

УДК 551.46:477.472 (261.6)

ОКЕАНОЛОГИЯ

Ю. Г. КАБАНОВА, В. И. ВЕДЕРНИКОВ, Б. В. КОНОВАЛОВ,
Л. Н. АНДРЕЕВА

**ЗАВИСИМОСТЬ ВЕЛИЧИН ПЕРВИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ
ОТ РАЗНЫХ ФАКТОРОВ В ЮГО-ЗАПАДНОЙ
ЧАСТИ АТЛАНТИКИ**

(Представлено академиком Е. М. Крепсом 30 VII 1973)

В серии работ, выполненных на научно-исследовательском судне «Академик Курчатов» в ноябре 1971 — январе 1972 г. в юго-восточной части Карибского моря (^{1, 2}), проведено изучение зависимости величин первичной продукции от разных факторов в юго-западной части Южной Атлантики. Выявлено географическое распределение величин первичной продукции, концентрации хлорофилла а от экватора до Антарктики и произведена статистическая оценка зависимости величия продукции от ряда характеристик воды в исследованном районе. Поставлены специальные факторные эксперименты *in situ* на палубе судна с варьированием условий освещенности, концентрации биогенных элементов и количества фитопланктона. Определения величин первичной продукции производились методом радиоактивного углерода (³), концентрации хлорофилла а — экстрактным методом в модификации Ричардса и Томпсона (⁴). Световые условия в факторных экспериментах *in situ* менялись помещением склянок на разные горизонты, на палубе судна — выдерживанием склянок в инкубаторах под светофильтрами, склеенными из оргстекла и заполненными растворами медного купороса, имеющего спектр пропускания света, похожий на спектр пропускания света морской воды. В инкубаторах имитировались так называемые световые глубины (⁵), т. е. глубины, на которые проникает определенный процент света, упавшего на поверхность океана. В инкубаторе без светофильтра определялась продукция для поверхности. Самый слабый светофильтр пропускал около 50% всей радиации, попадавшей в инкубатор без светофильтра. Более плотный светофильтр, заполненный 12-процентным раствором медного купороса, пропускал 25% света, такой же светофильтр, но накрытый металлической сеткой, 10%.

Градации биогенных элементов включали их природный уровень и добавки биогенных элементов в двух концентрациях. Добавки включали набор питательных солей, состоявший из очищенных тройной перекристаллизацией KNO_3 , KH_2PO_4 , $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, $\text{FeCl}_3 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. При одной концентрации добавки содержали $\text{P} 50$, $\text{N} 300$, $\text{Si} 250$, $\text{Fe} 2$, $\text{Mn} 2$, $\text{Co} 2$ мг/м³, при другой — все элементы вносились в удвоенном количестве. Разные градации количества фитопланктона достигались выращиванием имевшегося в исходной пробе фитопланктона в течение разных сроков экспозиции склянок.

Полученные в исследованном районе данные по первичной продукции и по концентрации хлорофилла а в общих чертах совпадали с данными других авторов (^{6—10}). Продукция колебалась от 0,3 до 111,5 мг С на 1 м³ в день, концентрация хлорофилла а — от 0,03 до 3,6 мг/м³. Изменялись определявшиеся величины в разных районах параллельно. Их распределение по изученной акватории носило зональный характер и соответствовало распределению водных масс.

Самой продуктивной была антарктическая водная масса, особенно у островов и в районе антарктической дивергенции. Продукция и концентрация хлорофилла а достигали здесь, соответственно, 50—111,5 мг С на 1 м³ в день и 3,6 мг/м³. Низкопродуктивной являлась субтропическая водная масса с продукцией, не превышавшей на большинстве станций 4 мг С на 1 м³ в день и концентрацией хлорофилла а ниже 0,3 мг/м³. Субантарктическая водная масса по продуктивности занимала промежуточное положение. При переходе от высоких широт к низким на поверхности и при оптимальном освещении наблюдалось увеличение ассимиляционного числа и пигментного индекса. На большей части станций в антарктических и субантарктических водах ассимиляционные числа равнялись 0,5—1,8 мг С на 1 мг хлорофилла а в 1 час, а в субтропических 1,0—3,0 мг С на 1 мг хлорофилла а в час. Особенно резкое возрастание пигментного индекса (от 3 до 15) наблюдалось при переходе от богатых биогенными элементами вод Фолкландского течения в бедные этими элементами воды Бразильского течения. Крайние величины ассимиляционных чисел для исследованного района равнялись 0,2—15,8, а пигментного индекса 1,6—16,9.

Величины первичной продукции обнаруживали четкую связь с концентрацией хлорофилла а, являющейся показателем численности фитопланктона в воде. Коэффициент корреляции (r) между первичной продукцией и концентрацией хлорофилла а равнялся +0,87 при высоком уровне значимости (0,1%). С солнечной радиацией величины продукции имели отрицательную связь ($r = -0,36$) при достаточно высоком уровне значимости (1%). Это свидетельствует о том, что фотосинтез фитопланктона на поверхности в исследованном районе на большинстве станций угнетался избытком света. Оптимальная облученность в диапазоне фотосинтетически активной радиации (Ф.А.Р.) для фотосинтеза поверхностного фитопланктона оказалась более высокой в солнечные дни (9 гкал/см² в 1 час), чем в облачные (2 гкал/см² в 1 час). Имелась отрицательная корреляция величин первичной продукции и температуры воды *in situ* ($r = -0,40$). С биогенными элементами величины продукции имели положительную связь (с нитратами: $r = +0,44$; с фосфатами: $r = +0,42$).

Факторные эксперименты показали, что большое влияние на величины продукции среди изученных факторов во всех исследованных водах оказывала численность фитопланктона. Однако для разных типов вод сила влияния количества фитопланктона на продукцию была различной. В антарктических водах влияние количества фитопланктона составляло 71% от влияния всех факторов, в субантарктических уменьшалось до 56%, а в субтропических водах — до 42%. В то же время влияние биогенных элементов и света по направлению от антарктических к субтропическим водам, наоборот, повышалось от 4 до 8% и от 1 до 8% соответственно. Особенно заметное повышение влияния биогенных элементов и света при движении от высоких широт к низким проявлялось по мере возрастания количества фитопланктона. В антарктических водах оно равнялось 3%, в субантарктических 12%, в субтропических 19%. Влияние света составляло для этих вод 3, 9 и 12%.

Прослеженная закономерность изменения соотношения влияния разных факторов по направлению от высоких широт к низким четко видна на рис. 1. Кривые построены по результатам дисперсионного анализа 2-факторного комплекса: количества фитопланктона (фактор А), концентрации биогенных элементов (фактор В) и их сочетания (АВ), выраженных в процентах от их суммарного влияния. Номера опытов характеризуют одновременно и типы вод. Опыт № 1 проведен в антарктическом районе, опыт № 2 — в субантарктическом и опыт № 3 — в субтропическом. Римскими цифрами I, II, III и IV обозначены различные «световые глубины». Линией *a* показано изменение влияния факторов в разных типах вод на часовую продукцию, т. е. продукцию, измеренную для каждого данного момента, линией *b* — то же на

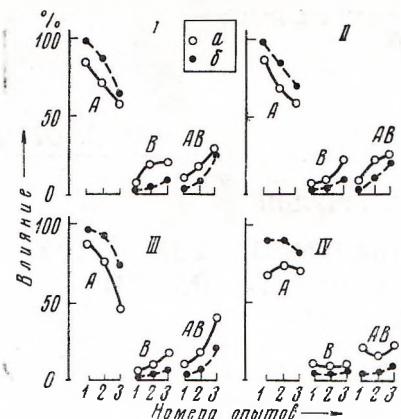


Рис. 1. Влияние различных факторов на величины продукции в разных типах вод (пояснения в тексте)

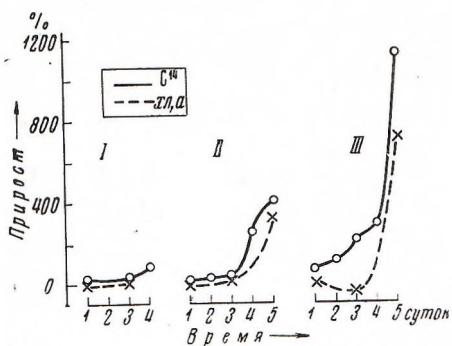


Рис. 2. Влияние подкормок на величины продукции (C^{14}) и на концентрацию хлорофилла а в разных типах вод. I, II, III – антарктический, субантарктический и субтропический районы

суммарную продукцию за период опыта. На рис. 1 видно, что увеличение влияния концентрации биогенных элементов по направлению от высоких широт к низким (от опыта № 1 к опыту № 3) четко проявилось на поверхности, при 100-процентном пропускании света (рис. 1, I), на 50-процентной «световой глубине» (рис. 1, II) и на 25-процентной «световой глубине» (рис. 1, III). На 10-процентной «световой глубине» (рис. 1, IV) закономерное изменение влияния факторов нарушилось. Очевидно, что на последней световой глубине сильнее проявился третий фактор (свет), он изменил соотношение силы влияния на продукцию двух других (количества фитопланктона и биогенных элементов).

На рис. 2 произведено сравнение влияния подкормок на величины продукции и на концентрацию хлорофилла а в различных типах изученных вод. Самый большой прирост как продукции, так и хлорофилла а, по сравнению с контролем (пробы с природным уровнем биогенных элементов), вызывался внесением подкормок в субтропических водах с низким природным уровнем биогенных элементов. Меньший стимулирующий эффект наблюдался в субантарктических водах и едва заметный – в антарктических, где в исходной пробе содержались высокие концентрации элементов. Стимулирующий эффект подкормок при этом быстрее и в большей степени проявлялся в повышении величин продукции, чем в увеличении концентрации хлорофилла а, что свидетельствует о том, что подкормки в первую очередь влияли на ассимиляционную активность хлорофилла.

Институт океанологии им. П. П. Ширшова
Академии наук СССР
Москва

Поступило
16 VI 1973

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Ю. Г. Кабанова, Океанология, 12, в. 2, 299 (1972). ² Ю. Г. Кабанова, Ю. Е. Очаковский, ДАН, 201, № 5, 1227 (1971). ³ Г. Г. Винберг, Ю. Г. Кабанова и др., Методическое пособие по определению первичной продукции органического вещества в водоемах радиоуглеродным методом, Минск, 1960. ⁴ In: UNESCO Monographs Methodology, 1, 1966, p. 9. ⁵ E. Steemann-Nielsen, S. A. Jensen, Galathea Report, 1, Copenhagen, 1957, p. 49. ⁶ В. В. Волковинский, Тр. Всесоюзн. н.-и. инст. морск. рыбн. хоз. и океаногр., 66, 160 (1969). ⁷ Л. М. Сущеня, З. З. Финенко, Океанология, 4, в. 5, 866 (1964). ⁸ S. Z. El-Sayed, In: Primary Productivity and Benthic Marine Algae of the Antarctic and Subantarctic, Folio 10, Antarctic Map Folio Series, American Geographical Society, 1968, p. 1. ⁹ S. Z. El-Sayed, In: Antarctic Ecology, 1970, p. 119. ¹⁰ S. Fukase, S. Z. El-Sayed, Oceanographical Magazine, Tokyo, 17, №№ 1, 2, 1965, p. 34.