

## **Предисловие**

Предлагаемый сборник включает в себя серию статей, посвященных биологическим аспектам существования и распределения электроны Карлсберга в Южной Полярной фронтальной зоне, и является продолжением предыдущего выпуска, в котором рассматривались, главным образом, результаты исследования среды обитания электроны Карлсберга, методика поиска скоплений и изучения их распределения, а также технологические проблемы обработки сырья.

**Н.В.Мордасова (ВНИРО)**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ХЛОРОФИЛЛА В ЮФЗ АТЛАНТИЧЕСКОГО ОКЕАНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОГРУЖАЕМОГО ФЛУОРИМЕТРА "АКВАТРАКА"**

Высокая продуктивность антарктических вод привлекает внимание исследователей. Высказывалось мнение о высокой биопродуктивности этих вод у островов и мысов, в районах действия прибрежного апвеллинга, во фронтальных зонах, зонах схождения вод различного типа (Мордасова, 1989; Burkholder, Sieburth, 1961; El-Sayed, 1968, 1970). Значительный интерес в этом плане представляет Южная Полярная фронтальная зона (ЮПФЗ) Атлантического океана. В этой зоне погружения антарктических вод под субантарктические за счет наличия высокоградиентных зон, высокого содержания биогенных элементов (особенно у южной границы в зоне влияния вод высокоширотной модификации), физического скапливания большого количества органического вещества при достаточной освещенности и устойчивой стратификации вод в весенне-летний сезон создаются благоприятные условия для интенсивного развития фитопланктона.

В декабре 1987 и 1988 гг., т.е. в летний сезон Южного полушария, в 12-м и 14-м рейсах РТМС "Возрождение" на акватории, ограниченной 47-52° ю.ш. и 24-40° з.д. наряду с широким комплексом гидрохимических

определений были проведены исследования содержания хлорофилла с использованием погружаемого флуориметра "Акватрака", входящего в состав океанологического зондирующего комплекса "Нэйл Браун" позволяющего непрерывно измерять флуоресценцию хлорофилла "а" непосредственно в морской воде до глубины 400 м. Одновременно в соответствии с показаниями флуориметра выбирали горизонты взятия проб для его калибровки и раздельного определения хлорофилла "а", "b" и "с" спектрофотометрическим методом. Как правило, пробы отбирали в слое максимального скопления фитопланктона, а следовательно, и хлорофилла, а также у поверхности и на некоторой глубине под слоем максимума. Анализ проб осуществлялся по стандартной методике ЮНЕСКО (Determination..., 1966) в соответствии с рекомендациями ИОАН СССР (Кобленц-Мишке, 1983).

Как показала математическая обработка данных по хлорофиллу "а", полученных нами в юго-западной части Атлантического океана с помощью погружаемого флуориметра "Акватрака" и СФ-методом, при концентрации хлорофилла "а" до 1 мкг/л коэффициент корреляции составлял 0,85. При более высоких концентрациях он резко снижался, что связано, вероятно, с эффектом "экранирования", возникающим при измерении интенсивности флуоресценции большого скопления клеток (Мордасова и др., 1987). Поэтому при содержании хлорофилла более 1 мкг/л мы постоянно проводили параллельное его определение спектрофотометрическим методом.

## Результаты и обсуждение

Пространственное распределение хлорофилла "а" на обследованной акватории весьма неоднородно, что отражает крайне сложную структуру вод ЮПФЗ, наличие многочисленных разнонаправленных вихрей, способствующих скапливанию фитопланктона, а следовательно, образованию областей повышенных концентраций хлорофилла (рис. 1). В декабре 1987 г. практически на всех станциях полигона, за исключением отдельных точек в самой северной его части, концентрация хлорофилла "а" превышала 1 мкг/л в слое до глубины 50–75 м, достигая на отдельных станциях 3–4 мкг/л. Зоны максимальных его величин (до 2–3 мкг/л и более в слое максимума) приурочены, как правило, к южной границе ЮПФЗ, выделенной по гидрологическим и гидрохимическим параметрам. В этой зоне за

счет влияния уэдделловоморских вод высокоширотной модификации, богатых биогенными элементами, в первую очередь кремнием, в летний сезон при благоприятных гидро- и метеоусловиях имеет место интенсивный фотосинтез фитопланктона. В минимальных количествах (около 0,4 мкг/л) хлорофилл был найден в "чистых" субантарктических водах на севере акватории.

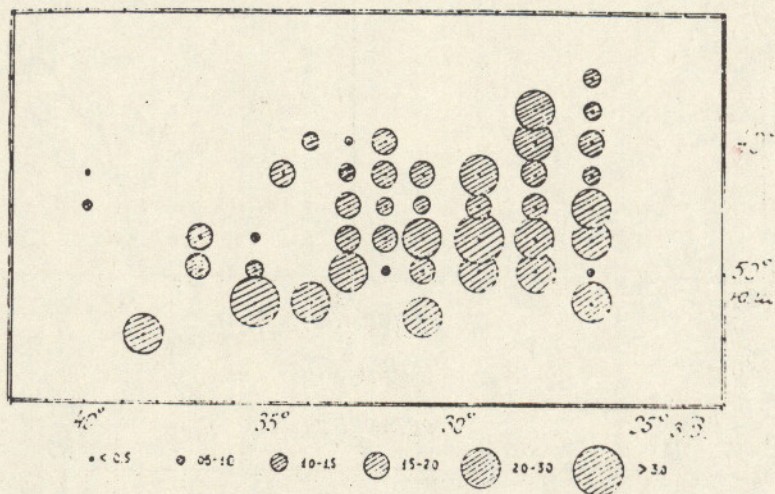


Рис. 1. Распределение хлорофилла "а" в районе ПФЗ (мкг/л) в декабре 1987 г. (максимальные величины в слое)

По мере продвижения в южном направлении, к скалам Шаг, после пересечения зоны максимальных градиентов по кремнию, т.е. южной границы ЮПФЗ, при выходе в "чистые" антарктические воды концентрация хлорофилла "а" снизилась, составив менее 0,2 мкг/л, и при дальнейшем перемещении в южном направлении оставалась в этих же пределах.

Вертикальное распределение хлорофилла тесно согласуется с вертикальной структурой вод. В летний сезон при наличии ярко выраженного слоя скачка плотности фитопланктон концентрируется в верхнем 75 – 100-метровом слое, причем нижняя граница совпадает со слоем максимальной устойчивости (по гидрологическим данным) (рис. 2, а, б). Распределение фитопланктона в верхнем перемешанном слое обычно однородное; иногда можно наблюдать максимум его концентрации, незначительно

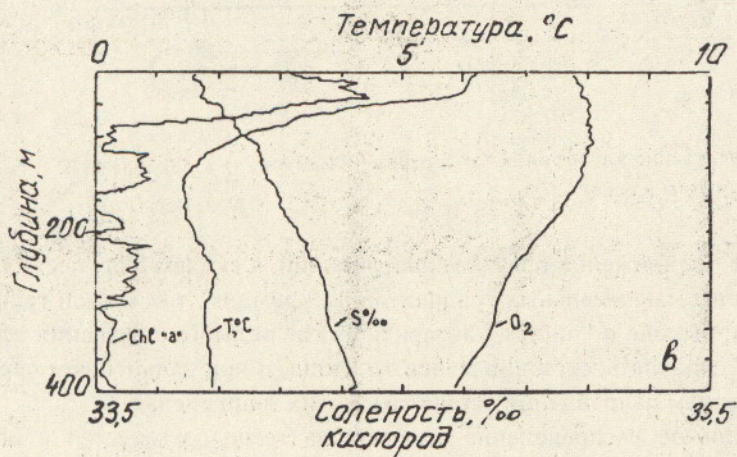
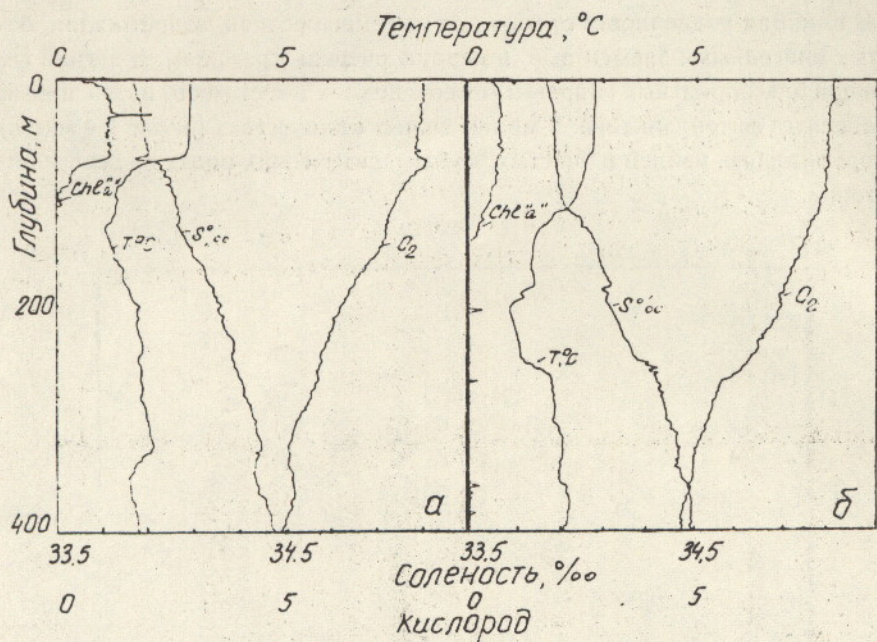


Рис. 2. Вертикальное распределение хлорофилла "а", солёности, температуры и содержания кислорода в районе ПФЗ по данным, погружаемого флуориметра "Акватрака": а — ст. 219; 10.12.88; 52°20' ю.ш., 26°20' з.д.; б — ст. 220; 10.12.88; 52°15' ю.ш., 26°30' з.д.; в — ст. 245; 11.01.88; 49°12' ю.ш., 38°57' з.д. (район скопления миктофид)

превышающий поверхностное содержание, что отмечалось нами и ранее в антарктических водах в юго-западной части Атлантического океана (Мордасова, 1987).

В декабре 1988 г. при выполнении работ на микросъемках в районе скоплений светящегося анчоуса у южной границы ЮПФЗ повсюду были отмечены значительные количества хлорофилла в верхнем 50-метровом слое, как правило превышающие 1 мкг/л и достигающие 3,7 мкг/л (см. рис. 2, в). Расположение станций через 5–10 миль на этих микрополигонах размером около 900 кв. миль позволило выявить здесь весьма сложную структуру вод и чрезвычайно неоднородное распределение хлорофилла. Участки максимальных скоплений фитопланктона, а следовательно, и наибольшего содержания хлорофилла, были приурочены к зонам максимальной устойчивости вод, что является, по-видимому, одним из обязательных условий интенсивного развития фитопланктона при прочих благоприятных обстоятельствах, таких как обеспеченность биогенными элементами и достаточная освещенность. Как показали результаты зондирования погружаемым флуориметром, распределение фитопланктона было крайне неоднородным как по горизонтам, так и по вертикали, что связано с биологическими и динамическими факторами.

Более детальное изучение хлорофилла спектрофотометрическим методом в районе ЮПФЗ показало, что в сумме хлорофиллов наибольшую часть составляет хлорофилл "а"; количество хлорофилла "с" примерно вдвое меньше, чем "а"; содержание хлорофилла "b" незначительно (как правило, 0,2–0,3 мкг/л). Все это говорит о преобладании в видовом составе фитопланктона диатомовых водорослей. Преобладание хлорофилла "а" может также свидетельствовать об интенсивной фотосинтетической деятельности фитопланктона.

Таким образом, в летний сезон Южного полушария (декабрь–февраль) при развитом сезонном пикноклине и устойчивой стратификации вод, высоком содержании биогенных элементов и достаточной освещенности в зоне ЮПФЗ, судя по насыщенности вод кислородом (110–118%), идет интенсивное развитие фитопланктона, особенно у южной границы ЮПФЗ, где с водами высокоширотной модификации существует постоянный подток кремния – основного лимитирующего элемента в этой зоне. Значительные количества хлорофилла в эвфотическом слое наблюдались практически по всей обследованной акватории ЮПФЗ – более 1 мкг/л (средневзвешенное). Высокое суммарное его содержание в слое 0–50 м (до 150 мг/м<sup>2</sup>) говорит о предпосылках для интенсивного развития мощной кормовой базы

зоопланктона и других звеньев трофической цепи. Такого же порядка величины, характерные для высокопродуктивных районов Мирового океана, отмечались, как правило, в зонах интенсивного апвеллинга у берегов Перу, Юго-Восточной Африки, в районе Сейшельских островов, а также в зонах круговоротов и завихрений у о. Южная Георгия и в зонах смешения различного типа вод в атлантическом секторе Антарктики (Мордасова, 1976; 1980; 1989). Величина первичной продукции, рассчитанная по кремнию в районе южной границы ЮПФЗ, достигала  $1 \text{ гС/м}^2$  в сутки.

О высокой интенсивности продукционно-деструкционных процессов в районе ЮПФЗ можно судить по значительным количествам мочевины и аммиака – основных продуктов жизнедеятельности живых организмов, связанных также с окислением органического вещества как зимой, так и летом во всей толще от поверхности до глубины 1000 м (Зубаревич, Мордасова, 1990).

Таким образом, в районе ЮПФЗ наличие градиентных зон, многочисленных вихрей и затоков разнокачественных вод, способствующих скапливанию большого количества органических веществ, приводит к созданию зон повышенной продуктивности. Аналогичная закономерность увеличения биомассы фитопланктона в динамически активных зонах отмечалась в антарктических водах индоокеанского сектора Антарктики в зоне Антарктической дивергенции, дивергенции Буве и ЮПФЗ (Зернова, Ямпольский, 1988).

Содержание хлорофилла "а" в ЮПФЗ Атлантического океана в несколько раз превышает таковое в аналогичной тихоокеанской зоне, где составляет около 0,4 мкг/л (Ведерников, Коновалов, 1988), что свидетельствует о ее более высокой продуктивности.

Таким образом, детальные исследования хлорофилла в районе ЮПФЗ юго-западной части Атлантического океана с использованием зондирующей аппаратуры подтвердили высокую продуктивность этих вод в весенне-летний период, обусловленную динамикой вод, связанную с рельефом дна, а также влиянием вод высокоширотной модификации, обеспечивающих постоянный подток кремния. В период устойчивой стратификации вод содержание хлорофилла достигает 1–3 мкг/л (средневзвешенное в фотическом слое), т.е. величин, характерных для высокопродуктивных зон Мирового океана.

## Выводы

1. В декабре 1987 г. в районе ЮПФЗ зоны максимального содержания хлорофилла "а" (до 2–3 мкг/л в верхнем 50–75–метровом слое) были приурочены к южной границе ЮПФЗ.
2. В пределах градиентной зоны вертикальное распределение хлорофилла "а" крайне неравномерно со множеством максимумов на различных горизонтах вплоть до глубины 400 м.
3. Из общего содержания всех форм хлорофилла максимальную часть составляет хлорофилл "а", содержание хлорофилла "б" незначительно, количество хлорофилла "с" примерно вдвое меньше, чем "а", что свидетельствует о преобладании диатомовых в видовом составе фитопланктона.
4. Высокое содержание хлорофилла "а" летом практически по всей обследованной акватории ЮПФЗ (более 1 мкг/л в поверхностных водах) позволяет отнести эту зону к самым высокопродуктивным районам Мирового океана.

## Список использованной литературы

- Ведерников В.И., Коновалов Б.В. Распределение первичной продукции и хлорофилла / Экосистемы субантарктической зоны Тихого океана. — М.: Наука, 1988. — С. 118–132.
- Зернова В.В., Ямпольский А.Д. Сезонные изменения биомассы антарктического фитопланктона и его связь с абиотическими факторами // Антарктика. Вып. 27. — М.: Наука, 1988. — С. 181–190.
- Зубаревич В.Л., Мордасова Н.В. Азот аммонийный и мочевины в районе Южной Полярной фронтальной зоны Атлантического океана // Биологические ресурсы: состояние, перспективы и проблемы их рационального использования. — Электрон Карлсберга в Южной Полярной фронтальной зоне. Т. 1: Сборник научных трудов. — М.: ВНИРО, 1990. — С. 109–117.
- Кобленц—Мишке О.И. Экстрактный и безэкстрактный методы определения фотосинтетических пигментов в пробе // Современные методы количественной оценки распределения морского планктона. — М.: Наука, 1983. — С. 114–125.
- Мордасова Н.В. Распределение хлорофилла "а" в Мировом океане // Сер. 9. Промысловая океанология. Вып. 3. — М.: ЦНИИЭИРХ, 1976. — 49 с.
- Мордасова Н.В. Хлорофилл в юго-западной части Индийского океана в связи с гидрологическими условиями // Океанология. — 1980. — Т. 20, вып. 1. — С. 116–121.
- Мордасова Н.В. Исследования хлорофилла в юго-западной части Атлантического океана // Комплексные рыбохозяйственные исследования ВНИРО в Мировом океане: Сборник научных трудов. — М.: ВНИРО, 1987. — С. 79–95.

Мордасова Н.В. Распределение хлорофилла в водах атлантического сектора Антарктики // Океанология. — 1989. — Т. 29, вып. 3. — С. 486-493.

Мордасова Н. В., Зарипов Б.Р., Шершнев А.Е. Методические рекомендации по использованию зондирующей аппаратуры при исследовании распределения хлорофилла для выявления районов повышенной продуктивности. — М.: ВНИРО, 1987. — 19 с.

Burkholder P.R., Sieburth J.M. Phytoplankton and chlorophyll in Gerlache and Bransfield Straits of Antarctica // Limnol. Oceanogr. - 1961. - N 6. P. - 45-52.

Determination of photosynthetic pigments in sea water. Monographs on oceanographic methodology. UNESCO. Working Group, 1966. - P. 9-18.

El-Sayed S.Z. On the productivity of the southwest Atlantic - ocean and the waters west of the Antarctic Peninsula / Biology of the Antarctic Seas. 111. Antarctic Res. Ser. 11. - 1968. - P. 15-47.

El-Sayed S.Z. On the productivity of the Southern Ocean. (Atlantic and Pacific Sectors) // Antarctic Ecology. - 1970. - Vol. 1. - P. 119-135.

**М.В.Бондаренко (ВНИРО)**

## **РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛАНКТОНА В ЮФЗ АТЛАНТИЧЕСКОГО ОКЕАНА**

Настоящая работа является продолжением комплексных исследований, проводимых ВНИРО в зоне Южного полярного фронта, севернее о. Южная Георгия (Васильев, 1991). Целью исследований было выявление закономерностей, определяющих формирование биомассы и распределение планктона как основного объекта пищи мезопелагических рыб в этом районе.

Материалом для настоящей работы послужили сборы планктона, проведенные в период с сентября по декабрь 1988 г. на полигоне с координатами 40°00' — 25°00' з.д. и 48°00' — 52°00' ю.ш. (в настоящей работе рассмотрены только два разреза: по 40° з.д. - станции 21-28 и по 39°30' з.д. - станции 29-32; расстояние между станциями по широте составляло 30 миль, а по долготе — 45 миль) и на четырех микросъемках вдоль границы Южной Полярной фронтальной зоны (ЮФЗ). Каждая микросъемка включала около 30 станций с дискретностью 5 миль (рис. 1). Планктон собирали по общепринятой методике малой сетью Джеди с диаметром входного отверстия 36 см и конусом из капронового газа № 49 по горизонтам 500-200, 200-100, 100-0 и 50-0 м. Пробы фиксировали 4%-м раствором формалина. Первичная обработка планктонных проб состояла из определения объема сестона с помощью волюмометра В.А.Яшнова (Яшнов, 1959) и визуальной оценки