

УДК 591.524.12(99)(264)

ПЕРВИЧНАЯ ПРОДУКЦИЯ В ПРОЛИВЕ БРАНСФИЛДА В МАРТЕ 2002 ГОДА

В. Д. Чмыр, А. А. Сысоев

*Институт биологии южных морей НАН Украины. Севастополь, проспект Нахимова, 2.
e-mail: libe@ibss.iuf.net*

Реферат. Первичная продукция (ПП) определена радиоуглеродным методом на 28 станциях в западной части пролива Брансфилда с 9 по 21 марта 2002 г. Более продуктивными были воды центральной и северной части пролива, где величины ПП превосходят $10 \text{ мг С м}^{-3} \text{ сут}^{-1}$. Тут, а также на одной из станций в проливе Герлаха отмечены максимальные величины ПП – больше $20 \text{ мг С м}^{-3} \text{ сут}^{-1}$. Минимальные значения – $2-5 \text{ мг С м}^{-3} \text{ сут}^{-1}$ получены в южной части пролива, прилегающей к Антарктическому полуострову. Интегральные значения ПП в слое фотосинтеза по определению на 8 станциях были в пределах от 75 до $244 \text{ мг С м}^{-2} \text{ сут}^{-1}$. Среднесуточные значения ПП были $8,9 \text{ мг С м}^{-3} \text{ сут}^{-1}$ в поверхностном слое та $144 \text{ мг С м}^{-2} \text{ сут}^{-1}$ в слое фотосинтеза. Низкие значения ПП в продуктивной акватории пролива объясняются необычайно холодным летом, ранним похолоданием и сильными штормами в марте 2002 года.

Первинна продукція у протоці Брансфілда в березні 2002 року. В.Д.Чмир, А.А.Сисоев.

Реферат. Визначення первинної продукції (ПП) виконані радіоуглецевим методом на 28 станціях у західній частині протоки Брансфілда з 9 по 21 березня 2002 р. Більш продуктивними були води центральної та північної частини протоки, де величини ПП перевищують $10 \text{ мг С м}^{-3} \text{ добу}^{-1}$. Тут, а також на одній станції у протоці Герлаха відзначені максимальна величини ПП – більше $20 \text{ мг С м}^{-3} \text{ добу}^{-1}$. Мінімальні значення – $2-5 \text{ мг С м}^{-3} \text{ добу}^{-1}$ одержані у південній частині протоки, що прилягає до Антарктичного півострова. Інтегральні значення ПП у шарі фотосинтезу за визначеннями на 8-ми станціях були у межах від 75 до $244 \text{ мг С м}^{-2} \text{ добу}^{-1}$. Середні добові значення ПП були $8,9 \text{ мг С м}^{-3}$ у поверхневому шарі та 144 мг С м^{-2} у шарі фотосинтезу. Низькі значення ПП у продуктивній акваторії протоки пояснюються незвичайно холодним літом, раннім похолоданням та сильними штормами в березні 2002 року.

Primary production at the Bransfield Strate during March 2002 by V.D. Chmyr and A.A.Sysoyev.

Abstract. Primary production (PP) rates were measured by a radiocarbon method at 28 stations in the southwestern Bransfield Strait (BS) during 9 – 21 March 2002. More productive waters with PP rates in excess of $10 \text{ mg C m}^{-3} \text{ day}^{-1}$ for surface layer were in the central and northern BS. Here and at one station in the Gerlach Strait the maximal PP rates in excess of $20 \text{ mg C m}^{-3} \text{ day}^{-1}$ were determined. Minimal PP values $2-5 \text{ mg C m}^{-3} \text{ day}^{-1}$ we documented in the southern BS along the Antarctic Peninsula. The integrated primary production values for the euphotic zone by the measurings at 8 stations ranged from 75 to $244 \text{ mg C m}^{-2} \text{ day}^{-1}$. Mean PP rates were $8,9 \text{ mg C m}^{-3} \text{ day}^{-1}$ ($1,92 - 24,51$) for the surface layer and $144 \text{ mg C m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ for the euphotic zone. The anomalous cold summer, strong storms and early winter coming in March 2002 may explain low PP rates in the productive BS area.

Key words: Phytoplankton, Primary production, Chlorophyll A, Bransfield Strait.

1. Введение

Представление о высокой продуктивности антарктических вод сложилось в связи с обилием здесь промысловых объектов, в частности, криля. Однако, прямые измерения показывают, что биомасса и продукция фитопланктона в пелагиали Южного океана скорее находятся на уровне близком к олиготрофным водам: около $50 \text{ мг Хл А м}^{-2}$ и $0,1 - 0,3 \text{ г С м}^{-2} \text{ сут}^{-1}$ (El-Sayed et al., 1965, 1984, 1988; Волковинский, 1969; Holm-Hansen et al., 1977; Самышев, 1991; Чмыр, 2002; Чмыр и др., 2002). Причём низкая продуктивность фитопланктона наблюдается при высоких концентрациях солей азота и фосфора и достаточной инсоляции. Этот феномен, характерный также для обширных участков Тихого океана, был назван “самым большим биологическим парадоксом” (El-Sayed, 1987).

Объяснение парадокса было получено в работах Волковинского (1969), Martin et al., (1988, 1990), в которых была показана лимитирующая роль микроэлементов и, в частности, железа в развитии фитопланктона в пелагических водах Тихого и Южного океанов.

В то же время в шельфовых водах антарктических морей, в достаточной степени обогащённых микроэлементами, были обнаружены довольно высокие значения биомассы фитопланктона (более $100 \text{ мг Хл А м}^{-2}$) и ПП (более $600 \text{ мг С м}^{-2} \text{ сут}^{-1}$). Это относится и к водам, окружающим

Антарктический полуостров и Южные Шетландские о-ва (Burkholder et al., 1961; El-Sayed, 1967, 1984; Brockel, 1981; Uribe, 1982; Lipski, 1982, 1985).

Проведенные ранее исследования у побережья Антарктического полуострова показали, что во время летнего цветения наибольшая биомасса фитопланктона наблюдается в юго-западном секторе пролива Брансфилда, а самая низкая – в центральной его части. У побережья Южных Шетландских островов также были отмечены высокие биомассы фитопланктона (Uribe, 1982, 1985; Lipski, 1985).

Учитывая важность прибрежных акваторий как наиболее продуктивных зон Антарктики, обеспечивающих поглощение избыточной углекислоты из атмосферы, а также их определяющую роль в воспроизводстве биологических ресурсов, в частности, криля, в 1986 – 1987 г.г. на акватории пролива Брансфилда была осуществлена масштабная программа исследования функционирования экосистемы побережья Антарктики (RACER). Основной задачей этих исследований было выяснение факторов, определяющих возникновение, развитие и окончание весенне-летнего цветения фитопланктона, ежегодно наблюдающегося в шельфовых зонах Антарктики (Huntley et al., 1991; Holm-Hansen et al., 1991; Mitchell et al., 1991).

Таким образом, проведенные нами в марте 2002 г. исследования в проливе Брансфилда, результаты которых частично представлены в настоящей работе, позволяют провести сопоставление с картиной полученной 15 лет назад и оценить изменения, связанные с межгодовыми колебаниями условий среды, а также возможные изменения самой экосистемы побережья Антарктики.

2. Материал и методика

Первичную продукцию (ПП) в проливе Брансфилда определяли радиоуглеродным методом Стимана-Нильсена (1952). Для определения применяли радиоуглерод-бикарбонат отечественного производства, очищенный от примесей специальной обработкой. Пробы отбирали 18-литровым пластмассовым батометром параллельно с отбором проб на фито- и бактериопланктон, хлорофилл и органическую взвесь. С каждого горизонта отбирали воду в три склянки объёмом 250 мл (две светлые и одна затемнённая), в каждую из которых вносили 0,32 МБк (8 мккюри) рабочего раствора радиоуглерода. Склянки с пробами морской воды экспонировали в проточном палубном инкубаторе, куда подавалась заборная вода для поддержания температуры близкой к поверхностной. Для имитации подводной освещённости использовали инкубатор с нейтральными светофильтрами, пропускающими 50, 20, 7 и 1 % от поверхностной освещённости. Глубину световых горизонтов оценивали с помощью диска Секки.

После экспозиции длительностью в половину светового дня пробы фильтровали на мембранные фильтры с диаметром отверстий 0,2-0,3 мкм. Радиоактивность фильтров измеряли на сцинтилляционном радиометре Rack-Beta Spectral. Разницу между светлыми склянками и темновым контролем пересчитывали на полный световой день.

Исследования проводили в западной части пролива Брансфилда, где с 9 по 18 марта были выполнены определения ПП на 27 станциях, на 8 из которых – по световым горизонтам в слое фотосинтеза. 20 марта проведено также определение ПП во внутренней лагуне о. Десеппен (рис.1).

В работе использованы также данные параллельных определений концентрации Хл А.. Полностью данные по Хл А, а также методика его определения, представлены в статье А.А.Сысоева в настоящем издании.

3. Результаты исследований

Распределение ПП в поверхностном слое на полигоне в проливе Брансфилда представлено на рис.1 в $\text{мг С м}^{-3} \text{сут}^{-1}$. Минимальные значения ПП 1,7–5,6 получены в южной части пролива на запад от о. Брабант и далее вдоль Антарктического полуострова на северо-восток. Зона более высокой продуктивности расположена в центральной и северной части

пролива, где получены значения ПП свыше 10, достигая у о. Лоу 24,5 и у о. Десепшен 21,9. Полоса низкопродуктивных вод в южной части пролива Брансфилда прерывается у устья

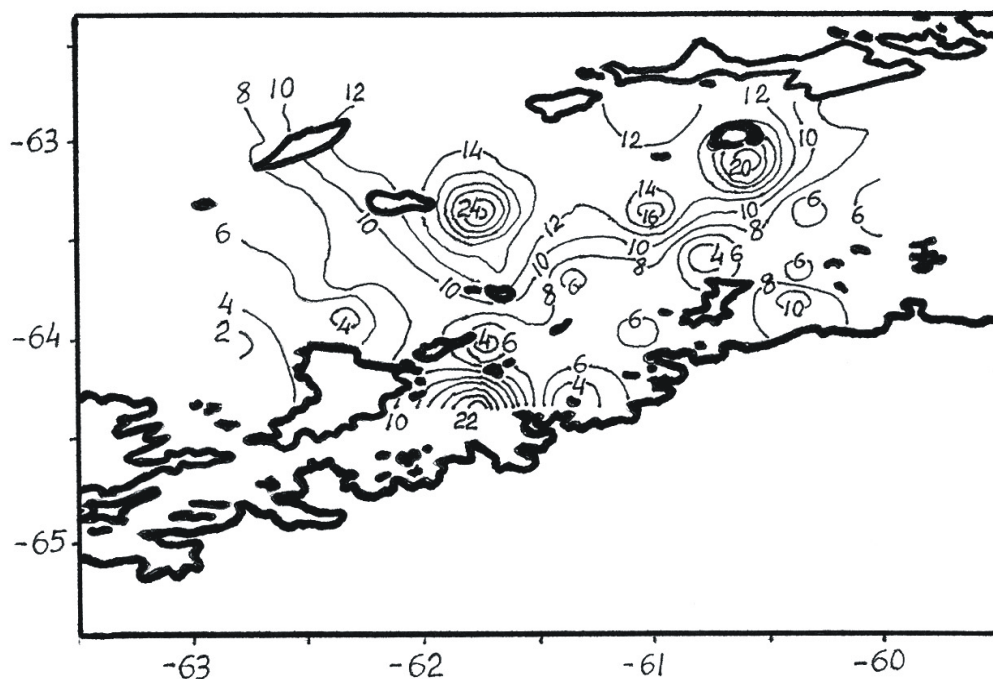


Рис. 1. Распределение первичной продукции в поверхностном слое в проливе Брансфилда в марте 2002 г. ($\text{мг С м}^{-3} \text{сут}^{-1}$).

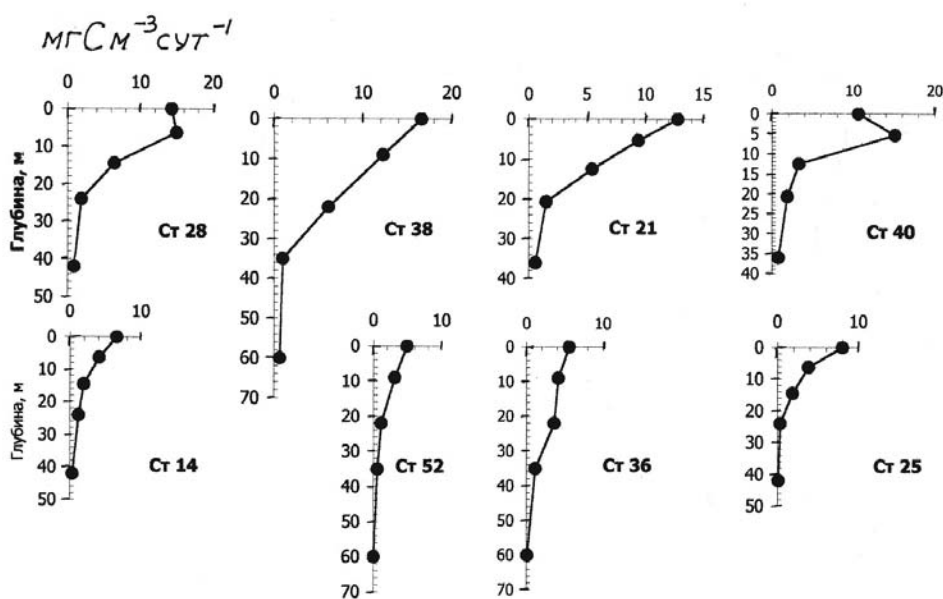


Рис. 2. Первичная продукция на световых горизонтах (100, 50, 20, 7 и 1 % от поверхностной) в проливе Брансфилда в марте 2002 г.

пролива Герлаха, где ПП также была высокой – 22,6. Во внутренней лагуне о. Десепшен ПП в поверхностном слое составила $5,7 \text{ мг С м}^{-3} \text{ сут}^{-1}$. Среднее для всей акватории съёмки значение ПП в поверхностном слое равно $8,9 \text{ мг С м}^{-3} \text{ сут}^{-1}$.

Глубина эуфотического слоя на основной части полигона составляла около 40 м. Только в восточной части пролива, куда проникают прозрачные воды из моря Уэдделла, глубина эуфотического слоя достигала 60 м. Результаты измерений ПП по световым горизонтам и интегральные значения в слое фотосинтеза представлены в таблице 1.

Интегральные значения ПП в южной, менее продуктивной части пролива Брансфилда, находились в пределах $75 - 134 \text{ мг С м}^{-2} \text{ сут}^{-1}$. В более продуктивной северной части пролива её значения составляли $157 - 244$. Среднее для акватории съёмки значение ПП в слое фотосинтеза было равно $144 \text{ мг С м}^{-2} \text{ сут}^{-1}$.

Таблица 1. Первичная продукция (ПП), хлорофилл А (Хл А) и ассимиляционное число (АЧ) на световых горизонтах (м^{-3}) и в эуфотическом слое (м^{-2}). Пролив Брансфилда, март 2002 г. ДС – условная прозрачность (диск Секки), Н – глубина. ПП – мг С сут^{-1} , Хл А – мг , АЧ – $\text{мг С мг Хл А}^{-1} \text{ час}^{-1}$

N ст.	ДС м	Н эуфот. слоя, м	Показатели	На горизонтах с освещённостью в процентах от поверхностной, м^{-3}					Эуфот. слой м^{-2}
				100	50	20	7	1	
14	13	42	ПП	6,58	4,10	1,94	1,19	0,32	87
			Хл А	0,693	0,791	0,674	0,673	0,568	28,24
			АЧ	0,791	0,432	0,240	0,147	0,047	0,26
36	19	60	ПП	5,59	4,15	3,60	1,16	0,09	134
			Хл А	0,614	0,889	0,816	0,631	0,288	38,76
			АЧ	0,759	0,389	0,368	0,153	0,026	0,29
2	19	60	ПП	4,92	3,10	1,13	0,54	0	81
			Хл А	0,283	0,236	0,190	0,179	0,146	11,55
			АЧ	1,449	1,095	0,496	0,251	-	0,58
40	11	36	ПП	10,62	15,09	3,32	1,88	0,79	177
			Хл А	0,823	0,909	0,859	0,849	0,819	30,72
			АЧ	1,075	1,383	0,322	0,185	0,080	0,48
8	12	39	ПП	16,59	12,28	6,14	1,00	0,66	197
			Хл А	0,768	0,761	0,656	0,590	0,415	23,68
			АЧ	1,800	1,345	0,780	0,141	0,133	0,69
21	11	36	ПП	12,80	9,40	5,45	1,48	0,59	157
			Хл А	1,237	1,381	1,491	1,473	1,500	52,14
			АЧ	0,862	0,567	0,305	0,084	0,033	0,25
8	13	42	ПП	14,33	15,00	6,40	1,88	0,87	244
			Хл А	0,801	0,969	0,804	0,843	0,445	32,25
			АЧ	1,491	1,290	0,663	0,186	0,163	0,63
5	13	42	ПП	8,02	3,82	1,86	0,34	0,11	75
			Хл А	0,323	0,443	0,365	0,254	0,249	13,16
			АЧ	2,069	0,719	0,425	0,112	0,037	0,47

Параллельные измерения концентрации Хл А дают возможность рассчитать значения ассимиляционных чисел (АЧ), выражаемых в $\text{мг С мг Хл А}^{-1} \text{ час}^{-1}$. Максимальные АЧ получены на верхних световых горизонтах с освещённостью 100 и 50 % от поверхностной, где их значения находились в пределах $0,4 - 2,1$ (табл.1). Среднее значение АЧ для поверхностного слоя равно 1,288, а на горизонтах с освещённостью 50, 20, 7 и 1 % от поверхностной средние

значения АЧ составляют соответственно 70, 35, 12 и 5 % от его поверхностного значения. Ассимиляционные числа, рассчитанные по интегральным значениям ПП и Хл А в эуфотическом слое, находятся в пределах 0,26 - 0,69, а среднее по 8 измерениям значение равно 0,46 мг С / мг Хл А⁻¹ час⁻¹.

4. Обсуждение

Систематический состав фитопланктона в проливе Брансфилда характеризуется развитием криптофитовых, хризофитовых и диатомовых водорослей (Aristegui et al., 1996, Кузьменко, **наст. издание**). Согласно параллельным данным Кузьменко (**наст. издание**) численность фитопланктона определялась, главным образом, мелкими жгутиковыми и хризофитовыми. Средняя численность в эуфотическом слое составляла около 120 млн кл м⁻³, при максимальных значениях у поверхности свыше 1000 млн кл м⁻³. Биомасса фитопланктона определялась, главным образом, наличием более крупных клеток диатомовых водорослей. Среднее значение в эуфотическом слое составляло свыше 300 мг м⁻³ объёмной (сырой) биомассы, при максимальных значениях у поверхности свыше 2000 мг м⁻³.

Характер распределения ПП, Хл А, численности и биомассы фитопланктона объединяет общая тенденция повышения всех показателей в северном направлении.

Представленные нами данные по ПП в проливе Брансфилда в целом согласуются с опубликованными аналогичными измерениями других авторов, хотя следует отметить и специфику, отличающую наши результаты. Проведенные в этом же районе исследования по программе RACER, выполнявшиеся с середины декабря 1986 г. до конца марта 1987 г. представляли собой повторяющиеся ежемесячные съёмки в западной части пролива Брансфилда с выходом в олиготрофные воды пролива Дрейка к северу от Южных Шетландских островов. По этой программе ежемесячно определяли концентрацию Хл А и освещённость на 69 станциях, а также ПП *in situ* на нескольких контрольных станциях. Полученные ассимиляционные коэффициенты использовали затем для расчёта ПП по всей акватории съёмки (Holm-Hansen et al., 1991; Mitchell et al., 1991).

Несколько станций с определениями Хл А и ПП было выполнено в юго-западной части пролива Брансфилда и во внутренней лагуне о.Десепшен также в феврале 1993 г. (Aristegui et al., 1996). Поскольку внутренняя лагуна вулканического происхождения является в значительной мере изолированным бассейном, прежде чем приступить к анализу материалов по основной акватории съёмки остановимся на полученных здесь величинах отдельно. 14 февраля 1993 г. Aristegui et al., (1996) констатировали в лагуне обильное цветение Prasinophyceae. Концентрация Хл А в поверхностном слое составляла 7,39 мг м⁻³, а величина ПП – 203 мг С м⁻³ сут⁻¹. При глубине эуфотического слоя 15 м интегральные значения составили для Хл А 82 мг м⁻², а для ПП – 620 мг С м⁻² сут⁻¹. Наши измерения, выполненные в лагуне 21 марта 2002 г. дали для поверхностного слоя значения Хл А 0,647 мг м⁻³ и ПП 5,73 мг С м⁻³ сут⁻¹. Размах сезонных колебаний уровня продуктивности фитопланктона в лагуне характеризуют коэффициенты соотношения значений, полученных в феврале и марте в поверхностном слое: для концентрации Хл А этот коэффициент равен 11,4, а для величин ПП – 35,4.

Не меньшие сезонные колебания характерны и для основной акватории полигона в проливе Брансфилда. Чтобы сопоставить полученные нами в марте 2002 г. значения Хл А и ПП с аналогичными литературными данными, охватывающими практически весь вегетационный период, мы составили таблицу, в которой представлены средние для всей акватории съёмки значения (табл.2). Согласно этим данным в декабре наблюдали максимальные значения концентрации Хл А (6,5 мг м⁻³ на поверхности и 291 мг м⁻² в слое 0 – 50 м) и величин ПП (2500 мг С м⁻² сут⁻¹). В январе эти значения уменьшились в полтора-два раза, а в феврале-марте соответственно в 5–6 и в 7-10 раз. Ассимиляционное число (АЧ), рассчитанное по средним для съёмки интегральным значениям Хл А и ПП, в декабре было равно 0,95, в январе 0,81, а в феврале и марте около 0,40 мг С / мг Хл А⁻¹ час⁻¹ (Holm-Hansen et al., 1991; Mitchell et al., 1991).

Таблица 2. Средние значения количества хлорофилла А (Хл А), величин первичной продукции (ПП) и ассимиляционных чисел (АЧ) в проливе Брансфилда по данным различных авторов в продолжение вегетационного периода

Показатель	Авторы	месяц	XI	XII	I	II	III
		год					
Хл А, Мг м ⁻³ 00 м	Holm-Hansen et al., 1991	1986-87	-	6,5	4,6	1,40	1,20
	Aristegui et al., 1996	1993	-	-	-	1,30	-
	Данные авторов	2002	-	-	-	-	0,71
Хл А, Мг м ⁻² 0 – 50 м	Holm-Hansen et al., 1991	1986-87	-	291	176	58	50
	Aristegui et al., 1996	1993	-	-	-	35	-
	Данные авторов	2002	-	-	-	-	32
ПП, Мг С м ⁻² сут ⁻¹	Bodungen et al., 1986		880	-	-	-	-
	Holm-Hansen et al., 1991	1986-87	-	2500	1200	510	250
	Aristegui et al., 1996	1993	-	-	-	354	-
	Данные авторов	2002	-	-	-	-	144
АЧ, мг С Мг Хл А ⁻¹ час ⁻¹ , Среднее для Эуфот-го слоя	Holm-Hansen et al., 1991	1986-87	-	0,95	0,81	0,39	0,42
	Aristegui et al., 1996	1993	-	-	-	0,73	-
	Данные авторов	2002	-	-	-	-	0,46
АЧ, Среднее для Поверхностного слоя	Aristegui et al., 1996	1993	-	-	-	1,35	-
	Данные авторов	2002	-	-	-	-	1,29

По нашим измерениям средняя концентрация Хл А на поверхности в марте 2002 г. была равна 0,71 мг м⁻³, в то время как в марте 1987 г. среднее для акватории значение составляло 1,20 мг м⁻³, а в феврале 1987 г. – 1,40 мг м⁻³ (Holm-Hansen et al., 1991). Среднее количество Хл А в слое 0-50 м по нашим измерениям в марте 2002 г. было равно 32 мг м⁻², в марте же и феврале 1987 г. – соответственно 50 и 58 мг м⁻². Среднее значение ПП по нашим измерениям в марте 2002 г. было равно 144 мг С м⁻² сут⁻¹, в марте 1987 г. оно было существенно выше – 250 мг С, а в феврале 1987 г. 500 мг С м⁻² сут⁻¹. Рассчитанное по средним интегральным значениям Хл А и ПП ассимиляционное число по нашим измерениям в марте 2002 г. было равно 0,46 мг С мг Хл А⁻¹ час⁻¹, что близко к его значениям в феврале (0,39) и в марте (0,42) 1987 г. (Holm-Hansen et al., 1991).

Таким образом, если полученные нами средние значения АЧ практически совпадают с полученными в феврале-марте 1987 г. по программе RACER, то величины, характеризующие биомассу и продукцию фитопланктона – Хл А и ПП – в марте 2002 г. оказались примерно в полтора раза ниже. Изменился также и характер распределения биомассы и продукции фитопланктона. С декабря 1986 г. по март 1987 г. устойчивый максимум Хл А удерживался в юго-западной части пролива Брансфилда, примыкающей к устью пролива Герлаха. Для марта 2002 г. характерны низкие значения ХлА и ПП в южной части пролива Брансфилда у Антарктического полуострова. Только на одной станции в устье пролива Герлаха отмечен максимум ПП. В целом же по акватории съёмки в марте 2002 г. более продуктивной была северная часть пролива Брансфилда, включающая шельфовую зону Южных Шетландских островов.

Исследования по программе RACER показывают, что ни интенсивность инсоляции, ни концентрация солей азота и фосфора сами по себе не являются определяющими в развитии фитопланктона. Так, если интенсивность инсоляции с декабря по март снижается от 100 до 40

%, то величина ПП падает в 10 раз. Концентрации солей азота и фосфора значительно снижаются в декабре-январе, в разгар цветения, но уже в феврале вновь возрастают до значений близких к фоновым (Holm-Hansen et al., 1991). Результаты моделирования процесса развития фитопланктона с учётом всего комплекса факторов среды приводят к выводу о ключевой роли физических параметров верхнего перемешанного слоя (ВПС). Благоприятные условия для роста биомассы фитопланктона создаются при образовании градиента плотности в пределах слоя фотосинтеза. Заглубление скачка плотности, ослабление стратификации верхнего освещённого слоя, наступающее в результате похолодания и ветрового перемешивания, вызывают быстрое падение биомассы и продукции фитопланктона (Mitchell et al., 1991).

По данным сезонных наблюдений по программе RACER средняя глубина ВПС на акватории съёмки в декабре 1986 г. составляла 15 м, в январе 1987 г. 17, а в феврале и марте соответственно 26 и 30 м. Во время нашей съёмки в марте 2002 г. пикноклин в пределах верхнего 100-м слоя на большинстве станций отсутствовал или прослеживался слабо. Среднее значение глубины ВПС по станциям, где пикноклин прослеживается, превосходит 40 м, наиболее же характерными являются глубины 50 – 60 м.

Согласно наблюдениям, выполненным ранее (Bodungen et al., 1986; Holm-Hansen et al., 1991), среднее значение ПП в этой акватории для всего вегетационного периода (около 150 суток) можно оценить как близкое к $1 \text{ г С м}^{-2} \text{ сут}^{-1}$. Следовательно, годовая продуктивность этого шельфового района Антарктики в благоприятные годы может превышать 150 г С м^{-2} .

5. Заключение

Раннее похолодание и штормовые ветры в конце особенно холодного лета 2002 г. обусловили низкие значения биомассы и продукции фитопланктона в проливе Брансфилда и, прежде всего, в южной его части, примыкающей к материку. Таким образом, наши измерения в марте 2002 г. показывают, что в неблагоприятные годы с холодным летом и ранним наступлением зимы продуктивность шельфовых районов значительно снижается.

Благодарности. Авторы выражают глубокую благодарность всем участникам экспедиции за содействие в проведении наших исследований, особенно С. Гулину – за помощь в измерении радиоактивности проб и В. Воскресенскому – за предоставленные данные по условной прозрачности и помощь в измерении освещённости.

Литература

- Волковинский В.В.** Измерение первичной продукции в море Скотия // Труды ВНИРО. - 1969. - Т. 64. - С. 160 - 167.
- Кузьменко Л.В.** Фитопланктон западной части пролива Брансфилда // Укр. антар. журн. - 2004. - №2. - С. 124-135.
- Самышев Э.З.** Антарктический криль и структура планктонного сообщества в его ареале. - М.: Наука. 1991. - 168 с.
- Сысоев А.А.** АТФ и хлорофилл А микропланктона в проливе Брансфилда в ранний осенний сезон 2002 г. // Укр. антар. журн. - 2004. - №2. - С. 1151-1157.
- Чмыр В.Д.** Первичная продукция в водах Атлантической части Антарктики в предзимний период 1998 г. // Бюл. Укр. антарк. центр. - 2002. - Вып. 4. - С. 141-142.
- Чмыр В.Д., Серёгин С.А.** Продукция бактериопланктона в водах Антарктики в марте – апреле 1998 г. // Бюл. Укр. антарк. центр. - 2002. - Вып. 4. - С. 112-115.
- Aristegui J., Montero M.F., Ballesteros S. et al.** Planktonic primary production and microbial respiration measured by C14 assimilation and dissolved oxygen changes in coastal waters of the Antarctic Peninsula during austral summer: implications for carbon flux studies // Mar. Ecol. Prog. Ser. - 1996. - 132. - P. 191-206.
- Bodungen B.von, Smetacek V., Tilcer M. et al.** Primary production and sedimentation during austral spring in the Antarctic Peninsula region // Deep Sea Research. - 1986. - 33. - P. 177-194.

- Brockel K. von.** The importance of nanoplankton within the pelagic Antarctic ecosystem // Kieler Meeresforschung. - 1981. - 5. - P. 61-67.
- Burkholder P.R.,** Sieburth J. Phytoplankton and chlorophyll in the Gerlache and Bransfield Straits of Antarctica // Limnology and Oceanography. - 1961. - 6. - P. 45-52.
- El-Sayed S.Z.** On the productivity of the Southwest Atlantic Ocean and the waters west of the Antarctic Peninsula // In: Biology of the Antarctic seas, III, Antarctic Research Series, American Geophysical Union. - 1967. - 11. - P. 15-47.
- El-Sayed S.Z.** Productivity of the Antarctic waters - a reappraisal // Marine phytoplankton and productivity. - Holm-Hansen et al., editors. - Springer, Berlin. 1984. - P. 19-34.
- El-Sayed S.Z.** Biological productivity of Antarctic waters: present paradoxes and emerging paradigms // In: Antarctic Aquatic Biology. - El-Sayed S.Z. and Tomo A.P., editors. - SCAR, Cambridge, England. 1987. - P. 1-21.
- El-Sayed S.Z.** Productivity of the Southern Ocean: a closer look // Comparative Biochemistry and Physiology. - 1988. - 90 B. - P. 489-498.
- El-Sayed S.Z.,** Mandelli E.F. Primary production and standing crop of phytoplankton in the Weddel Sea and Drake Passage // In: Biology of the Antarctic Seas, II, Antarctic Research Series, American Geophysical Union. - 1965. - 5. - P. 87- 106.
- Holm-Hansen O.,** El-Sayed S.Z., Franceshini G.A. et al. Primary production and the factors controlling phytoplankton growth in Antarctic seas // In: Adaptations within Antarctic ecosystems: Proceedings of the Third SCAR Symposium on Antarctic Biology. - G.A.Llano, editor. - Smithsonian Institution, Washington. - 1977. - P. 11-50.
- Holm-Hansen O.,** Mitchell B.G. Spatial and temporal distribution of phytoplankton and primary production in the western Bransfield Strait region // Deep Sea Research. - 1991. - 38. - P. 961 - 980.
- Huntley M.,** Karl D.M., Niiler P. et al. Research on Antarctic Coastal Ecosystem Rates (RACER): an interdisciplinary field experiment // Deep Sea Research. - 1991. - 38. - P. 911 - 941.
- Lipski M.** The distribution of chlorophyll-a in relation to the water masses in the southern Drake Passage and Bransfield Strait (BIOMASS-FIBEX, February-March 1981) // Polish Polar Research. - 1982. - 3. - P. 143 - 152.
- Lipski M.** Chlorophyll-a in the Bransfield Straite and the southern part of Drake Passage during BIOMASS-SIBEX (Decembar-January 1984) // Polish Polar Research. - 1985. - 6. - P. 21 - 30.
- Martin J.H.,** Fitzwater S. Iron deficiency limits phytoplankton growth in the north-east Pacific subarctic // Nature. - 1988. - 331. - P. 341 - 343.
- Martin J.H.,** Gordon R.M., Fitzwater S. Iron in Antarctic waters // Nature. - 1990. - 345. - P. 156 - 158.
- Mitchell B.G.,** Holm-Hansen O. Observations and modeling of the Antarctic phytoplankton crop in relation to mixing depth // Deep Sea Research. - 1991. - 38 - P. 981 - 1007.
- Steemann Nielsen E.** The use of radio-active carbon (¹⁴C) for measuring organic production in the sea // Journal du Conseil. - 1952. - 18. - P. 117 - 140.
- Uribe E.** Influence of the phytoplankton and primary production of the Antarctic waters in relationship with the distribution and behavior of krill // Instituto Antartico Chileno, Scientific Series. - 1982. - 28. - P. 147 - 163.
- Uribe E.** Chlorophyll-a distribution in the Bransfield Strait during 1984 southern summer // Instituto Antartico Chileno, Scientific Series. - 1985. - 33. - P. 115 - 130.