



УДК 574.583:579(292.3)

**С. А. Серегин**, канд. биол. наук, н. с., **Л. В. Кузьменко**, канд. биол. наук, ст. н. с.,

**А. А. Сысоев**, вед. инж., **Н. А. Гаврилова**, вед. инж.

Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского Национальной академии наук Украины,  
Севастополь, Украина

### **МИКРОПЛАНКТОН ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ПРОЛИВА БРАНСФИЛДА:**

#### **СТРУКТУРА ЧИСЛЕННОСТИ И БИОМАССЫ В МАРТЕ 2002 г.**

Обсуждаются результаты исследований микропланктона (фито- и бактериопланктон, раковинные инфузории) фотического слоя вод западной части пролива Брансфилда (Антарктика), проведенных в рамках 7-й Украинской антарктической экспедиции (УАЭ) в марте 2002 г. Показатели обилия микропланктона в разных участках полигона различались в 2 – 40 раз. Учитывая видовую структуру и характер распределения численности и биомассы микропланктона, на изученной акватории выделены несколько зон. Воды северной зоны – в пространстве между островами Смита, Сноу, Ливингстона и Дисепшен – с наибольшими значениями численности и биомассы микропланктона охарактеризованы как эвтрофные. Минимальные показатели отмечены в Юго-Восточной зоне – в районе о. Тринити и вдоль побережья Антарктического п-ова. Варьирование численности, биомассы и видового состава микропланктонного сообщества в разных зонах исследованной акватории сопоставлено с гидрологической структурой вод и их происхождением.

**Ключевые слова:** сообщество микропланктона, фитопланктон, бактериопланктон, распределение численности и биомассы

Пролив Брансфилда, отделяющий Южные Шетландские острова от Антарктического п-ова, рекомендован АНТКОМом как область для проведения биолого-океанографических исследований. Большая часть его акватории в весенне-летний период относится к высокопродуктивным водам, в которых микропланктон играет важнейшую роль в функционировании пелагической экосистемы. В продуктивный период в водах пролива развивается мощное “цветение” фитопланктона, генерирующего подавляющую часть первичного органического вещества пелагической экосистемы и служащего кормовой базой для более высоких трофических уровней, в том числе криля [4, 15]. Здесь располагается одна из основных зон его воспроизводства и “нагула” молодежи. Бакте-

риопланктонный компонент сообщества ответствен за утилизацию растворенной органики и реминерализацию биогенных элементов. Большую роль в регуляции численности микроводорослей и бактерий играют их потребители – инфузории и гетеротрофные нанофлагелляты.

Данный район Антарктики, пожалуй, наиболее изучен с точки зрения океанографии. Однако, результаты биологических исследований в антарктических водах свидетельствуют о драматически высокой пространственно-временной неоднородности в распределении обилия и продукционной активности планктона [12, 14]. В частности, величина варьирования на один порядок относительно консервативного показателя - численности планктон-

ных бактерий на пространстве десятков миль – обычное явление [6]. Пятнистость распределения фитопланктона на пике вегетации еще выше – до 10 порядков [16]. Выявление источников этой вариабельности предполагает регулярные исследования модельных регионов. С этой точки зрения, исследования 7-й Украинской Антарктической экспедиции (УАЭ) продолжили комплексные съемки в западной части пролива Брансфилда: RACER (1986 – 1987, 1989), BIOANTAR (1991, 1993), ECOANTAR (1994), FRUELA (1995 – 1996). С другой стороны, наши исследования, приходящиеся на “осенний” сезон годового цикла, переходный

от лета к зиме, дополняют предыдущие, выполненные, как правило, в весенне-летний период.

**Материал и методы.** Сборы проб для настоящей работы выполнены во время 7-й УАЭ на НИС «Горизонт» в западной части пролива Брансфилда с 8 по 18 марта 2002 г.

Исследовательский полигон состоял из 42 океанологических станций, в том числе 22 комплексных (рис. 1), на которых производилось взятие биологических проб на разных глубинах водного столба. На некоторых станциях биологические пробы отбирали только с поверхности воды.

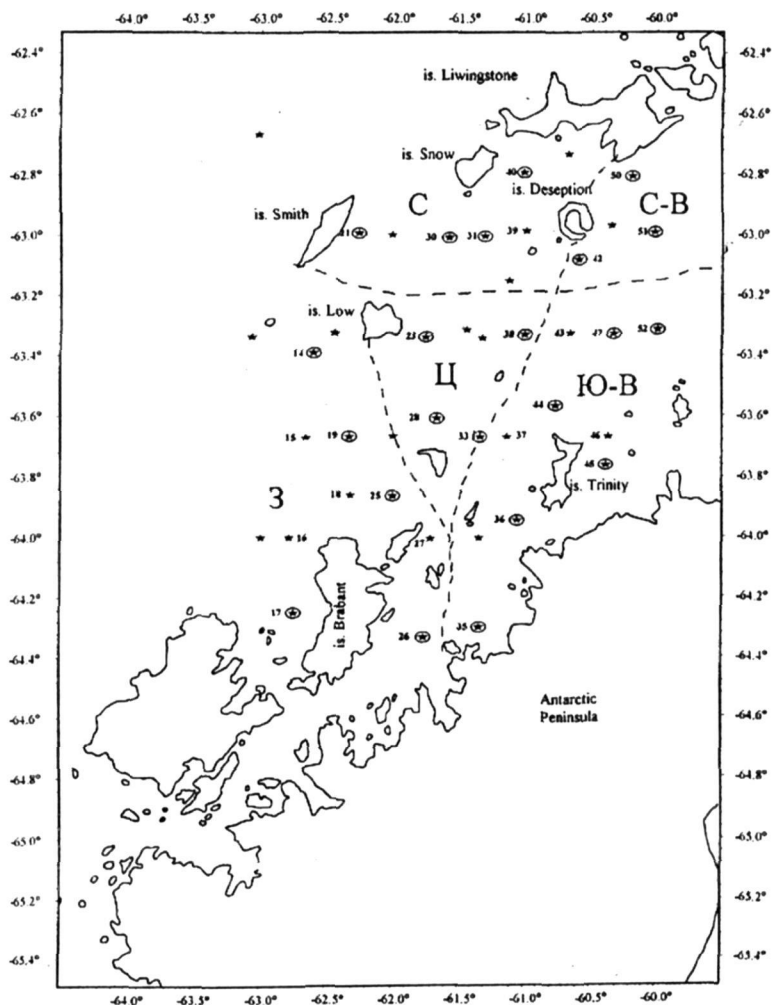


Рис. 1. Карта района выполнения работ. Звездочками обозначены гидрологические станции; звездочками в кружочке – комплексные биологические; пунктирной линией – условные границы выделенных зон: С – северная зона, С-В – северо-восточная зона, Ц – центральная зона и Ю-В – юго-восточная зона

Fig. 1. Map of studied area. Stars – hydrological stations; stars in circles – complex biological stations; dotted lines – conditional boundary of classified zones: C – northern zone, C-B – north-eastern zone, Ц – central zone, Ю-В – south-eastern zone

Пробы отбирали пластмассовым 18-литровым батометром Нискина из поверхностного слоя (1 м), “световых” горизонтов, соответствующих 50 %, 20 %, 7 % и 1 % уровням освещенности относительно поверхности, а также из слоя выраженного пикноклина и с глубины 100 м. “Световые” горизонты определены по результатам измерений прозрачности воды с помощью диска Секки (выполнены

В. Воскресенским, МГИ НАНУ). При невозможности определить световые горизонты (в ночное время), глубины отбора проб определяли, исходя из особенностей гидрологической структуры конкретных водных масс.

Пробы воды для учета численности ( $N_{ph}$ ) и биомассы ( $B_{ph}$ ) фитопланктона объемом 1 – 2 л сгущали с помощью воронки обратной фильтрации с использованием ядерных фильтров с размером пор 1 мкм. Полученный концентрат объемом 30 – 70 мл фиксировали глютаральдегидом с конечной концентрацией в пробе 2 %. Анализ всех проб проводили под световым микроскопом при увеличении  $\times 120$ ,  $\times 240$  и  $\times 480$ . Клетки нанопланктона (2 – 15 мкм) учитывали на стекле в капле объемом 0.01 мл, а микрофитопланктона (более 15 мкм) – в камере Наумана объемом 0.4 или 0.8 мл. По индивидуальным размерам клеток встреченных видов водорослей рассчитывали их объемы ( $V_{ph}$ ) путем приравнивания к различным геометрическим фигурам [5] для последующего расчета сырой биомассы. При вычислении углеродной биомассы использовали следующие величины содержания углерода в сырой биомассе разных групп микроводорослей: 4 % – для крупных ( $> 4000 \text{ мкм}^3$ ) диатомовых, 7 % – для мелких диатомовых, 16 % – для перидиниевых и 14% – для прочих таксонов (динофлагелляты, криптофитовые, золотистые и др.) [2]. Среднее содержание углерода в “сырой” биомассе фитопланктона (по 53 пробам с разных станций и горизонтов) составило  $7.3 \pm 2.6 \%$ .

Биомассу микропланктона оценивали также по содержанию хлорофилла “a” (Chl a) (биомасса фитопланктона) и АТФ (общая “активная” микробиальная биомасса). Для определения концентрации АТФ батометрические пробы непосредственно после отбора фильтровали через фильтры “Sartorius” с размерами пор 0.3 мкм (для тотального анализа), либо на фракционной воронке через последовательный ряд фильтров с размерами пор: 12, 2.5, 1.2, 0.45 и 0.2 мкм (для размерно-фракционного анали-

за). Таким образом, согласно наиболее употребляемой классификации [20], фильтры с порами 12 мкм содержали микрофракцию, 2.5 мкм – нано-, а сумма 1.2, 0.45 и 0.2 мкм – пикофракцию планктона. Фракционирование проводили только на дневных станциях для проб из фотического слоя. Объем пробы для фракционирования составлял 1 л, для тотального анализа – 0.3 л. Сразу после фильтрации проводили экстракцию АТФ, согласно [13], в кипящем трис-ацетатном буфере (рН = 7.75). Экстракты замораживали и хранили до измерения при температуре  $-18^\circ\text{C}$ . Измерение концентрации АТФ проводили хемилюминесцентным методом на приборе ATP Lumimeter 1250 (LKB, Швеция).

Для анализа содержания Chl a батометрические пробы из фотической зоны объемом от 1.5 до 4 л вакуумной фильтрацией осаждали на фильтры «Sartorius» с размерами пор 1.2 мкм. Фильтры высушивали в темном месте при комнатной температуре и вплоть до анализа хранили в морозильной камере. Пигменты экстрагировали 90 % ацетоном в течение 6 ч с трехразовым перемешиванием и центрифугировали. Оптическую плотность измеряли на приборе “Specol-11” (Carl Zeiss, Германия).

Пробы воды для определения численности планктонных бактерий ( $N_{bac}$ ) отобраны на 31 станции: на 10 гидрологических станциях – с поверхности и на 21 комплексной – с 4 – 5 горизонтов в верхнем 100-метровом слое вод.  $N_{bac}$  определяли методом прямого счета на мембранных фильтрах “Sartorius”. Объем фильтруемой на один фильтр воды составлял 5 – 10 мл; диаметр пор фильтра – 0.2 мкм. Клетки, сконцентрированные на фильтрах, фиксировали в течение суток в парах формалина и хранили в сухом месте. Окрашивание проводили карболовым эритрозином в течение 3 ч. Отмытые от излишков красителя и высушенные фильтры помещали на предметные стекла. Микроскопию проводили с масляной

иммерсией на микроскопе "Biolar" (Poland) поляризационно-интерференционным методом при общем увеличении  $\times 1250$ . Подсчет количества клеток на каждом просматриваемом фильтре проводили в 10 полях зрения, в сумме учитывая не менее 300 клеток. Биомассу бактериопланктона ( $B_{\text{bac}}$ ) рассчитывали, исходя из содержания углерода  $15.0 \text{ фг С кл}^{-1}$  – величины, полученной ранее именно для этого района [21].

Пробы для учета планктонных тинтинид (Ciliata) отбирали в слое 0 – 10 м малой замыкающейся планктонной сетью Апштейна (Hydro-Bios GmbH, Германия) с диаметром входного отверстия 10 см, длиной 50 см, оборудованной нейлоновым ситом с ячейей 55 мкм. Фиксацию проводили забуференным формалином (конечная концентрация 4 %) и сгущали осадочным методом до объема 10 – 30 мл. Пробы непосредственно после сгущения обрабатывали на борту судна с использованием камеры Нажотта объемом 0.8 мл и микроскопа "Biolar" при увеличении  $\times 156$ . Углеродный вес тинтинид рассчитывали, исходя из экспериментально установленного коэффициента  $0.053 \text{ пг С мкм}^{-3}$  [22].

**Результаты. Структура распределения биомассы.** Средняя величина "сырой" биомассы фитопланктона в поверхностном слое составляла  $425.7 \text{ мг м}^{-3}$  при размахе варьирования между станциями более 2 порядков величины: от  $18.5$  до  $2117.8 \text{ мг м}^{-3}$ , средневзвешенная биомасса в слое фотосинтеза (рассчитана по 8 станциям с вертикальным зондированием) –  $314.0 \text{ мг м}^{-3}$ . Углеродная биомасса на поверхности составляла, в среднем,  $22.4 \pm 28.3 \text{ мг С м}^{-3}$  (при вариации от  $1.6$  до  $97.5 \text{ мг С м}^{-3}$ ).

Оценка биомассы фитопланктона по содержанию хлорофилла "а" оказалась, в среднем, в 4.5 раза выше. Для пересчета использовался наиболее часто применяющийся коэффициент  $C : \text{Chl a} = 50$  [16]. Возможные причины различий могут быть связаны как с недоучетом части пикофракции фитопланктона ( $< 2 \text{ мкм}$ ) при процедуре микроскопических исследова-

ований, так и с различиями в фильтрующей способности ядерных и волокнистых фильтров, применявшихся, соответственно, для сбора фитопланктона и определения хлорофилла. Применение единого коэффициента пересчета от Chl a к углероду для проб с различным видовым составом также может вносить свою долю ошибки. Несмотря на имеющиеся различия, в целом по всем данным отмечается довольно высокая степень корреляции обоих показателей биомассы фитопланктона между собой: коэффициент корреляции  $r^2 = 0.73$  – для поверхностного слоя и  $0.87$  – для слоя фотосинтеза.

Концентрация АТФ в водах пролива Брансфилда варьировала от  $27.4$  до  $201.1 \text{ мкг м}^{-3}$  в поверхностном слое, а в слое 0 – 100 м – от  $1.7 \text{ мг м}^{-2}$  до  $8.1 \text{ мг м}^{-2}$ , составляя, в среднем,  $4.0 \pm 2.1 \text{ мг м}^{-2}$ . Для сравнения, в марте 1989 г. в северной части пролива Герлаха и в центральной части пролива Брансфилда в 100-метровом слое содержание АТФ составило  $9.88$  и  $9.35 \text{ мг м}^{-2}$  [16].

Горизонтальное распределение биомассы бактериопланктона и раковинных инфузорий на пространстве западной части пролива Брансфилда также отличалось выраженной неоднородностью, но если для бактерий коэффициент вариации биомассы по пространству составил 37.9 %, то для тинтинид – 132.2 % (рис. 2). Следует отметить, что наблюдаемые величины биомассы тинтинид (как и численности) значительно ниже известных в литературе для этого района [8]. Для всех компонентов микропланктона более высокие величины биомассы наблюдались в северной части полигона и, отчасти, в центре. Повышенная биомасса тинтинид отмечена также в западной части полигона (ст. 14). Вклад бактерий в общий пул биомассы микропланктона был весьма существенным, составляя в фотическом слое, в среднем по полигону, 33.3 % при колебаниях по станциям и глубинам от 5.3 % до 87.1 %. Наиболее существенным он был в юго-восточной части акватории:  $56.4 \pm 15.4 \%$ .

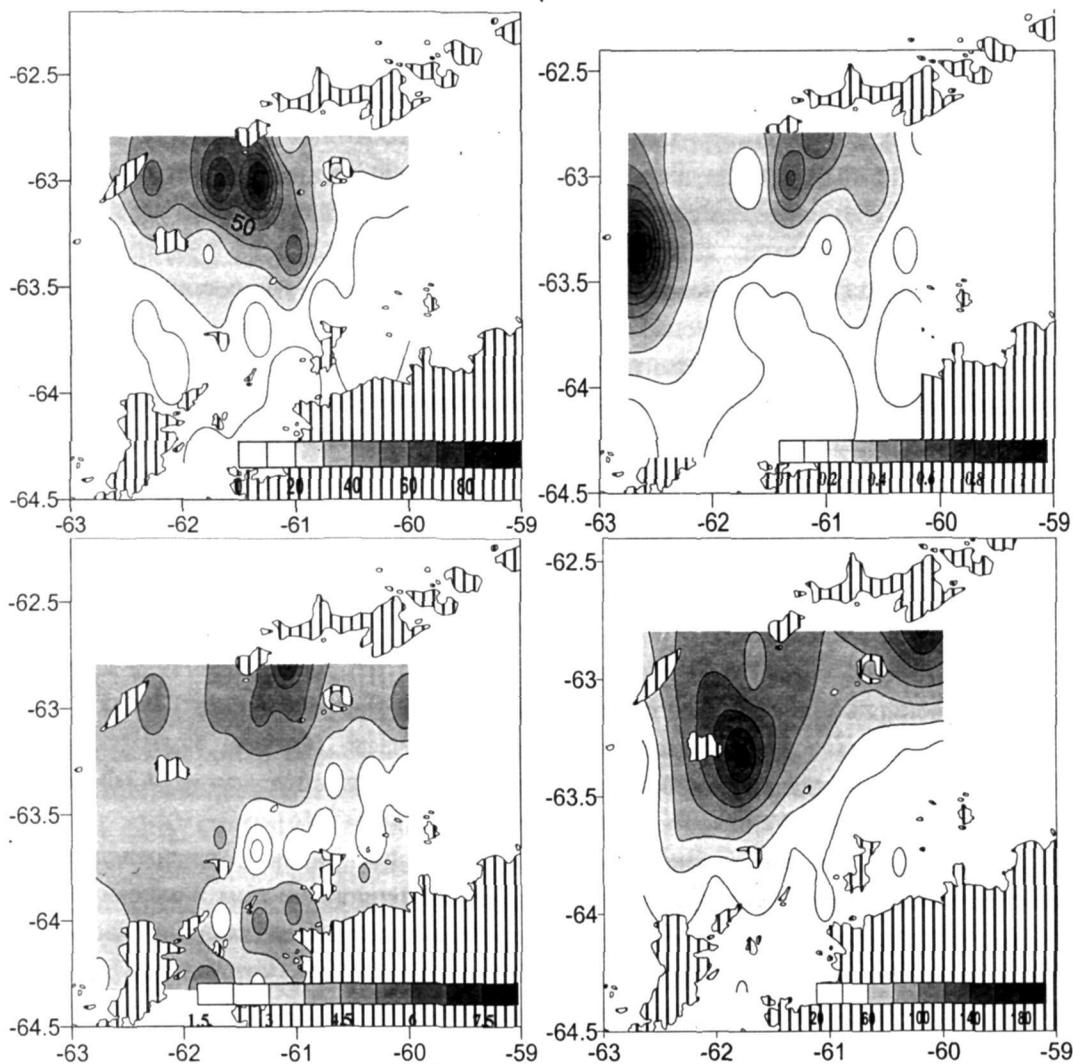


Рис. 2. Распределение биомассы ( $\text{mgCm}^{-3}$ ) фитопланктона (вверху слева), бактериопланктона (внизу слева), тинтиннид (вверху справа) и концентрации АТФ ( $\text{ng l}^{-1}$ , внизу справа) в поверхностном слое западной части пролива Брансфилда, март 2002 г.

Fig. 2. Distribution of phytoplankton (top left), bacterioplankton (bottom left) and tintinnid (top right) biomasses ( $\text{mgCm}^{-3}$ ) and ATP concentration ( $\text{ng l}^{-1}$ , bottom right) in the surface layer of the West Bransfield Strait, March 2002

Структура численности фитопланктона типично для Антарктики характеризовалась преобладанием нанопланктонных видов на всей исследованной акватории [3, 7, 12]. Однако в разных зонах полигона имелись различия по вкладу разных таксономических групп микроводорослей в общую численность. Так, в северной части полигона основу численности составляли мелкие диатомовые (*Chaetoceros neglectus* Karst.), золотистые (*Phaeocystis pouchetii*) и мелкие жгутиковые (Flagellata). В центре полигона наиболее высокой численности, по сравнению с други-

ми районами, достигали диатомовые *Fragilariopsis* spp., *Chaetoceros neglectus*, перидиниевая водоросль *Peridinium minusculum* Pav. На западном участке полигона, особенно восточнее о. Бранбанта, доминировали мелкие диатомовые и представители Flagellata. На юго-востоке, особенно на станциях вблизи о. Тринити, в сравнительно больших количествах (до  $71.5 \text{ млн. кл. м}^{-3}$ ) в планктоне обнаруживалась мелкая криптонадовая водоросль *Hillea fusiformis* Schill, которая вместе с мелкими жгутиковыми составляла

50 – 82 % общего числа клеток фитопланктона.

Закономерного изменения размерного состава раковинных инфузорий обнаружено не было. Размеры доминирующего на полигоне вида, *Cumatocylis affinis/convallaria*, варьировали незначительно.

Абсолютные значения численности бактериальных клеток варьировали от  $1.25$  до  $5.11 \times 10^5$  мл<sup>-1</sup> – на поверхности и от  $0.41$  до  $1.67 \times 10^5$  мл<sup>-1</sup> – на глубине  $100$  м. В среднем, для всего полигона это составило соответственно  $2.62 \pm 0.86 \times 10^5$  мл<sup>-1</sup> и  $1.02 \pm 0.39 \times 10^5$  мл<sup>-1</sup>.

Зональность. В соответствии с обилием и видовой структурой микропланктона, изученная акватория условно разделена на несколько зон (см. рис.1).

Юго-восточная зона, включающая воды восточной части полигона и воды, примыкающие к о. Тринити и Антарктическому п-ову на юго-востоке (станции 33, 34, 35, 36, 37, 43, 44, 45, 46, 47 и 52), характеризовалась минимальными показателями обилия всех без исключения компонентов микропланктона (табл. 1).

Табл. 1. Показатели обилия микропланктона в поверхностном слое в разных зонах западной части пролива Брансфилда в марте 2002 г.

Table 1. Microbial plankton abundance of the upper layer in different regions of the Western Bransfield Strait in March 2002

Зоны	Северная (Ст. 21,30,31, 39*, 40) N = 5	Центральная (Ст. 23, 28, 38) N = 3	Западная (Ст.14,15*, 16*, 17*, 18*, 19, 25, 26, 27*) N = 9	Северо- восточная (Ст. 42, 50, 51*) N = 3	Юго-восточная (Ст. 33, 35, 36, 37*, 43*, 44, 45, 46*, 47, 52) N = 10
<b>Параметры</b>					
$N_{ph}, 10^6 \text{ м}^{-3}$					
среднее	314.8	275.0	104.8	130.0	48.0
пределы	147.2 - 518	149.4 - 523.1	89.2 - 114.8	49 - 197	20.7 - 148.8
$V_{ph}, \text{ мг м}^{-3}$					
среднее	1375.8	529.6	115	164.8	34.3
пределы	46.4 - 2117.8	363.8 - 846.5	41.9 - 293.6	35.1 - 464.4	18.6 - 70.9
$V_{ph}, \text{ мг см}^{-3}$					
среднее	64.9	31.5	8.0	23.0	2.4
пределы	25.5 - 97.5	18.6 - 55.4	3.9 - 15.2	18.9 - 27.0	1.6 - 4.5
$V_{ph}, \text{ мкм}^3$ средне $\pm$ s.d.	4245 $\pm$ 855	2181 $\pm$ 488	1200 $\pm$ 1400	2056 $\pm$ 384	1198 $\pm$ 1070
$\text{Chl a}, \text{ мг м}^{-3}$					
среднее	1.205	0.81	0.563	1.29	0.382
пределы	0.823 - 1.5	0.77 - 0.86	0.393 - 0.693	0.85 - 1.73	0.217 - 0.614
$N_{\text{бас}}, 10^5 \text{ мл}^{-1}$					
среднее	3.73	2.91	2.54	2.98	1.88
пределы	3.09 - 5.11	2.64 - 3.10	1.68 - 3.49	2.51 - 3.45	1.25 - 3.23
АТФ, мкг м <sup>-3</sup>					
среднее	104.4	119.0	47.2	122.8	36.4
пределы	90.3 - 115.4	73.6 - 201.1	30.4 - 83.4	78.9 - 166.8	27.4 - 42.8
$N_{\text{ин}}, \text{ экз л}^{-1}$					
среднее	2965	782	1587	1593	285
пределы	1124 - 5622	0 - 1653	0 - 5291	408 - 2778	0 - 860
$V_{\text{ин}}, \text{ мг м}^{-3}$					
среднее	0.39	0.13	0.32	0.24	0.07
пределы	0.11 - 0.62	0 - 0.29	0 - 1.06	0.08 - 0.39	0 - 0.28

\*- учитывали только бактериопланктон

Численность фитопланктона варьировала от 20.7 до 148.8 млн. кл.  $\text{м}^{-3}$  (в среднем 52.4), а биомасса – от 1.6 до 4.5 мг С  $\text{м}^{-3}$  (в среднем 2.4). Видовое разнообразие было невысоким и характеризовалось преобладанием мелких размерных фракций планктонной флоры, в частности, криптонад и жгутиковых. Среднее содержание бактерий составляло  $1.9 \times 10^5 \text{ мл}^{-1}$ , но за счет слабого развития фитопланктона бактериальная биомасса превышала его биомассу в 1.37 раза. Раковинные инфузории нескольких видов в малых количествах встречены только на ст. 33, 44 и 47; на многих станциях этого района они вообще не обнаружены.

Северная зона, расположенная между островами Смита, Сноу, Ливингстона и Дисепшен (ст. 21, 30, 31, 39 и 40), в противоположность предыдущей, была наиболее “богатой”. По сравнению с юго-восточной зоной, увеличение показателей обилия для разных компонентов сообщества в поверхностном слое наблюдалось от близкого к двум до почти 40-кратного (табл. 1). В меньшей степени это касалось численности бактериопланктона – она возросла всего в 1.8 раза. По отношению к фитопланктону биомасса бактерий составила около 9 %. Содержание хлорофилла “а” и АТФ было выше в 3 раза, численность и биомасса тинтинид соответственно в 10 и 5.5 раз. Концентрация клеток фитопланктона, по сравнению с юго-восточной зоной, была выше в 6, а сырая биомасса – почти в 40 раз: первая варьировала от 147.2 до 518 млн. кл.  $\text{м}^{-3}$  (в среднем 314.8), вторая от 46.4 до 2117.8 мг  $\text{м}^{-3}$  (в среднем 1375.8). Углеродная биомасса возросла в 27 раз. Средний объем клеток (с учетом численности разных видов) составил 4245  $\text{мкм}^3$  (в 3.5 раза больше, чем в юго-восточной зоне). Обычно 3 – 4 вида очень крупных диатомовых водорослей, при сравнительно невысоких значениях их количественного развития, давали 58 – 79 % суммарной биомассы.

В среднем по зоне, диатомовые составляли  $83.2 \pm 8.8 \%$  от общего углерода фито-

планктона. Воды северной части полигона, как правило, характеризовались и наибольшим видовым разнообразием: до 30 – 40 видов фитопланктона и от 3 до 5 видов тинтинид (из 7, обнаруженных на полигоне) в одной пробе.

Меньшим обилием характеризовались поверхностные воды северо-восточной (ст. 42, 50 и 51) и центральной (ст. 23, 28 и 38) зон. Причем, если численность и биомасса фитопланктона были более высокими в центральной зоне, то концентрация хлорофилла “а” – в северо-восточной. Содержание бактерий и АТФ в обеих зонах было одинаково. Отношение биомасс бактерий и фитопланктона составило 14 % для центральной и 19 % для северо-восточной зоны. Видовое разнообразие и показатели обилия тинтинид были выше в северо-восточной зоне (табл. 1). По видовому составу фитопланктона различия были заметнее: в центральной зоне преобладание диатомовых было гораздо выше, чем в северо-восточной (79.7 % против 58.5 %), а перидиней и жгутиковых – заметно меньше: 16.7 % и 3.1 % против 32.0 % и 9.5 %, соответственно.

Воды западной зоны полигона (станции 14, 15, 16, 17, 18, 19, 25, 26 и 27) по большинству показателей развития микропланктонного сообщества характеризовались относительной бедностью. Исключение составляли тинтиниды, обилие которых приближалось к высоким значениям, наблюдавшимся в северной и северо-восточной зонах полигона. Видовая структура фитопланктона характеризовалась примерно одинаковым вкладом в общую биомассу диатомовых ( $38.8 \pm 25.2 \%$ ), перидиниевых ( $32.2 \pm 23.3 \%$ ) и прочих (криптофитовых, флагеллят и др.,  $29.0 \pm 23.0 \%$ ). Относительный вес бактериальной биомассы составлял 71 % от фитопланктонной.

Вертикальное распределение. Наблюдалось два основных типа вертикального распределения (рис. 3).

На ряде станций, например, на ст. 38, наблюдалось монотонное убывание с глубиной

количества организмов микропланктона. Чаще такой характер носило изменение численности бактерий в северной, западной

и юго-восточной зонах. В центральной и северо-восточной преобладали вертикальные профили с наличием локальных приглубленных максимумов

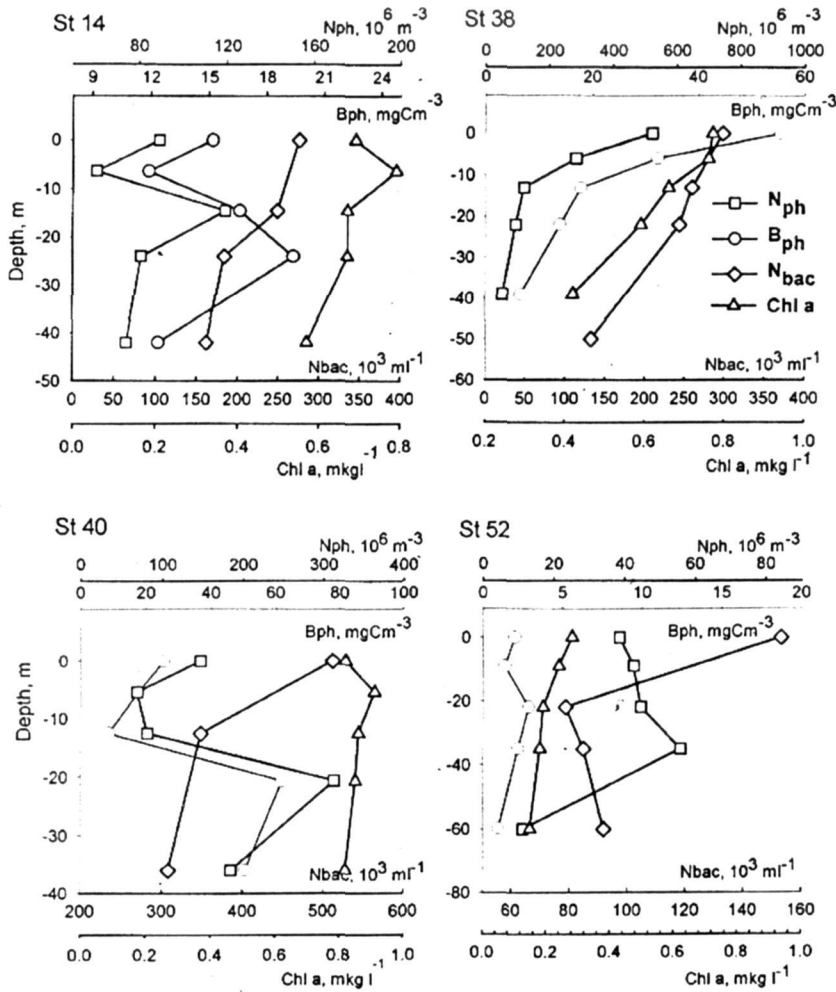


Рис. 3. Вертикальное распределение численности и биомассы фитопланктона, численности бактерий и концентрации хлорофилла "а" в слое фотосинтеза на некоторых станциях в разных зонах полигона: ст.14 – западная зона; ст.38 – центральная зона; ст. 40 – северная зона; ст. 52 – юго-восточная зона

Fig. 3. Vertical distribution of phytoplankton number and biomass, bacterial number and chlorophyll "a" concentration in the euphotic layer at several stations from different zones: st. 14 – Western zone; st. 38 – Central zone; st. 40 – Northern zone; st. 52 – Southeastern zone

численности. Для фитопланктона характерной особенностью распределения как численности, так и биомассы в фотическом слое водного столба являлось именно наличие подповерхностных максимумов по всему полигону, проявляющихся, чаще всего, на глубинах 10 – 25 м (например, ст. 14, 40, 52). Распределение концентрации Chl "а" как показателя "углерод-

ной" биомассы имело более сглаженный характер.

Структура взаимосвязей в сообществе.

Б а к т е р и и – ф и т о п л а н к т о н. Тесная взаимосвязь между численностью бактерий и концентрацией хлорофилла в планктонных системах обсуждается довольно часто [10, 11, 17]. Это взаимоотношение, как предполагает-



ся, является следствием трофических отношений в системе микропланктона. Имеется ряд “стандартных” зависимостей, описывающих эту взаимосвязь. Однако для антарктических вод очень часто наблюдается “нехватка” бак-

терий относительно биомассы фитопланктона (хлорофилла а), особенно при высоких его значениях, в сравнении с “предписываемым” количеством [16, 17]. Такую же ситуацию зафиксировали и наши исследования (рис. 4).

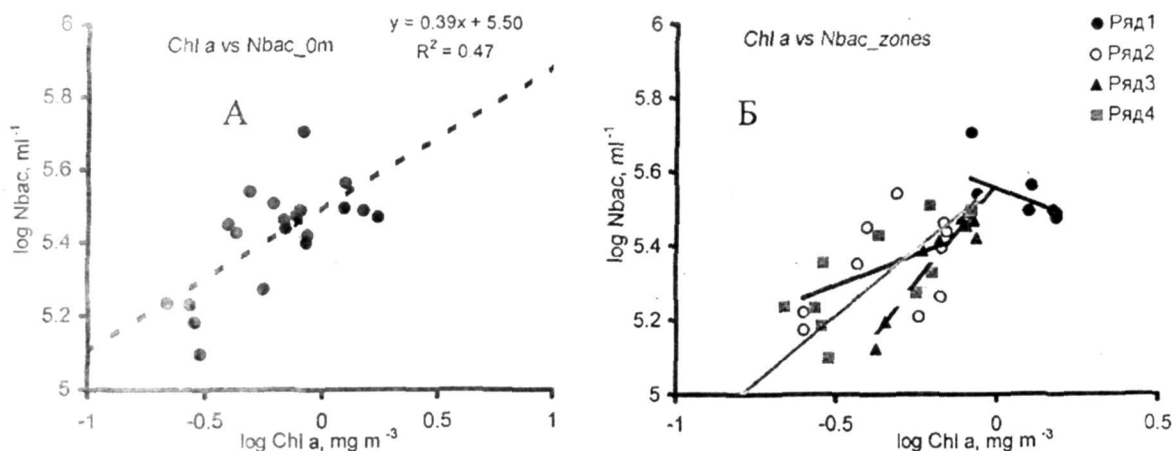


Рис. 4. Взаимосвязь численности бактерий и концентрации хлорофилла “а” в поверхностном слое в целом по полигону (А) и в слое фотосинтеза в разных зонах полигона (Б)

- 1 – северная зона  $y = -0.35x + 5.55 R^2 = 0.30$ ; 2 – западная зона  $y = 0.34x + 5.46 R^2 = 0.22$ ;  
 3 – центральная зона  $y = 0.93x + 5.55 R^2 = 0.91$ ; 4 – юго-восточная зона  $y = 0.73x + 5.58 R^2 = 0.72$

Fig. 4. Relationships between bacterial abundance and chlorophyll “a” at the surface for the whole study area (A) and for the euphotic layers in different zones (B):

- 1 – Northern zone  $y = -0.35x + 5.55 R^2 = 0.30$ ; 2 – Western zone  $y = 0.34x + 5.46 R^2 = 0.22$ ;  
 3 – Central zone  $y = 0.93x + 5.55 R^2 = 0.91$ ; 4 – Southeastern zone  $y = 0.73x + 5.58 R^2 = 0.72$

По отношению к теоретически ожидаемым, рассчитанным по соотношению Берда - Калффа [10], фактические значения численности планктонных бактерий в водах пролива Брансфилда оказались в среднем в 2 раза ниже.

Несмотря на это, средняя относительная величина бактериальной биомассы в поверхностном слое составляла 69 % от углеродной биомассы фитопланктона (при вариациях от 5.5 % до 231 %). По зонам эта величина изменялась от 13 – 17 % в северной, центральной и северо-восточной зонах, 71 % – в западной до 137 % – в юго-восточной зоне.

**Бактерии – тинтиниды.** На фоне повышенного обилия фитопланктона в северной зоне наблюдается положительная корреляция между численностью бактерий и численностью и биомассой инфузорий:  $r^2 =$

0.95 и 0.75, соответственно. В более бедных фитопланктоном зонах – западной и центральной – корреляция отсутствует. В юго-восточной зоне, где наблюдались минимальные значения биомасс фитопланктона, проявляется отрицательная взаимосвязь между численностью тинтинид и бактерий ( $r^2 = -0.68$ ).

**Тинтиниды – фитопланктон.** По совокупным данным, не наблюдается корреляции ни с численностью, ни с биомассой фитопланктона; отсутствует корреляция и внутри отдельных зон. Однако, при качественном разделении станций полигона по принципу “много – мало”, большее количество тинтинид обнаружено на станциях с высокой численностью фитопланктона (в среднем, 230 млн. кл  $m^{-3}$ ), большой биомассой (~ 40 мг С  $m^{-3}$ ) и крупными клетками (средний размер = 3000 – 3500  $\mu m^3$ ).

“Мало” тинтиннид оказалось на станциях с меньшей средней численностью микроводорослей ( $\sim 100$  млн. кл  $\text{м}^{-3}$ ), меньшей биомассой ( $\sim 20$  мг С  $\text{м}^{-3}$ ) и более мелкими клетками (средний размер =  $1500$  мкм<sup>3</sup>). На станциях с еще меньшей численностью ( $92$  млн. кл  $\text{м}^{-3}$ ), еще меньшей биомассой (в среднем,  $\sim 6.3$  мг С  $\text{м}^{-3}$ ) и еще более мелкими клетками (в среднем =  $1100$  мкм<sup>3</sup>) тинтинниды не обнаружены.

**Обсуждение.** В сравнении с ранее полученными оценками обилия микробияльного планктона в исследуемом районе, нами зафиксированы заметно меньшие величины. Содержание Chl a (т.е. оценка биомассы фитопланктона) – довольно низкое:  $0.4 - 1.21$  по зонам и  $0.74$  – в целом по полигону. Содержание в слое фотосинтеза варьировало от  $11.7$  до  $52.1$  мг  $\text{м}^{-2}$ , а в среднем составляло  $28.0$  мг  $\text{м}^{-2}$ . В исследованиях по программе RACER (1989 г.) среднее содержание Chl a в феврале составляло  $1.4 \pm 1.3$  мг  $\text{м}^{-3}$  и  $1.2 \pm 0.8$  мг  $\text{м}^{-3}$  – в марте. При этом в марте на ст. 14 содержание зеленого пигмента составляло  $\sim 1.0$  мг  $\text{м}^{-3}$  (в 2002 г. –  $0.7$  мг  $\text{м}^{-3}$ ), ст. 38 –  $1.0$  мг  $\text{м}^{-3}$  (в 2002 г. –  $0.77$  мг  $\text{м}^{-3}$ ), ст. 35 –  $1.5$  мг  $\text{м}^{-3}$  (в 2002 г. –  $0.56$  мг  $\text{м}^{-3}$ ), а максимум ( $4 - 5$  мг  $\text{м}^{-3}$ ) находился в районе ст. 34 и 36, где мы получили величину  $0.61$  мг  $\text{м}^{-3}$ . В январе 1996 г. (FRUELA 96) в фотическом слое среднее содержание хлорофилла в проливе Брансфилда составляло  $42.7 \pm 6.9$  мг  $\text{м}^{-2}$ . Концентрации АТФ в водах пролива также были ниже полученных ранее: более чем в 2 раза, например, по сравнению с 1989 г. [16]. Наблюдаемые различия в приведенных величинах могут быть обусловлены как вектором сезонного развития планктонного сообщества в этих водах, так и межгодовой изменчивостью, связанной, в частности, с климатическими особенностями 2002 г.

С одной стороны, наблюдающиеся невысокие значения биохимических показателей обилия микропланктона в совокупности с небольшим разбросом значений (менее 1 порядка для АТФ, например) свидетельствуют о за-

ключительной стадии сукцессии сообщества. С другой стороны, процент суммы нано- и пикофракций АТФ невелик, как в целом для полигона, так и для отдельных зон ( $32.9 - 54.2$  %). Для сравнения, в феврале 1987 г. доля фракции  $< 20$  мкм составляла более 70 % (в декабре –  $20 - 50$  %). Невысокая доля мелкоразмерных фракций обычно характеризует более ранние стадии сукцессии [16]. Наблюдаемая нами ситуация смешения признаков разных стадий сукцессии происходит, вероятно, по причине аномально холодного лета 2002 г., когда осенняя фаза наступила на фоне невысокого накопления фитопланктонной биомассы в предшествующий летний период. При этом сукцессионные различия между менее трофными и более богатыми участками акватории еще более усугубляются.

Видовой состав планктонной флоры, ее размерная структура и количественные показатели развития фитопланктона в северной части полигона могут свидетельствовать о том, что фитопланктон здесь находился еще в позднелетней стадии сукцессии. На акваторию этого района приходится фронтальная зона, разделяющая воды морей Беллинсгаузена и Уэдделла [1]. Северная зона характеризовалась самым глубоким ВПС ( $\sim 50$  м) и наиболее высокой динамической активностью вод (средний показатель  $1423$  дин. см), благоприятствующей развитию микропланктонной фракции водорослей, прежде всего, диатомовых [19]. Здесь наблюдалось наиболее высокое их содержание в составе фитопланктона (по углеродной биомассе) на полигоне ( $83.2 \pm 8.8$  %). Благоприятствовала активному развитию фитопланктона и самая высокая температура поверхностного слоя ( $1.81^\circ\text{C}$ ). Относительное к окружающим водам снижение фосфатов и кремнекислоты также свидетельствует об интенсивном потреблении биогенных элементов клетками, особенно диатомовыми водорослями, чей панцирь состоит из кремниевых соединений.

Относительный вклад бактериальной биомассы в сообщество, соответственно более ранней стадии сукцессии, был невысоким, составляя в среднем по слою фотосинтеза 13 % от суммарной биомассы фито- и бактериопланктона. Такая же величина характеризовала вклад бактерий в общий микробиальный пул углерода в летний период (январь 1989 г.), с последующим возрастанием в феврале – марте почти в 4 раза [16]. Сдерживанию роста численности и биомассы бактериопланктона могла способствовать, наряду с прочими причинами, повышенная динамическая активность вод. Известно, что в условиях повышения мелкокомасштабной турбуленции возрастает скорость потребления бактерий микрофлагеллятами [18]. На фоне повышенного обилия фитопланктона в северной зоне наблюдаемую положительную корреляцию между численностью бактерий и обилием тинтиннид, с точки зрения трофических отношений, можно представить как результат отсутствия значительного пресса хищника (инфузорий) на потенциальных жертв (бактерий) при обилии альтернативного источника питания. В более бедных фитопланктоном зонах – западной и центральной – четкая взаимосвязь отсутствует. В юго-восточной зоне, в условиях возможного недостатка фитопланктона как объекта питания, отрицательная взаимосвязь между численностью тинтиннид и бактерий может свидетельствовать о прямом трофическом взаимодействии между ними по типу “хищник – жертва”.

Все шельфовые воды вдоль Антарктического п-ова (юго-восточная зона) в период наших исследований характеризовались низким уровнем количественного развития микрорпланктона и соответствовали близкому к олиготрофному статусу. Эта зона была представлена водами уэдделломорского происхождения и характеризовалась самым «мелким» ВПС, самой высокой соленостью ( $34.06\% \pm 0.28$ ), холодной температурой поверхности ( $0.28^\circ\text{C}$ ) и наиболее низкой динамической ак-

тивностью (1419.7 дин. см). В составе биомассы фитопланктона наблюдался самый низкий процент перидиниевых водорослей ( $10.0 \pm 5.6\%$ ) и самое высокое содержание суммы криптофитовых и мелких жгутиковых ( $40.4 \pm 26.0\%$ ). Таким образом, основу численности и биомассы составляли клетки мелкоразмерной фракции, что характерно для заключительных стадий развития сообщества. Резко возросшая (до 56.4 %) роль бактерий в создании валовой биомассы микрорпланктона также соответствовала как переходной к зимнему состоянию фазе сукцессии сообщества, так и более выраженной олиготрофии этих вод. Очень близкие цифры, характеризующие относительный вклад бактерий в общий пул микробиальной биомассы в позднелетний сезон 1994 г., приведены [9] для прибрежной зоны и вод континентального шельфа в индийском секторе Южного океана.

Западная зона, с преобладающим влиянием вод моря Беллинсгаузена (довольно высокая динамическая активность – 1421.9 дин. см; теплая вода –  $1.39 - 1.66^\circ\text{C}$ ; самая низкая соленость – 33.63‰; наиболее выраженные градиенты плотности 0.024 – 0.040), характеризовалась наименьшим вкладом диатомовых в общую биомассу и паритетным соотношением разных групп водорослей. В совокупности с довольно высоким вкладом бактерий в общую биомассу микрорпланктона ( $37.0 \pm 18.9\%$ ) это свидетельствует об осенней стадии развития сообщества. Теплая, с низкой соленостью вода не препятствовала локальному развитию относительно высокой биомассы тинтиннид [8].

Анализ взаимосвязи между биомассой фитопланктона (Chl a) и общей активной биомассой микрорпланктона (АТФ) в исследуемый период годового цикла (рис. 5) свидетельствует об аналогии ее с ранее полученной зависимостью, осредненной для всего периода вегетации в этом районе [16]. Отличия заключаются в более высоком значении у-пересечения линии регрессии, что служит дополнительным

свидетельством возрастания доли гетеротрофного компонента сообщества в переходный от лета к зиме период года.

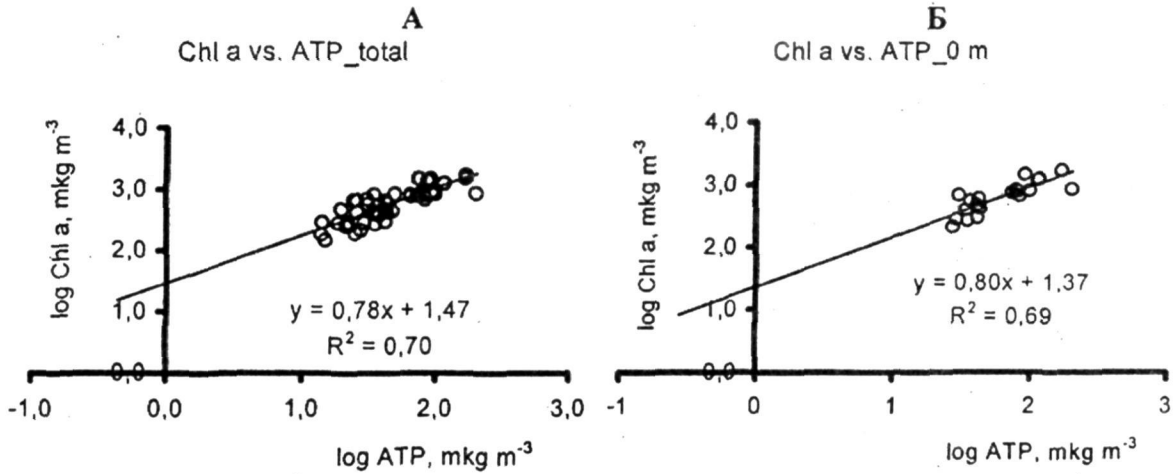


Рис. 5. Взаимосвязь хлорофилла "а" и АТФ по всем станциям и глубинам (А) и в поверхностном слое (Б) в проливе Брансфилда в марте 2002 г.

Fig. 5. Relationships between chlorophyll "a" and ATP for all stations and depths (A) and for surface (B) in the Bransfield Strait in March 2002

**Выводы. 1.** В связи с климатическими особенностями 2002 г. состояние планктонного сообщества в проливе Брансфилда в марте характеризовалось низкими показателями обилия микропланктона в целом и повышенным вкладом бактерий в общий пул микропланктонной биомассы. **2.** На основании различий в обилии и видовом составе микропланктонного сообщества на изученной акватории выделено несколько зон с разными уровнями трофности и стадиями сукцессии планктонной экосистемы. Северная часть акватории, с фронтальной зоной раздела вод морей Беллинсгаузена и Уэдделла, характеризовалась эвтрофностью, еще летней стадией сукцессии микропланктона и невысоким относительным содержанием бактериальной биомассы. Юго-восточная часть, с преимущественным влиянием уэдделломорских вод, была наименее трофной зоной, характеризовалась предзимней стадией развития фитопланктона и наиболее высоким относительным содержанием бактериальной био-

массы. Для западной зоны, с преобладающим влиянием вод моря Беллинсгаузена, характерны наименьший вклад диатомовых в общую биомассу фитопланктона и паритетное соотношение разных групп водорослей. В совокупности с довольно высоким вкладом бактерий в общую биомассу микропланктона это свидетельствует об осенней стадии развития сообщества. **3.** Характер трофических отношений между бактериями и инфузориями зависел от видового состава и количества фитопланктона. В условиях недостатка фитопланктона как объекта питания, отрицательная взаимосвязь между численностью тинтиннид и бактерий может свидетельствовать о прямом трофическом взаимодействии между ними по типу "хищник – жертва".

1. Артамонов Ю. В., Романов А. С., Внуков Ю. Л. и др. Результаты океанографических исследований в западной части пролива Брансфилда в марте 2002 г. // Укр. антарк. журн. - 2003. - № 1. - С. 7 - 16.
2. Кузьменко Л. В. Соотношение между первичной продукцией и биомассой фитопланктона в Аравийском море // Экология. - 1975. - № 5. - С. 43 - 48.
3. Кузьменко Л. В. Фитопланктон западной части пролива Брансфилда // Укр. антарк. журн. - 2005. - №2. - С.
4. Самышев Э. З. Антарктический криль и структура планктонного сообщества в его ареале. - М: Наука, 1991. - 168 с.
5. Сенчикина Л. Г. К методике вычисления объема клеток фитопланктона // Гидробиол. журн. - 1978. - 14, № 5. - С. 102 - 105.
6. Серегин С. А. Содержание бактерий в водах моря Скотия в предзимний период // Бюл. УАЦ. - 2002. - вып. 4. - С. 97 - 103.
7. Серегин С. А., Брянцева Ю. В., Чмыр В. Д. Состояние микропланктонного сообщества (фитопланктон и бактериопланктон) в осенний период на мелководье Аргентинских островов, Антарктика // Укр. антарк. журн. - 2003. - №1. - С. 107 - 113.
8. Alder V. A., Boltovskoy D. The ecology and biogeography of tintinnid ciliates in the Atlantic sector of the Southern Ocean // Mar. Chem. - 1991. - 35, № 1 - 4. - P. 337 - 346.
9. Becquevort S., Menon P., Lancelot C. Differences of the protozoan biomass and grazing during spring and summer in the Indian sector of the Southern Ocean // Polar. Biol. - 2000. - 23. - P. 309 - 320.
10. Bird D. F., Kalff J. Empirical relationship between bacterial abundance and chlorophyll concentration in fresh and marine waters // Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. - 1984. - 41. - P. 1015 - 1023.
11. Cole J. J., Findlay S., Pace M. L. Bacterial production in fresh and saltwater ecosystems: a cross-system overview // MEPS. - 1988. - 43. - P. 1 - 10.
12. El-Sayed S. Z. Productivity of the Southern ocean: a closer look // Comparative Biochemistry and Physiology. - 1988. - 90. - P. 489 - 498.
13. Holm-Hansen O., Booth C. R. The measurement of adenosine triphosphate in the Ocean and its ecological significance // Limnol. Oceanogr. - 1966. - 11, N4. - P. 510 - 519.
14. Holm-Hansen O., El-Sayed S. Z., Franceschini G. A. et al. Primary productivity and the factors controlling phytoplankton growth in the Southern Ocean // Llano GA (ed). Adaptations within Antarctic ecosystems. - Gulf, Houston, 1977. - P. 11 - 50.
15. Karl D. M. Microbial processes in the Southern Ocean. // Friedman E.I. (ed.). Antarctic Microbiology. - Wiley, New York, 1993. - P. 1 - 63.
16. Karl D. M., Holm-Hansen O., Taylor G. T. et al. Microbial biomass and productivity in the western Bransfield strait, Antarctica during the 1986 - 87 austral summer // Deep Sea Res. - 1991. - 38, №8/9. - P. 1029 - 1055.
17. Pedros-Alio C., Vaque D., Guixa-Boixereu N. et al. Prokaryotic plankton biomass and heterotrophic production in western Antarctic waters during the 1995 - 1996 Austral summer // Deep-Sea Research II. - 2002. - 49. - P. 805 - 825.
18. Peters F., Choi J.W., Gross T. *Paraphysomonas imperforata* (Protista, Chrysoomonadida) under different turbulence levels: feeding, physiology and energetics // MEPS. - 1996. - 134. - P. 235 - 245.
19. Rodriguez J., Jiménez-Gómez F., Blanco J. M. et al. Physical gradients and spatial variability of the size structure and composition of phytoplankton in the Gerlache Strait (Antarctica) // Deep-Sea Research II. - 2002. - 49. - P. 693 - 706.
20. Sheldon R. W., Prakash A., Sutcliffe W. H. The size distribution of particles in the Ocean // Science. - 1972. - 17, N.3. - P. 327 - 340.
21. Vaqué J., Calderón-Paz I., Guixa-Boixereu N., Pedrós-Alió C. Spatial distribution of microbial biomass and activity (bacterioplankton and bacterial production) in the northern Weddell Sea during the austral summer (January 1994) // Aquat. Microb. Ecol., - 2002. - 29. P. 107 - 121
22. Verity P. G., Langdon C. Relationships between lorica volume, carbon, nitrogen and ATP content of tintinnids in Narragansett Bay // J. Plankton Res. - 1984. - 6. - P. 859 - 868.

Поступила 21 марта 2005 г.

**Мікропланктон західної частини протоки Брансфілда: структура чисельності і біомаси південною осінню 2002 р.** С. О. Серьогін, Л. В. Кузьменко, О. О. Сисоєв, Н. А. Гаврілова. Обговорюються результати досліджень мікропланктону (фіто- і бактеріопланктон, ракушкові інфузорії) фотичного шару вод західної частини протоки Брансфілда (Антарктика), що були проведені у рамках 7 Української антарктичної експедиції (УАЕ) у березні 2002 р. Показники кількості мікропланктону в різних ділянках полігону розрізнялися в 2 - 40 разів. З огляду на видову структуру і характер розподілу чисельності і біомаси мікропланктону, на вивченій акваторії виділені кілька зон. Води північної зони - у просторі між островами Сміта, Сноу, Лівінгстона та Дисепшен - з найбільшими значеннями чисельності і біомаси мікропланктону охарактеризовані як евтрофні. Мінімальні показники відзначені в Південно-Східній зоні - у районі о. Триніті та уздовж узбережжя Антарктичного п-ова. Варіювання чисельності, біомаси і видового складу мікропланктонного угруповання в різних зонах дослідженої акваторії зіставлений з гідрологічною структурою вод та їх походженням.

**Ключові слова:** угруповання мікропланктону, фітопланктон, бактеріопланктон, розподіл чисельності і біомаси, протока Брансфілда

**Microplankton of West Bransfield Strait: number and biomass structure in south autumn 2002.** S. A. Seregin, L. V. Kuzmenko, A. A. Sysoev, N. A. Gavrilova. Results of microbial plankton investigations in the framework of 7-th Ukrainian Antarctic Expedition in March 2002 (phyto-, bacterioplankton and tintinnids) in the fotic layer of West Bransfield Strait are discussed. Microbial plankton abundance varied on 2 - 40 times in different parts of study area. Based on species structure and character of microplankton biomass and abundance distributions, several zones could be distinguished. Northern zone waters - in the space of Smith, Snow, Livingstone, and Deception Islands - with the highest numbers and biomasses of microplankton were characterized as eutrophic. Minimal valuations were determined in the Southeastern zone - near Trinity Island and along Antarctic Peninsula coast. Variations of number, biomass and species composition of microplanktonic community in the different zones discussed in relationship with water mass origin and hydrological structure.

**Key words:** microplankton community, phytoplankton, bacterioplankton, number and biomass distributions, Bransfield Strait