

УДК 551.464.7:581.526.325(264.3)

ИЗМЕРЕНИЯ ПЕРВИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ В МОРЕ СКОТИЯ**В. В. Волковинский**

Во время работ в море Скотия на судне «Академик Книпович» в январе—марте 1965 г. проводили измерения первичной продукции радиоуглеродным методом.

В оценке общей биологической продуктивности того или иного района Мирового океана величина первичной продукции является весьма важной, так как первичная продукция фитопланктона — первая ступень цикла жизни в океане — главный источник первичного корма.

В Антарктике измерения первичной продукции впервые были выполнены в 1958—1959 гг. во время четвертого рейса дизель-электрохода «Обь», причем эти измерения относились в основном к индоокеанскому сектору. В этом же секторе австралийское судно «Магга-Дан» проводило измерения первичной продукции к югу от Австралии.

В пятом рейсе дизель-электроходом «Обь» были выполнены измерения первичной продукции вокруг всего Антарктического материка (Кляшторин, 1964). В тихоокеанском и атлантическом секторах Антарктики первичную продукцию изучали ученые США (Эль-Саид, 1966).

Во время первого рейса судна «Академик Книпович» изучение первичной продукции проводилось в районе Южных Оркнейских островов, Южных Сандвичевых островов, у побережья о. Южная Георгия, в центральной части моря Скотия, а также над банкой Бердвуд и в районе Фолклендских островов. Можно считать, что наши измерения первичной продукции впервые охватили основные районы моря Скотия.

В процессе работы применяли постановку опытов по определению первичной продукции по схеме Ю. И. Сорокина (1956). Пробы воды собирали нетоксичным полиэтиленовым семилитровым батометром конструкции Института океанологии АН СССР. Пробы разливали в склянки объемом 330 мл из бесцветного стекла с притертыми пробками. В каждую склянку добавляли по 1 мл раствора $\text{NaHC}^{14}\text{O}_3$ с исходной активностью $2,8 \cdot 10^6$ имп/мин. Склянки с введенным изотопом экспонировались в деревянном резервуаре размером $120 \times 90 \times 45$ см под нейтральным светофильтром, пропускающим 50% падающего света, кроме склянок с пробами, взятых с поверхности. Параллельно всегда ставили на экспозицию пробы в темных склянках. В резервуаре во время экспозиции проб вода непрерывно обновлялась заборной.

Для сравнения результатов склянки с пробами выдерживались

всегда половину светового дня с полудня по местному времени до конца светового дня, а полученный результат удваивался.

Немедленно после конца экспозиции пробы фильтровали с помощью пятичашечного фильтровального агрегата и вакуумного насоса ВН-461 на мембранные фильтры № 5 (площадь фильтрования 2 см^2 , $d = 1,6 \text{ см}$). Фильтры обрабатывали 2%-ным раствором соляной кислоты и промывали ультрафильтратом морской воды. После этого фильтры с осадками в чашках Петри высушивали в эксикаторе над натронной известью. Просчет фильтров производили обычно на следующий день при помощи счетчиков БФЛ-25 (диаметр окна 35 мм) на пересчетном приборе ПС-20 с высоковольтным выпрямителем ВСВ-2 в свинцовом домишке с выносным блоком БГС-3.

Напряжение поддерживали с помощью мощного стабилизатора. Аппаратура работала вполне надежно, все измерения были сделаны одним счетчиком. Фон обычно не превышал 30 имп/мин .

При расчете продукции за величину фотосинтеза принималась разность между фиксацией углекислоты в светлой и темной склянках.

Профильтрованный рабочий раствор с радиоактивным углеродом был заранее расфасован в ампулы, которые были запаяны и простерилизованы в автоклаве.

Определение исходной активности, расчеты величины первичной продукции, как и все основные этапы работы, производились согласно «Методическому пособию по определению первичной продукции» (Методическое пособие, 1960).

Чтобы знать, с каких горизонтов, кроме стандартных, брать дополнительные пробы, в начале станции опускали термобатиграф, так как фитопланктон обычно концентрируется в слое температурного скачка.

За весь период работ в море Скотия было сделано 34 станции.

Во всех изученных районах моря Скотия основным видом фитопланктона были диатомеи.

При подходе к северной границе моря Скотия наблюдалась умеренная величина первичной продукции — $7,2 \text{ мг С/м}^3$ в день. В центральной части бассейна величины первичной продукции были минимальными для всего моря Скотия — $3,5 \text{ мг С/м}^3$ в день, а при повторном прохождении (середина марта) величина первичной продукции уменьшилась до 1 мг С/м^3 в день (рис. 1).

В районе Южных Оркнейских островов (конец января — середина февраля) наблюдались высокие величины первичной продукции, или иначе — интенсивности фотосинтеза, $13\text{—}25 \text{ мг С/м}^3$ в день. Во время вторичного посещения района этих островов величины первичной продукции упали до 5 мг С/м^3 в день, что может быть объяснено сезонным развитием фитопланктона.

Величины первичной продукции уменьшались при следовании на восток от Южных Оркнейских островов до величин $8\text{—}6 \text{ мг С/м}^3$ в день.

Максимальная величина первичной продукции в море Скотия зарегистрирована на северной периферии Южных Сандвичевых островов — 56 мг С/м^3 в день (конец февраля).

Между Южными Сандвичевыми островами и о. Южная Георгия, т. е. на северо-восточной границе моря Скотия, наблюдалась невысокая величина первичной продукции — 5 мг С/м^3 в день.

Во время работ у северных берегов о. Южная Георгия первичная продукция поддерживалась на высоком уровне; измеренные величины колебались в пределах $11,5\text{—}30 \text{ мг С/м}^3$ в день (начало марта).

У южных берегов о. Южная Георгия величина первичной продукции

упала до величины, характерной для центральной части моря, — 3 мг С/м^3 в день.

При следовании к Фолклендским от Южных Оркнейских островов величина первичной продукции в центральной части моря Скотия была порядка $2,5 \text{ мг С/м}^3$ в день, а в зоне влияния антарктической конвергенции упала до $1,8 \text{ мг С/м}^3$ в день.

При подходе к Фолклендским островам на банке Бердвуд первичная продукция резко возросла до величин порядка 45 мг С/м^3 в день. В бухте Шип-Харбор (о. Нью-Айленд) первичная продукция уменьшилась до 25 мг С/м^3 в день.

Экспонируя пробы с различных горизонтов под нейтральным световым фильтром, мы получили характер распределения интенсивности фотосинтеза по вертикали, отображающий вертикальное распределение фотосинтетически активного фитопланктона.

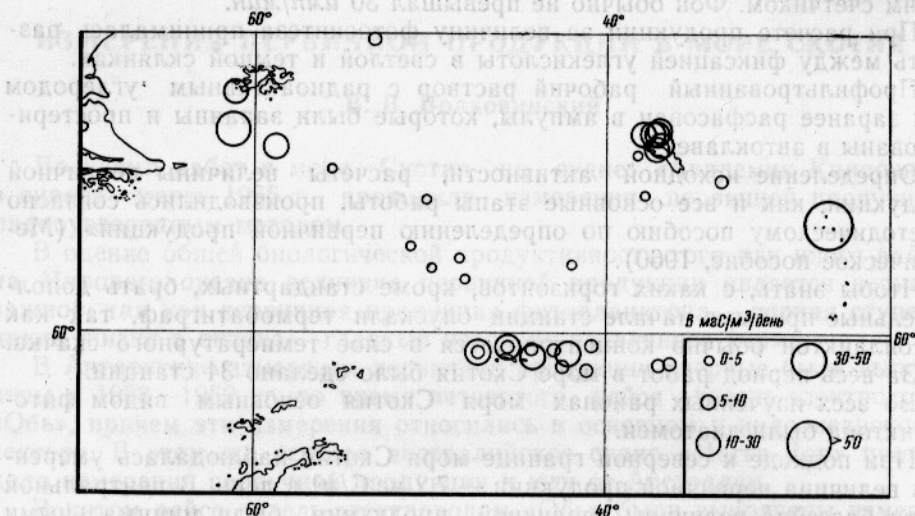


Рис. 1. Первичная продукция на поверхности

Чтобы можно было сравнить полученные величины продукции на поверхности различных станций, по горизонтали откладывали цифры не в процентах по отношению к нулевому горизонту, а в импульсах в минуту.

Как видно из рис. 2, в центральной части моря Скотия (станция 51 и 54) интенсивность фотосинтеза постепенно убывает с глубиной и незначительные цифры получены до глубин 90 м.

В районе Южных Оркнейских островов (станция 58 и 109) наряду со значительными величинами интенсивности фотосинтеза на поверхности наблюдалось большое количество фитопланктона до глубин 70—90 м с двумя промежуточными максимумами. К востоку от Южных Оркнейских островов с уменьшением продукции на поверхности наблюдалось сглаживание кривых вертикального распределения (станция 144 и 148).

У северного побережья о. Южная Георгия (станция 174) значительный фотосинтез на поверхности резко убывал с глубиной и на глубине 50 м практически отсутствовал.

У южного побережья о. Южная Георгия (станция 185) незначительный фотосинтез на поверхности постепенно убывает с глубиной и его

распределение напоминает вертикальное распределение фотосинтетически активного фитопланктона в центральной части моря Скотия.

В районе банки Бердвуд (станция 205) просчет фильтров дал значительные величины на поверхности, убывающие почти в 2 раза на глубине 100 м с промежуточным максимумом на 40 м.

Во время первого рейса судна «Академик Книпович» впервые в судовых условиях были выполнены определения содержания в морской воде некоторых микроэлементов — марганца и молибдена, которые, как известно, являются биологически активными.

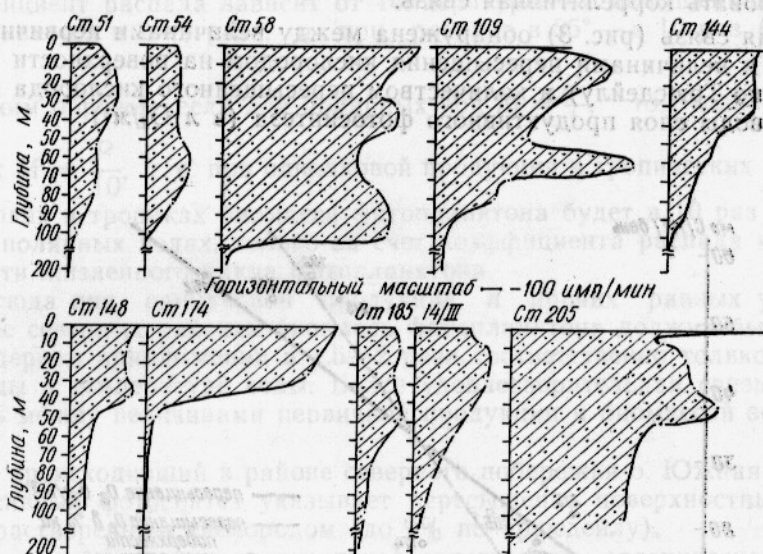


Рис. 2. Вертикальное распределение фотосинтетически активного фитопланктона по C^{14} методике в море Скотия летом 1965 г.

Нами найдена связь между интенсивностью фотосинтеза и концентрациями марганца и молибдена, определенными на тех же станциях (см. статью Орадовского, Волковинского и Ткаченко, публикуемую в настоящем сборнике).

Воды моря Скотия имеют по сравнению с другими областями Мирового океана чрезвычайно высокие концентрации биогенных элементов. Например, концентрация фосфатов доходит до 60 $мкг/л$ и более, кремнекислоты — до 1500—2000 $мкг/л$. Следовательно, биогенные элементы здесь едва ли могут являться фактором, ограничивающим интенсивный фотосинтез. Условия освещения были сравнительно однородны.

В прибрежных районах моря Скотия, по-видимому, повышенные концентрации марганца и некоторых других микроэлементов способствуют усиленной фотосинтетической деятельности фитопланктона при благоприятных гидрометеорологических условиях, на что указывал еще Харт (Hart, 1942). В центральной, малопродуктивной, части моря Скотия марганец и молибден практически отсутствовали. В зонах ослабленного влияния преобладающих течений, а также с подветренной стороны (по отношению к господствующим ветрам) островов и банок фитопланктона, а также ослабляющие относ от берега вод материкового

стока, богатых микроэлементами. Схемы образования таких круговоротов показал Уда (Uda et al., 1958).

Как известно, фотосинтез фитопланктона сопровождается выделением в водную толщу определенного количества кислорода, в среднем пропорционального количеству новообразованного органического вещества.

Следует ожидать, что между этим новообразованным органическим веществом, определяемым радиоуглеродным методом, и пересыщением морской воды кислородом в результате фотосинтеза должна существовать коррелятивная связь.

Такая связь (рис. 3) обнаружена между величинами первичной продукции и величинами пересыщения кислородом на поверхности (в процентах по Трюсдейлу) и количеством пересыщенного кислорода во всем столбе воды слоя продуктивного фотосинтеза (в л O_2/m^2).

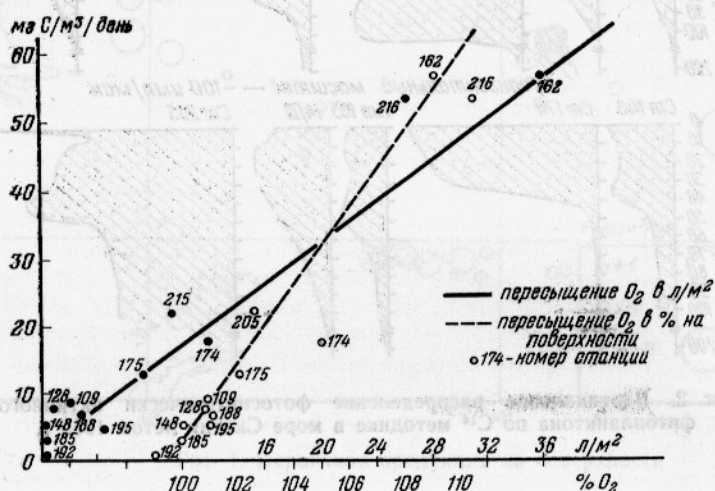


Рис. 3. График коррелятивной зависимости между первичной продукцией и пересыщением кислорода

Прямая количественная связь может существовать также между величинами первичной продукции и биомассой фитопланктона. Эта связь прослежена в центральной части бассейна, где малы как биомасса, так и продукция, а также в районе Южных Оркнейских и Южных Шетландских островов, где биомасса и продукция велики.

В районах у северного побережья о. Южная Георгия и у Фолклендских островов четкой зависимости между первичной продукцией и биомассой фитопланктона не наблюдалось. В то же время в этих районах наблюдалось исключительно большое количество зоопланктона. Небольшие величины биомассы фитопланктона здесь объясняются, по-видимому, происшедшим выеданием. На возможность интенсивного выедания в этом районе указывал Харт (Hart, 1942).

С другой стороны, на малое соответствие величин количества фитопланктона и первичной продукции в антарктических водах указывает Л. Б. Кляшторин (1964).

На отсутствие прямой связи между биомассой фитопланктона и первичной продукцией здесь может иметь также влияние и то, что при сравнении района Южных Оркнейских островов и района о. Южная Георгия разница поверхностной температуры этих районов достигает $3,5^{\circ}\text{C}$, а района Южных Оркнейских островов и Фолклендских — до 7°C .

Вообще, если обозначить биомассу фитопланктона через M , продукцию — P , а коэффициент распада органического вещества планктона — κ , то $M = \frac{P}{\kappa}$, т. е. биомасса пропорциональна эффективной продукции и обратно пропорциональна коэффициенту распада или: при одинаковой продукции биомасса пропорциональна коэффициенту распада. Коэффициент распада зависит от температуры — с повышением на 10° увеличивается в 2—3 раза, а при разнице в 25° — в 10 раз (Дитрих, 1962).

Таким образом, если для полярных вод $M = \frac{P}{1}$, то для тропических $M = \frac{P}{10}$, т. е. при одинаковой продукции в тропических и полярных водах в тропиках биомасса фитопланктона будет в 10 раз меньше, чем в полярных водах, только за счет коэффициента распада и разной скорости жизненного цикла фитопланктона.

Отсюда при одинаковой продукции и прочих равных условиях в более северных районах биомасса фитопланктона должна быть меньше в первом приближении в 1,5—2 раза соответственно только за счет разницы в температуре воды. Более удовлетворительная связь наблюдалась между величинами первичной продукции и биомассой зоопланктона.

На происходивший в районе северного побережья о. Южная Георгия интенсивный фотосинтез указывает пересыщение поверхностных слоев воды растворенным кислородом (до 9% по Трюсдейлу).

Здесь наблюдалось значительное содержание органического вещества — до $3,36 \text{ мг } \text{O}_2/\text{л}$ по перманганатной окисляемости, в то время как в открытой части моря величины окисляемости не превышали $0,65 \text{ мг } \text{O}_2/\text{л}$.

Для изучения хода фотосинтеза в светлое время суток были проделаны следующие опыты.

Опыт 1 — однородная проба воды с поверхности была одновременно разлита в две шестилитровые тонкостенные круглодонные колбы. С началом светового дня в колбы добавлено 250 мккюри/мл в первую и 500 мккюри/мл — во вторую, радиоуглерода в растворе. Колбы с пробами были выставлены на экспозицию как поверхностный фотосинтез ($\text{C}_{\text{ф.п}}$). Через каждые два часа из каждой колбы отбирали по 250 мл пробы и немедленно фильтровали с последующей обычной обработкой. Результаты просчета фильтров нанесены на график (рис. 4).

Величина первичной продукции на поверхности здесь была $29,3 \text{ мг } \text{C}/\text{м}^3$ в день (северное побережье о. Южная Георгия).

Опыт 2, проведенный в центральной части моря Скотия с величиной фотосинтеза на поверхности $2,1 \text{ мг } \text{C}/\text{м}^3$ в день, был выполнен иначе. Первая колба с добавленными 250 мккюри/мл радиоуглерода была выставлена на экспозицию, как и в первом опыте, с начала до конца светового дня.

Вторая колба с таким же количеством радиоуглерода экспонировалась с полудня по местному времени. Из обеих колб каждые 2 ч отбирали и фильтровали по 250 мл пробы.

Как видно из рис. 4, в обоих опытах около полудня наблюдалось некоторое замедление темпа фотосинтеза. Из второго опыта видно, что величина первичной продукции, полученная при экспонировании пробы в течение второй половины светового дня, с последующим удвоением

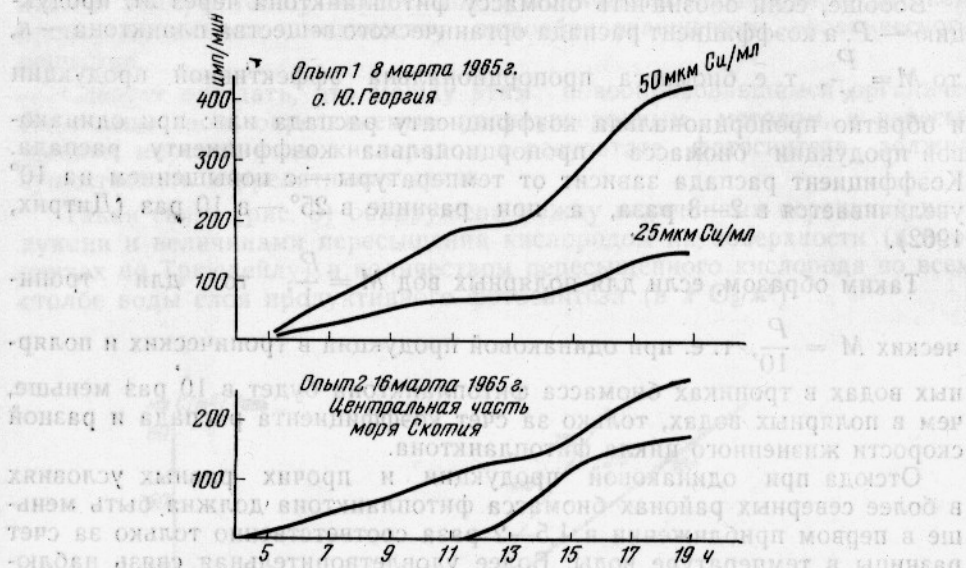


Рис. 4. Изучение хода фотосинтеза в светлое время суток

результата, в 1,56 раза (а не в 2 раза) меньше величины, полученной экспонированием в течение целого светового дня. Вероятно, во время экспонирования проб в продолжение целого светового дня в море Скоттия происходят побочные явления, ведущие к преуменьшению дневной величины фотосинтеза, следовательно, экспонировать пробы нужно не более половины светового дня.

ВЫВОДЫ

1. Прибрежные воды у островов Южных Оркнейских, Южных Сандвичевых, Южной Георгии и у Фолклендских характеризуются весьма высокими величинами первичной продукции.

В центральной части моря Скоттия наблюдаются низкие величины первичной продукции.

2. Обнаружена прямая связь между величинами первичной продукции и концентрациями некоторых биологически активных микроэлементов, первичной продукцией и пересыщением кислородом поверхностных слоев в результате фотосинтеза, а для некоторых районов — между первичной продукцией и биомассой фитопланктона.

3. Отмечено некоторое замедление скорости фотосинтеза около полудня и преуменьшение дневной величины первичной продукции на поверхности, полученной при экспонировании пробы в течение целого светового дня, при сравнении с пробой, экспонированной во вторую половину дня.

ЛИТЕРАТУРА

- Дитрих Г. Общая океанография. М., изд-во «Иностранная литература», 1962.
- Кляшторин Л. Б. Исследования первичной продукции в Антарктике. «Океанология», Т. 4. Вып. 5, 1964.
- Методическое пособие по определению первичной продукции органического вещества в водоемах радиоуглеродным методом. Издание Белгосуниверситета им. В. И. Ленина, Минск, 1960.
- Сорокин Ю. И. О применении радиоактивного углерода C^{14} для изучения продуктивности водоемов. Труды Всесоюзного гидробиологического общества, 7, 1956.
- Эль-Саид С. З. Продукция фитопланктона в антарктических и субантарктических водах. Второй Международный Океанографический Конгресс. Тезисы докладов. М., Изд-во «Наука», 1966.
- Hart T. J. Phytoplankton periodicity in antarctic surface waters. Discovery reports, v. XXI, 1942.
- Uda M. and Ishino M. Enrichment pattern resulting from eddy system in relation to fishing grounds. Journ. Tokyo Univ. fish., v. 44, № 1—2, 1958.