонный цикл развития фитопланктона в умеренных широтах имеет тот же характер, что и в северном океаническом районе антарктической зоны (Hart, 1942), но сезонный максимум наступает здесь немного раньше.

Весной 1936 г. (ноябрь) серия определений была проведена как в водах Патагонского шельфа, так и в океанических водах вблизи него. В это время над шельфом в поверхностных водах фитопланктона было очень немного; а на некоторых океанических станциях было обнаружено большое количество его. По-видимому, весенний максимум фитопланктона в водах шельфа в момент наблюдений уже заканчивался, тогда как в океанических водах наблюдения совпали по времени с разгаром весенней вспышки.

Более раннее начало весны в планктоне над шельфом по сравнению с океаническими водами — в настоящее время общеизвестная закономерность. Основная масса наблюдений, позволившая сформулировать это положение, была получена в водах Северо-Восточной Атлантики, где относительно теплые воды продвигаются по направлению к полюсу. В Патагонском районе холодное течение идет к экватору, что наряду с обширностью самого шельфа (площадь его превышает площадь Северного моря), относительной простотой морфологии дна и сравнительно меньшей географической широтой района не позволяет проводить полную аналогию между сезонным циклом развития планктона в водах Северной Атлантики и в водах Патагонского шельфа. Исходя из этой аналогии, следовало бы признать, что весенний пик развития фитопланктона в водах Патагонского шельфа не может наступить ранее декабря. Однако известно, что в антарктической зоне развитие фитопланктона по сравнению с северным полушарием на тех же широтах наступает позже, а в северной части антарктической зоны весенний максимум планктона наблюдается в неритических водах раньше, чем в океанических (Hart, 1942). Как и в антарктической зоне, так и в зоне умеренных широт период вспышки фитопланктона в океанических водах наступает по сравнению с северным полушарием относительно позднее (в пятом и шестом месяце года южного полушария).

Весьма возможно, что в ноябре 1936 г. весенняя вспышка фитопланктона в водах Патагонского шельфа уже закончилась. Дополнительным подтверждением этому служит падение температуры воды по мере удаления от берегов в открытый океан, которое указывает, что прогрев вод на шельфе уже начался. Он сопровождался образованием слоя скачка, что должно было способствовать более раннему началу вспышки диатомей в водах шельфа. Весьма возможно, что и сравнительная бедность планктона в этом прибрежном районе, по данным экспедиции на судне «Метеор», в январе 1926 г. также отражает начало летнего минимума количества планктона.

Одной из наиболее ярких особенностей зоопланктона в районе Патагонского шельфа являются массовые скопления лобстер-крыля. (*Grimothoa* — пелагическая молодежь *Munida gregaria*), которые чаще всего встречаются в летнее время. Иногда массовые скопления на поверхности моря образуют и взрослые особи этого вида. Скопления личинок бывают столь плотными, что вызывают окрашивание поверхности моря в красноватые тона. На более поздних стадиях развития этот вид приурочен к мелководьям Фолклендских островов и побережья Патагонии (рис. 11). Близкий вид *M. subrugosa* распространен на шельфе более

широко и иногда встречается в еще большем количестве, чем *Munida gregaria*. Молодь *M. subrugosa* составляет существенную часть нектобентоса, но не поднимается к поверхности моря. Виды рода *Munida* играют большую роль в пищевых цепях в этом районе, так как являются излюбленной пищей китов, тюленей, птиц и рыб.

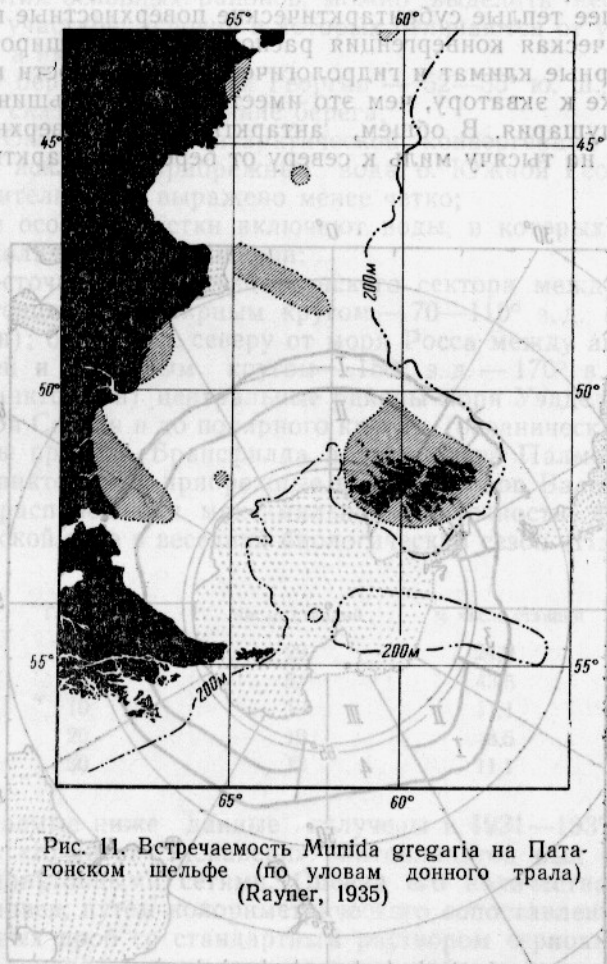


Рис. 11. Встречаемость *Munida gregaria* на Патагонском шельфе (по уловам донного трала) (Rayner, 1935)

Другим основным компонентом зоопланктона в районе Патагонского шельфа являются эуфауниды, однако их роль здесь не столь велика, как в антарктической зоне. Среди нескольких видов эуфаунид, встречающихся в планктоне Патагонского шельфа, преобладает *Thysanoessa gregaria*. В районе Фолклендских островов ее ведущее место, возможно, занимает *Euphausia vallentini*.

Из других крупных планктонных ракообразных в водах шельфа обычна гипериида *Parathemisto gaudichaudi*, этот вид встречается в желудках рыб. Кроме того, часто можно встретить скопления сцифомедуз.

Общий облик зоопланктона в водах Патагонского шельфа мало чем отличается от общего облика зоопланктона у побережья Европы (что не относится к видовому составу). Различия могут иметь место в сроках отдельных фаз жизненного цикла планктонных животных.

СЕЗОННЫЙ ХОД РАЗВИТИЯ ФИТОПЛАНКТОНА В ВОДАХ АНТАРКТИКИ
(Hart, 1942)

Антарктическая зона может быть определена как часть океана, занятая антарктическими поверхностными водами. Северная граница этой зоны — вероятное среднее положение антарктической конвергенции, на которой антарктические поверхностные воды погружаются под более соленые и более теплые субантарктические поверхностные воды. В среднем антарктическая конвергенция располагается на широте 53° ю. ш., поэтому полярные климат и гидрологические особенности простираются намного ближе к экватору, чем это имеет место в большинстве районов северного полушария. В общем, антарктические поверхностные воды простираются на тысячу миль к северу от берегов Антарктиды.

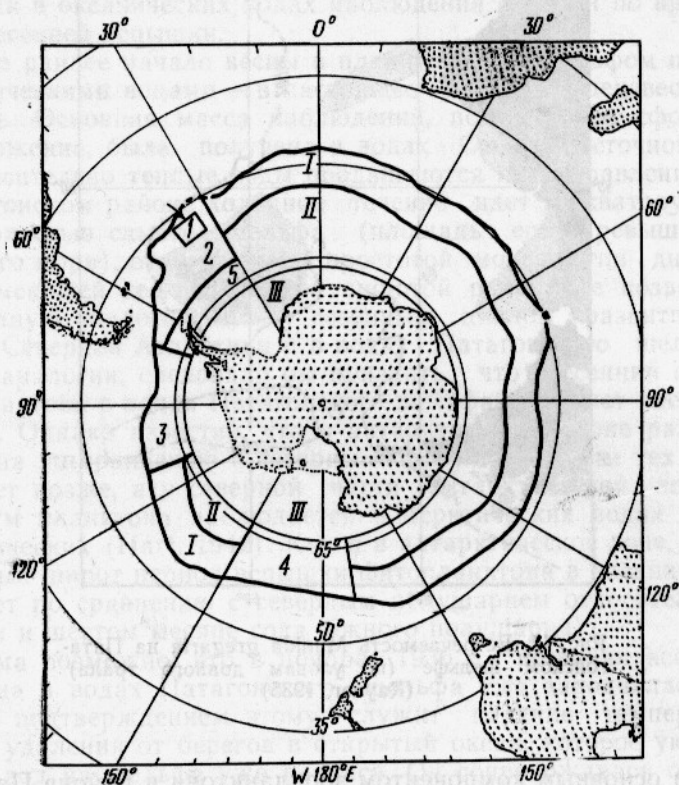


Рис. 12. Деление антарктической зоны по распределению фитопланктона:

I — северный район; *II* — промежуточный район; *III* — южный район; 1 — прибрежные воды Южной Георгии; 2 — море Скоттия; 3 — юго-восточная часть Тихоокеанского сектора; 4 — воды к северу от моря Росса; 5 — море Уэдделла (Hart, 1942)

При расчленении антарктической зоны по распределению фитопланктона приходится учитывать широтные изменения двух факторов: условий освещения и распределения паковых льдов. Можно выделить три основных океанических района (рис. 12).

1. Северный район — от антарктической конвергенции на 330 миль к югу; циркумполярно, исключая подрайоны 30—100° з. д. и 150° з. д. — 170° в. д.;

2. Промежуточный район — от южной границы северного района до южного полярного круга; циркумполярно, исключая те же подрайоны, что в северном районе;

3. Южный район — все моря к югу от полярного круга, исключая самые прибрежные участки; северный предел района грубо соответствует границе распространения паковых льдов.

Помимо этих основных районов, можно выделить несколько менее характерных участков, условия в которых отличаются от условий основных районов, а именно:

1) воды у берегов о. Южной Георгии — 52—55° ю. ш., 33—41° з. д.; очень сильно сказывается влияние берега;

2) море Скотия — от антарктической конвергенции до 62° ю. ш., 30—70° з. д., исключая прибрежные воды о. Южной Георгии; влияние берегов значительно, но выражено менее четко;

3) прочие особые участки включают воды, в которых было выполнено малое количество наблюдений:

а) юго-восточная часть тихоокеанского сектора между антарктической конвергенцией и полярным кругом — 70—110° з. д. (океанический фитопланктон); б) воды к северу от моря Росса между антарктической конвергенцией и полярным кругом — 150° з. д. — 170° в. д. (океанический фитопланктон); в) центральные районы моря Уэдделла (от южных пределов моря Скотия и до полярного круга), (океанический фитопланктон); г) воды пролива Брансфилда и архипелага Палмера (неритический фитопланктон); д) прибрежные воды островов Баллени.

Глубина расположения максимальной численности фитопланктона в антарктической зоне в весенний биологический сезон (Hart, 1942) приведена ниже.

Глубина, м	Число станций	% числа станций
0	29	24,9
5	51	43,6
10	13	11,1
20	10	8,5
50	13	11,1

Все излагаемые ниже данные получены в 1931—1937 гг. во время рейсов судов «Комитет Дискавери». Фитопланктон был собран мелкоячейными планктонными сетями. Оценка его количества произведена по методу Харвея, путем колориметрического сопоставления ацетоновой вытяжки сетных проб со стандартным раствором серноокислого никеля.

Циркумполярное протяжение основных районов позволяет рассматривать их в целом, без деления на отдельные сектора.

Основная масса фитопланктона в антарктической зоне в весенний период сосредоточена в верхнем 10-метровом слое. Глубина точки компенсации для большинства видов фитопланктона не превышает 35 м даже в разгар антарктического лета.

С увеличением широты период максимума фитопланктона наступает все позже и позже, снижение количества фитопланктона осенью — раньше.

В районе о. Южной Георгии количество фитопланктона намного превышает количество фитопланктона не только в океанических районах антарктической зоны, но также и в других частях Мирового океана. Весенний максимум здесь наступает сравнительно раньше, чем в северном районе. В сезонном цикле развития фитопланктона у берегов о. Южной Георгии и в северном районе имеются два максимума — ве-

сенний и осенний (рис. 13). Сроки осеннего максимума фитопланктона сильно колеблются в отдельные годы под влиянием колебаний погоды. В остальных океанических районах антарктической зоны в сезонном цикле есть только один максимум количества фитопланктона. В среднем количество фитопланктона в прибрежных водах о. Южной Георгии в пять раз выше, чем в северном океаническом районе.

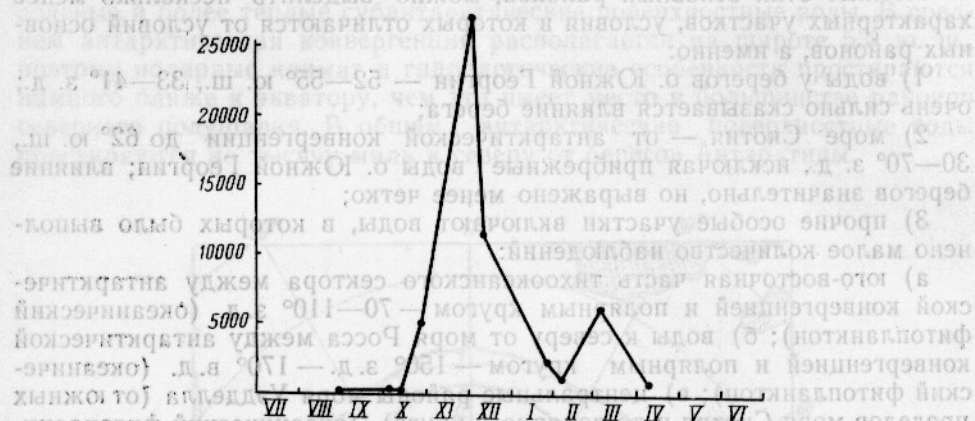


Рис. 13. Сезонные колебания количества фитопланктона (в единицах хлорофилла «а» по Харвею на 1 м³) в прибрежных водах о. Южной Георгии. Средние для слоя 50—0 м величины (Hart, 1942)

В море Скотия количество фитопланктона в среднем вдвое превышает количество фитопланктона в северном океаническом районе. Годовой максимум фитопланктона в море Скотия наблюдается в январе, т. е. несколько позже, чем в северном океаническом районе. В отдельные годы в море Скотия наблюдается второй, осенний, максимум, по величине значительно уступающий весеннему.

Количество наблюдений в море Уэдделла было относительно невелико. Сколько-нибудь значительное развитие фитопланктона здесь наступает не ранее середины ноября. Осенний максимум фитопланктона выражен очень слабо.

Среднее количество фитопланктона в слое 50—0 м в трех основных океанических районах в период весенней вспышки (от ее начала до максимума) сохраняется приблизительно на одном и том же уровне (рис. 14). В южном районе, где период вспышки относительно более короткий, чем в других районах, и где нет осеннего максимума, общая годовая продукция фитопланктона должна быть значительно меньше, чем в других частях антарктической зоны.

О КОЛИЧЕСТВЕННОМ РАСПРЕДЕЛЕНИИ ЗООПЛАНКТОНА В ЮЖНОМ ОКЕАНЕ¹ (ЗОНА УМЕРЕННЫХ ШИРОТ И АНТАРКТИЧЕСКАЯ ЗОНА) (FOXTON, 1956)

По-видимому, ни один из районов открытого океана по обилию жизни не может сравниться с Антарктикой, а суммарная площадь высокопродуктивных вод намного превышает площадь любого из других районов, обладающих столь же высоким плодородием.

¹ В статье используется английская терминология, по которой воды Антарктики называются Южным океаном.

Все излагаемые данные получены путем определения вытесненного объема проб зоопланктона, собранных замыкающей планктонной сетью типа Нансена (конус из газа 30 ячеек на 1 см) с диаметром входного отверстия 70 см. Весь лов был вертикальный по-слойный (горизонты 50—0, 100—50, 250—100, 500—250, 750—500, 1000—750 м, иногда — 1500—1000 м. Материалы были собраны в 1927—1939 гг. Рассматриваются результаты обработки данных по 366 станциям (2185 проб).

Распределение видов антарктического планктона имеет циркумполярный характер. Поэтому сезонный цикл и широтные изменения планктона, наблюдаемые хотя бы на одном из меридиональных разрезов, хорошо отражают особенности антарктической и южной умеренной зон. Годовые изменения количества планктона в отдельных районах намного меньше, чем сезонные колебания, что позволяет при необходимости рассматривать всю совокупность результатов вне зависимости от того, что они были получены в различные годы.

Одной из наиболее характерных особенностей жизненного цикла зоопланктона антарктических вод является сезонная вертикальная миграция массовых видов. Большинство из них, включая *Rhinacalanus gigas*, *Calanus acutus* и *Eukrohnia hamata*, совершают четкие миграции по вертикали, которые, по-видимому, позволяют им сохранять постоянство границ ареала (Mackintosh, 1937). Летом они круглые сутки находятся в антарктической поверхностной водной массе и дрейфуют на север. Зимой, когда основная часть популяции этих видов сосредоточена в водах теплового промежуточного течения, они дрейфуют вместе с его водами на юг. Эти сезонные миграции отдельных видов отражаются на сезонных изменениях количественного распределения зоопланктона по вертикали (рис. 15). Зимой (июль—август) и ранней весной (сентябрь) основная часть планктона сконцентрирована глубже 250 м, в особенности четко это проявляется в антарктической зоне. По мере наступания весны, а затем лета глубина наибольшей концентрации планктона уменьшается, и летом его максимум достигает поверхностных слоев. В антарктической зоне максимум планктона в октябре наблюдается в слое 250—100 м, в ноябре и январе — в слое 100—50 м, поздним летом и осенью — в слое 50—0 м. Такой же характер имеют сезонные колебания количества планктона на различных глубинах и в южной умеренной зоне, однако там зимний максимум зоопланктона на больших глубинах проявляется не столь четко, как в антарктической зоне.

Сезонные колебания количества планктона имеют наибольшую амплитуду в поверхностных слоях (рис. 16), что, конечно, связано с сезонным циклом фитопланктона. В умеренной зоне максимальное

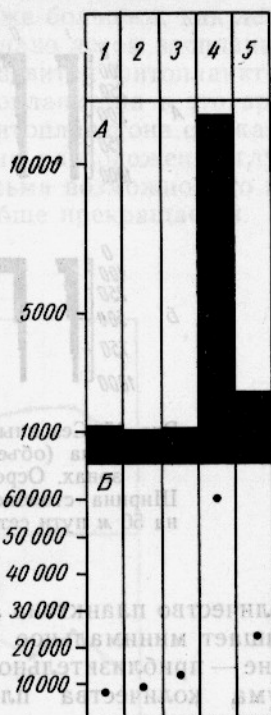


Рис. 14. Количество фитопланктона в слое 50—0 м (в единицах хлорофилла «а» по Харвею на 1 м³ в различных районах антарктической зоны):

А — средние величины для периода весенней вспышки (от начала до ее максимума); Б — максимальные величины; 1 — северный район; 2 — промежуточный район; 3 — южные океанические районы; 4 — прибрежные воды о. Южной Георгии; 5 — море Скотия (Hart, 1942)

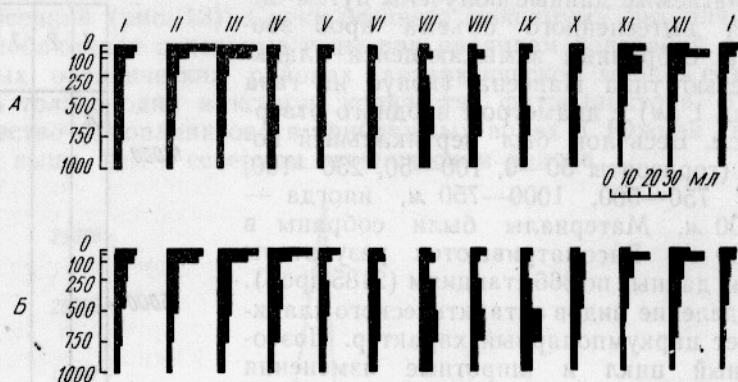


Рис. 15. Сезонные изменения вертикального распределения зоопланктона (объем в мл) в умеренной (А) и антарктической (Б) зонах. Осредненные данные для всего Южного океана. Ширина столбцов пропорциональна объему проб в пересчете на 50 м пути сети с диаметром входного отверстия 70 см (Foxton, 1956)

количество планктона летом в слое 50—0 м приблизительно в 7 раз превышает минимальное количество планктона зимой, а в антарктической зоне — приблизительно в 6 раз. В обеих зонах существует два максимума количества планктона — весенний, когда планктона в слое

50—0 м меньше, чем в слое 100—50 м, и осенний, когда в слое 100—50 м планктона меньше, чем в слое 50—0 м.

Осреднение по месяцам суммарного количества планктона для слоя 1000—0 м показано на рис. 17. По сравнению с сезонными колебаниями количества планктона в поверхностных слоях сезонные колебания суммарного количества планктона в слое 1000—0 м относительно очень невелики, в особенности в антарктической зоне, где в июле (середина зимы) объем планктона имеет такую же величину, как и в апреле. Это, без сомнения, является результатом скопления планктона в зимнее время в глубоких слоях, в теплом промежуточном течении, на глубине от 1000 до 500 м, так как антарктические поверхностные воды обычно простираются до глубины всего лишь около 200 м. Количество планк-

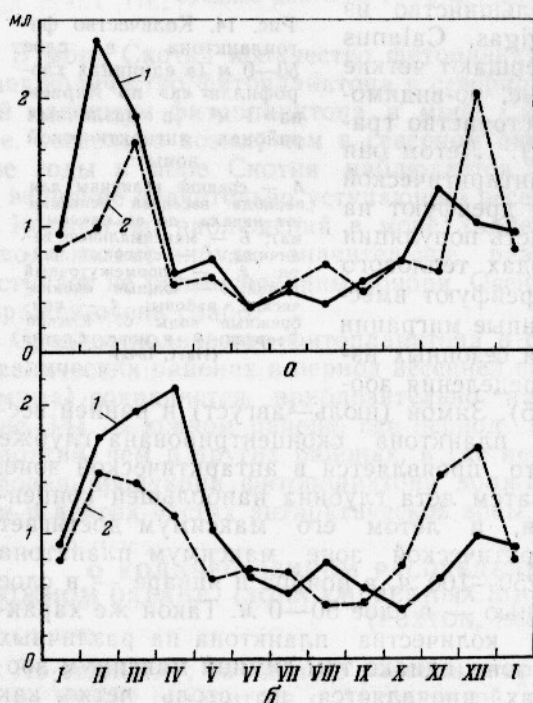


Рис. 16. Сезонные изменения количества зоопланктона (объем в мл) в слое 50—0 м: 1 — 100—50 м; 2 — в умеренной (а) и антарктической (б) зонах. Осредненные данные по всему Южному океану (Foxton, 1956)

тона зимой в слое 1000—0 м может быть таким же большим, как летом, хотя зимой он сконцентрирован на глубинах. Однако летом зоопланктон находится в условиях мощного и быстрого развития фитопланктона, поэтому общий темп питания и продукция зоопланктона в это время относительно высоки. Зимой, когда продукция фитопланктона снижается до годового минимума и максимум зоопланктона расположен в глубоких слоях, за пределами эуфотической зоны, весьма возможно, что продукция зоопланктона мала, а может быть и вообще прекращается.

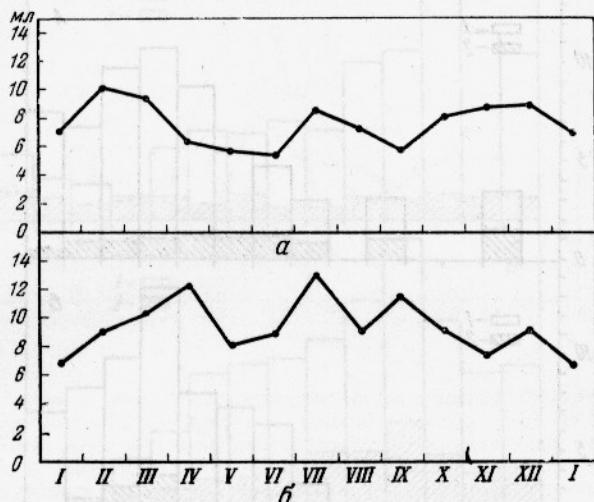


Рис. 17. Сезонные изменения суммарного объема зоопланктона (в мл) в слое 1000—0 м в умеренной (а) и антарктической (б) зонах. Осредненные данные по всему Южному океану (Foxton, 1956)

Весьма закономерно распределение зоопланктона в зависимости от широты и температуры воды (по осредненным для всего Южного океана данным). Как было сказано выше, максимальные сезонные колебания наблюдаются в слое 100—0 м, поэтому этот слой удобнее всего выделить из всей совокупности данных. Все осредняемые данные разбиты на две группы — для лета (с ноября по апрель, период сезонного максимума планктона в поверхностных слоях) и для зимы (май—октябрь, период минимума планктона в поверхностных слоях).

Наблюдения охватывают умеренные и антарктические воды (рис. 18). Исключая зимний период для слоя 100—0 м, средний объем планктона постепенно повышается с увеличением широты, достигая максимума на широтах 50—55° ю. ш., где планктона приблизительно в 4 раза больше, чем на широтах 30—35° ю. ш. Вслед за этим, по мере приближения к кромке льда, количество планктона снижается, и на широтах 65—70° ю. ш. составляет около половины по сравнению с количеством планктона на широтах 50—55° ю. ш.

Летом распределение по широте среднего количества планктона в слое 100—0 м отражает широтные колебания количества планктона в слое 1000—0 м, что, конечно, вызвано тем, что летом основная часть планктона сконцентрирована в верхних слоях. Зимой количество планк-

тона в слое 100—0 м почти не изменяется по широте, тогда как широтное распределение количества планктона в слое 1000—0 м имеет тот же характер, что и летом, т. е. достигает максимума на широте 50—55° ю. ш. Это вызвано сезонными вертикальными миграциями планктона. При сопоставлении данных по отдельным станциям обнаруживается, что максимальное расхождение данных по объему планктона в слое 1000—0 м наблюдается на широтах 50—55° ю. ш., где наряду с большим

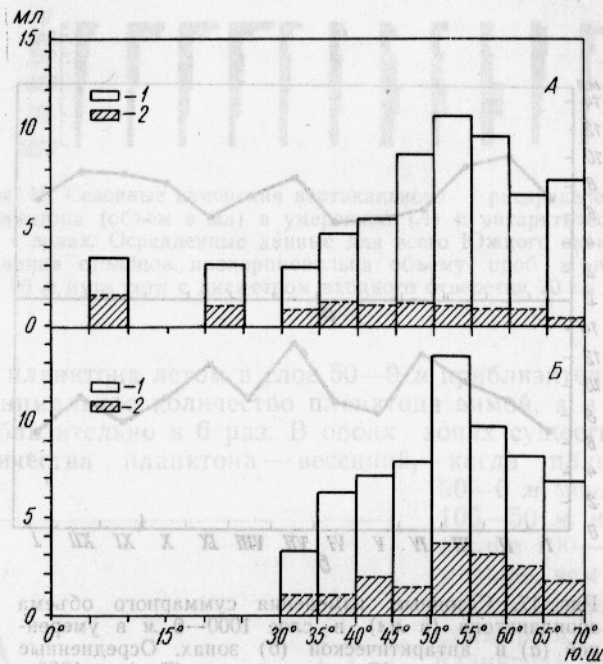


Рис. 18. Распределение зоопланктона (объем в мл) в слое 1000—0 м:

1 — и 100—0 м; 2 — зимой (А) и летом (Б) южного полушария на разных широтах. Осредненные данные для всего Южного океана (Foxton, 1956)

количеством станций, на которых зоопланктон был обилен, есть значительное число станций, на которых объем планктона был небольшим. В высоких широтах объем планктона на отдельных станциях не велик, а разброс отдельных точек незначителен. К северу от параллели 35° ю. ш. объем проб планктона в слое 1000—0 м почти не изменяется вплоть до экватора и сохраняется на очень низком уровне (3—5 мл). Эти цифры относятся к индоокеанскому сектору.

Этот анализ произведен на основании всех данных по всему южному океану. Гидрологические условия здесь таковы, что осреднение данных лучше проводить не по широтам, а по температуре воды, так как положение линии конвергенции, от которого зависит распределение и количество многих видов планктонных животных, колеблется по широте в различных секторах Антарктики. Поэтому две станции на одной и той же широте, но на разных долготах могут располагаться в совершенно различных водных массах. В качестве основы для группировки всех данных была избрана средняя температура слоя 100—0 м (рис. 19). С понижением температуры воды объем планктона возрастает во всей толще воды (1000—0 м) и в слое 100—0 м (исключая данные для

зимы). Летом максимальный объем планктона наблюдается при температуре 4,0—1,5° С, при которой он больше приблизительно в шесть раз, чем при 21,5—19,0° С. В водах, где температура меньше 1,5° С, объем планктона по мере снижения температуры воды также снижается, но не столь быстро, как при температуре более 4° С.

Зимой количество планктона в слое 1000—0 м достигает наибольшей величины также в холодных водах, однако максимум наблюдается при

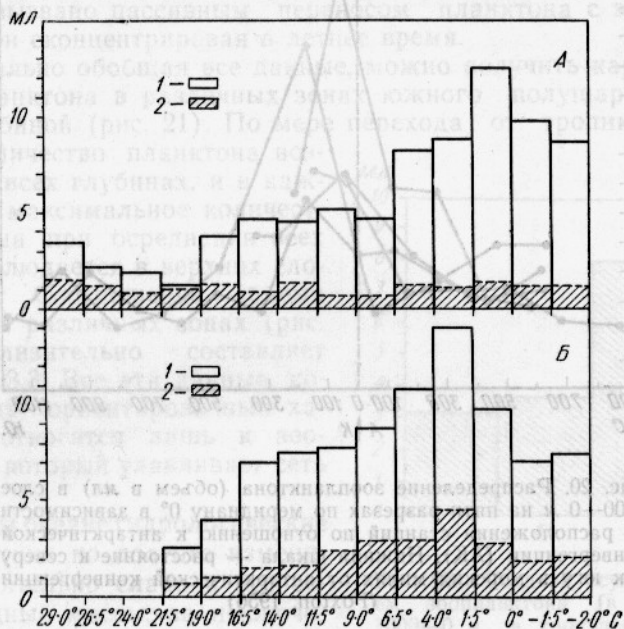


Рис. 19. Распределение зоопланктона (объем в мл) в слое 1000—0 м:

1 — и в слое 100—0 м; 2 — зимой (А) и летом (Б) южного полушария в зависимости от средней температуры воды в слое 100—0 м (Foxton, 1956)

температуре 1,5—0° С, что является результатом сезонного охлаждения океана. Исключая это смещение максимума планктона, другие сезонные колебания количества планктона в холодных водах (<4° С) практически очень невелики. В более теплых водах количество планктона летом несколько выше, чем зимой.

Таким образом, максимальное количество планктона наблюдается на широтах 50—55° ю. ш. и при температуре 4—0° С. Уменьшение количества планктона далее на юг в более холодных водах является характерной чертой планктона Антарктики, которую трудно объяснить, так как следует иметь в виду, что жизнь в самых южных районах количественно развита значительно богаче, чем на более низких широтах. Особи *Euphausia superba* крупнее 20 мм не учитывались при определении объема планктона, так как они, как правило, не улавливаются сетью Дискавери. Этот вид обилен только в высоких широтах и, исключая район течения Уэдделла (60—30° з. д.), не проникает в значительных количествах на север. Если бы доля объема, занимаемого этой формой в планктоне, могла бы быть учтена, вероятно, объем проб планктона продолжал бы неуклонно возрастать вплоть до самых высоких широт и самых холодных вод. Например, на одной из станций в течении Уэдделла (57°55' ю. ш.; 0,23° С) горизонтальный лов на протяжении 36 сек

сеть диаметром 1 м дал около 13 л криля. Эта величина во много раз превосходит объем проб планктона, собранных сетью Дискавери.

Линия антарктической конвергенции была пересечена 41 раз за все время работ, результаты которых здесь описываются. Район $53^{\circ}20'$ ю. ш. —

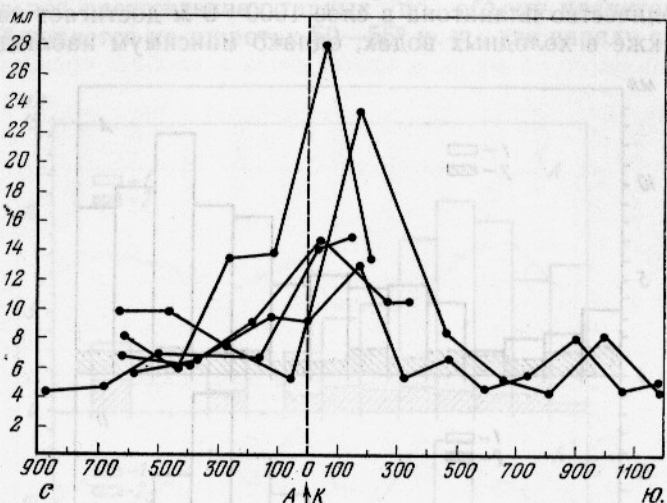


Рис. 20. Распределение зоопланктона (объем в мл) в слое 1000—0 м на пяти разрезах по меридиану 0° в зависимости от расположения станций по отношению к антарктической конвергенции (АК). Нижняя шкала — расстояние к северу и к югу в морских милях от антарктической конвергенции (Foxton, 1956)

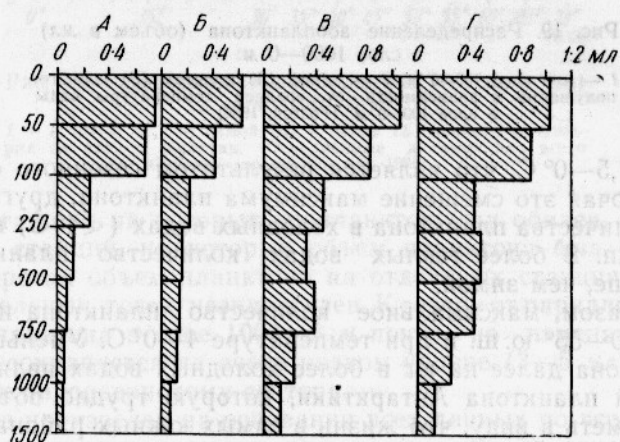


Рис. 21. Среднее количество зоопланктона (объем в мл) в пересчете на 50 м пути сети (на различной глубине в тропической (А), субтропической (В), южной умеренной (В) и антарктической (Г) зонах южного полушария (Foxton, 1956)

среднее положение конвергенции — лежит именно там, где наблюдался максимум объема планктона. На рис. 20 показано распределение объема проб планктона на 5 разрезах по меридиану 0° в зависимости от расположения станций по отношению к антарктической конверген-

ции. На каждом разрезе объем планктона в слое 1000—0 м резко возрастает в районе 0—200 миль к югу от конвергенции. Вторым, меньшим, пиком наблюдается на 900 миль к югу от антарктической конвергенции и соответствует течению Восточных ветров. По разрезам вдоль других меридианов наблюдается сходная зависимость. Так как антарктические поверхностные воды постепенно дрейфуют к северу, следует считать, что возникновение максимума планктона в северной части антарктической зоны вызвано пассивным переносом планктона с этими водами, в которых он сконцентрирован в летнее время.

Максимально обобщая все данные, можно получить картину распределения планктона в различных зонах южного полушария в соответствии с глубиной (рис. 21). По мере перехода от тропиков в высокие широты количество планктона возрастает на всех глубинах, и в каждой из зон максимальное количество планктона при осреднении всех данных наблюдается в верхних слоях океана. Соотношение объема планктона в различных зонах (рис. 22) приблизительно составляет 1 : 1,3 : 2,7 : 3,3. Все эти данные, конечно, носят ориентировочный характер и относятся лишь к зоопланктону, который улавливает сеть Дискавери.

В Южном океане гидрологические характеристики по долготе изменяются относительно слабо и все основные водные массы, за исключением, быть может, антарктических донных вод, расположены циркумполярно. Именно с этим связана циркумполярность и непрерывность ареалов почти всех наиболее часто встречающихся видов антарктического зоо- и фитопланктона.

Суммарный объем планктона на каждой станции (слой 1000—0 м) нанесен на карту (рис. 23), на которой указано также среднее положение обоих конвергенций и приблизительно среднее положение границ течения Западных ветров, течения Уэдделла и течения Восточных ветров.

На карте (рис. 23) отражены некоторые из особенностей распределения планктона, в частности увеличение объема проб непосредственно к югу от среднего положения антарктической конвергенции, что особенно хорошо видно в атлантическом секторе.

Район моря Уэдделла, как и течения Восточных ветров, сравнительно беден планктоном. Но в этих районах наблюдается большое количество криля, и если внести соответствующие поправки, то эти два района окажутся наиболее богатыми по сравнению с другими частями Южного океана.

Сколько-нибудь значительных изменений среднего количества зоопланктона по долготе в слое 1000—0 м на протяжении всего Южного океана не существует (рис. 24). В течении Уэдделла и течении Восточных ветров по долготе в весенний период в слое 100—0 м значительных колебаний объема планктона также нет. Данные, относящиеся к течению Западных ветров, весьма сильно колеблются. Однако по сравнению

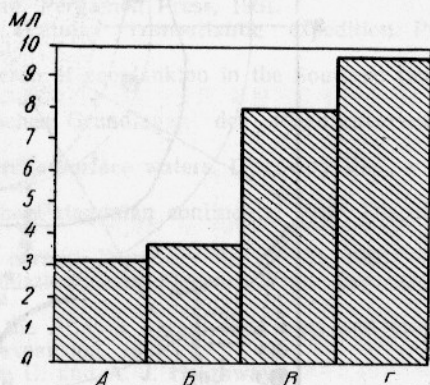


Рис. 22. Средний суммарный объем зоопланктона (в мл) в слое 1000—0 м в тропической (А), субтропической (Б), южной умеренной (В) и антарктической (Г) зонах южного полушария (Foxton, 1956)

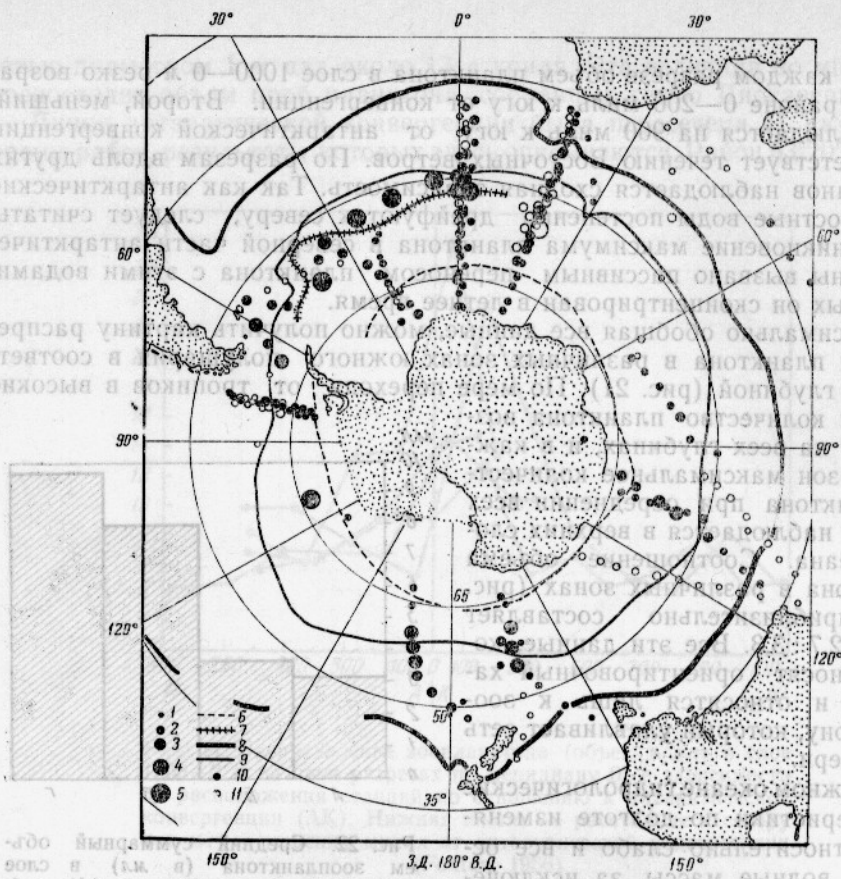


Рис. 23. Суммарный объем зоопланктона (мл в слое 1000—0 м) на отдельных станциях судов «Комитета Дискавери» в Южном океане. (Вертикальный лов сетью диаметром 70 см). Объем планктона:

1 — <5; 2 — 5,1—10; 3 — 10,1—15; 4 — 14,1—20; 5 — >20 мл; 6 — среднее положение границы течений Западных и Восточных ветров; 7 — северная граница течения Уэдделла; 8 — среднее положение субтропической конвергенции; 9 — среднее положение антарктической конвергенции; 10 — летние станции (ноябрь—апрель); 11 — зимние станции (май—октябрь) (Foxton, 1955)

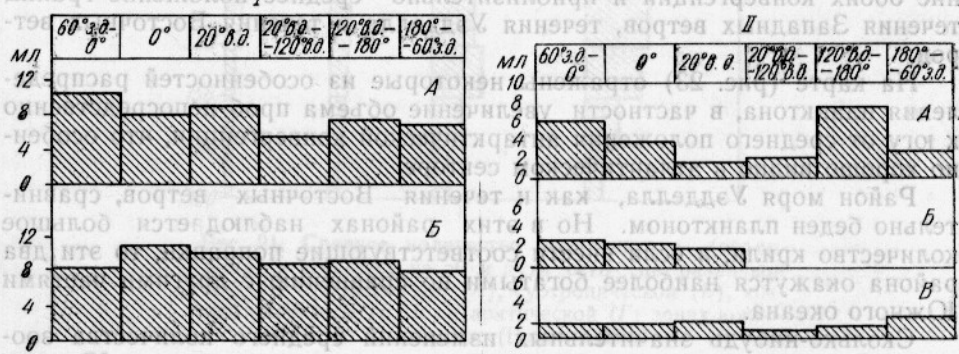


Рис. 24. I — средний суммарный объем зоопланктона (в мл в слое 1000—0 м) в различных секторах умеренной (А) и антарктической (Б) зон; II — средний объем зоопланктона (в мл) в слое 100—0 м в течении Западных ветров (А), течении Уэдделла (Б) и течении Восточных ветров (В) в летнее время (ноябрь—апрель) в различных секторах Антарктики (Foxton, 1956)

с двумя другими течениями количество планктона в течении Западных ветров на всех долготах значительно выше.

ЛИТЕРАТУРА

- Беклемишев К. В. Связь распределения фитопланктона индоокеанского сектора Антарктики с гидрологическими условиями. Доклады АН СССР. Т. 119, № 4, 1958.
- Жаров В., Жеребенков Ю., Ка дильников Ю., Кузнецов В. Туңцы и их промысел в Атлантическом океане. Калининград, 1964.
- Канаева И. П. Некоторые особенности распределения планктона в Атлантическом океане. Океанология. Т. 11, 1963.
- Кашкин Н. И. Распределение планктона и питание сардины у атлантических берегов Африки. Изд. ВНИРО, 1958.
- Defant A. Physical oceanography, v. 1. Lond. Pergamon Press, 1961.
- Evans F. The planktonic crustacea of the «Petula» Transatlantic expedition. Proc. Linn. Soc. Lond., v. 172, N 2, 1961.
- Foxton P. The distribution of the standing crop of zooplankton in the Southern Ocean. Discovery Reports, v. 28, 1956.
- Gessner F. Hydrobotanik. Die physiologischen Grundlagen der Pflanzenverteilung im Wasser. Stoffhaushalt. Berlin, 1959.
- Hart T. I. Phytoplankton periodicity in antarctic surface waters. Discovery Rep., v. 21, 1942.
- Hart T. I. Report on trawling surveys on the Patagonian continental shelf, Discovery Rep., v. 23, 1946.
- Hart T. I. and Currie R. I. The Benguela current. Discovery Rep., v. 31, 1960.
- Hentschel E. Allgemeine Biologie des Südatlantischen Ozeans. Wiss. Erg. «Meteor». B. XI, 1936.
- Laevastu T. Natural bases of fisheries in the Atlantic ocean: their past and present characteristic and possibilities for future expansion, 1961.
- In «Atlantic ocean fisheries» by Borgstrom C. and A. J. Heighway.
- Lewis J. B., Brundritt J. K. and Fish A. G. The biology of the flying fish *Hirundichthys affinis* (Günther). Bull. Mar. Sci. Gulf & Caribbean, v. 12, N 1, 1962.
- Mackintosh N. A. The seasonal circulation of antarctic macroplankton. Disc. Rep., v. XVI, 1937.
- Rayner G. W. The Phalkland species of the crustacean genus *Munida*. Discovery Rep., v. X, 1935.