

УДК 574.583.576.8(264.3)

ЧИСЛЕННОСТЬ И ПРОДУКЦИЯ БАКТЕРИОПЛАНКТОНА В ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ПРОЛИВА БРАНСФИЛДА В МАРТЕ 2002 ГОДА

Серегин С.А.

Институт биологии южных морей НАН Украины, 99011, г. Севастополь, пр-т Нахимова, 2, e-mail seregin@ibss.iuf.net

Реферат. При выполнении комплексной съемки в западной части пролива Брансфилда с 8 по 17 марта 2002 года определены численность и продукция бактериопланктона в верхнем 100-метровом слое вод. Средняя численность бактериальных клеток на поверхности составляла $2,62 \cdot 10^5$ кл. мл⁻¹ (от $1,25 \cdot 10^5$ до $5,11 \cdot 10^5$), а суточная продукция, в среднем, – 0,75 мг С м⁻³. Общей закономерностью вертикального распределения клеток и продукционной активности по глубине являлось их уменьшение. Однако, на глубинах 20–40 м, ассоциируясь с выраженным градиентом плотности, часто наблюдались локальные максимумы численности бактериопланктона. Средняя интегральная продукция бактерий в 100-метровом слое составила 57,6 мг С м⁻² сут⁻¹. Горизонтальное распределение численности и продукционной активности бактериопланктонного сообщества характеризовалось выраженной неоднородностью. “Эпицентр” зоны максимальных значений исследуемых параметров находился в пространстве островов Ливингстона, Сноу и Десеппен (станции 38, 39, 40). В “устье” пролива Герлаха повышенная численность бактериопланктона не сопровождалась увеличением его продукции. Минимальными значениями численности и продукции характеризовались центральная и юго-восточная части полигона с водными массами уэдделломорского происхождения.

Чисельність та продукування бактеріопланктону в західній частині протоки Брансфілда в березні 2002 року.
С.О. Серьогін

Реферат. При виконанні комплексної зйомки в західній частині протоки Брансфілда з 8 по 17 березня 2002 р. визначені чисельність і продукування бактеріопланктону у верхньому 100-метровому шарі води. Середній вміст прокаріотних клітин на поверхні становить $2,62 \cdot 10^5$ кл. мл⁻¹ (від $1,25 \cdot 10^5$ до $5,11 \cdot 10^5$), а добове продукування в середньому – 0,75 мгС м⁻³. Загальною особливістю вертикального розподілу клітин та продуктивної активності є їх зменшення з глибиною. Проте, на глибинах 20–40 м часто спостерігались локальні підповерхневі максимуми чисельності бактеріопланктону, що пов'язано з градієнтом густини. Середнє інтегральне продукування прокаріотів у стометровому шарі становить 57,6 мгС м⁻² доб⁻¹. Горизонтальний розподіл чисельності та продуктивної активності бактеріопланктону характеризувався вираженою нерівномірністю. “Епіцентр” максимальних значень параметрів зафіксовано у водах поміж островів Лівінгстона, Сноу і Десеппен (станції 38, 39, 40). Підвищена чисельність бактеріопланктону в протоці Герлаха не супроводжується збільшенням його продукування. Мінімальні чисельність та продукування спостерігались у центральній та в південно-східній частині полігона, водянні маси якого за походженням належать до моря Уедделла.

Bacterioplankton abundance and production in the Western Bransfield Strait in March 2002. by S.A. Seregin

Abstract. Bacterioplankton abundance and production in the 100 m layer was determined during complex investigations in 8 - 17 March 2002 in the region of the Western Bransfield Strait. The mean abundance at the surface was $2,62 \cdot 10^5$ cell ml⁻¹ (from $1,25 \cdot 10^5$ to $5,11 \cdot 10^5$) and mean daily production - 0,75 mg C m⁻³. A typical pattern of cell abundance and production vertical distribution is their reducing with depth. But at 20–40 m depths local maximum peaks of abundance, associated with pycnoclines were often observed. The mean 100-m integrated bacterioplankton production in the region was 57,6 mg C m⁻² d⁻¹. The non-uniformity of bacterial abundance and production horizontal distribution connected with mesoscale structures of different water masses was marked. Epicenter of maximal parameters was fixed in the area between the islands of Liwingston, Snow and Deception. High bacterioplankton abundance in the Gerlache Strait was not followed by productivity growing. Minimal abundances and productions were in the Weddell sea water masses in the center and south-eastern part of the investigated territory.

Key words: bacterioplankton, abundance, production, horizontal and vertical distribution.

1. Введение

Район проведения работ – западная часть пролива Брансфилда – продуктивные воды Южного океана: на шельфе Антарктического полуострова происходит нерест криля (*Euphausia superba*), в весенний период здесь развивается мощное цветение фитопланктона, служащее пищевой базой для развития его молодежи (Самышев, 1991; Karl, 1993). На более обширной

территории, прилегающей к Антарктическому полуострову, зона исследований относится к рекомендованной Международным Антарктическим Комитетом (АНТКОМ) области для проведения биолого-океанографических исследований. За последние 15 лет здесь было проведено несколько крупных комплексных съемок в рамках междисциплинарных программ: RACER (4 съемки, с декабря 1986 по март 1987 и 1 съемка в октябре-ноябре 1989), BIOANTAR (2 съемки: декабрь 1991 и январь-февраль 1993), ECOANTAR-94 и FRUELA (2 съемки: декабрь 1995 и январь 1996) (Huntley et al., 1991; Anadyn, Estrada, 2002). Несколько ранее здесь проводились исследования запасов и воспроизводства криля по программе BIOMASS (FIBEX - 1981, SIBEX - 1984).

Наличие данных по количеству и физиологической активности общего микробияльного (Karl et al., 1991; Tien et al., 1991) и бактериального (Bacteria+Archaea) (Pedros-Alio, 2002; Vaque et al., 2002) планктона в данном регионе за прошлые годы не снимает необходимости сравнительных исследований. Антарктические планктонные пищевые сети отличаются экстремально высокой пространственно-временной вариабельностью. Более того, большая внутри- и межгодовая изменчивость абиотических условий антарктических вод и важность “бактериального” компонента в функционировании антарктических пелагических экосистем (Azam et al., 1991) предполагают регулярный микробиологический мониторинг этой водной акватории. Только при наличии многолетних рядов данных возможен прогноз состояния экосистемы.

Микробиологические исследования, представленные ниже, выполнены в соответствии с основными задачами 7-ой Украинской антарктической экспедиции и являются составной частью Украинской комплексной программы “Исследования Украины в Антарктике” и национального проекта “Биоресурсы” в Атлантической части Антарктики.

2. Материалы и методы исследования

В последние годы установлено, что значительная часть “бактериопланктона” антарктических вод (до 60% в зимний период) представлена прокариотными организмами типа Archaea (DeLong et al., 1994; Massana et al., 1998; Murray et al., 1998). При обычно применяемых методах учета эти клетки регистрируются как бактерии. Оценка доли этих групп организмов в составе бактериопланктона проводится методом РНК-гибридизации на уровне состава нуклеиновых кислот, а не отдельных клеток. Мы не имели возможности в наших исследованиях визуально различать эти группы организмов. Поэтому в данной работе под терминами “бактериопланктон”, “бактерии”, “бактериальный” и т.д. подразумевается сумма планктонных безъядерных гетеротрофов (Bacteria + Archaea).

Исследовательский полигон состоял из 42 океанологических станций, в том числе, 22 комплексных, на которых производилось взятие биологических проб на разных глубинах водного столба. Пробы воды для определения численности и продукции планктонных бактерий были отобраны на 31 станции: на 10 гидрологических станциях – с поверхности и на 21 комплексной станции – с 4-5 горизонтов в верхнем 100-метровом слое воды.

Пробы отбирали пластмассовым 18-литровым батометром сплошной проточности из “световых” горизонтов, из слоя выраженного пикноклина и с глубины 100 метров. “Световые” горизонты определены по результатам измерений прозрачности воды с помощью диска Секки, выполненных В. Воскресенским. При невозможности определить световые горизонты (в ночное время) глубины отбора проб определяли исходя из особенностей гидрологической структуры конкретных водных масс.

Численность бактериопланктонных клеток определяли методом прямого счета (Иванов, 1955) на мембранных фильтрах "Sartorius". Объем фильтруемой на 1 фильтр воды – 5-10 мл; диаметр пор фильтра – 0,2 мкм. Клетки, сконцентрированные на фильтрах, фиксировались в течение суток в парах формалина и хранились в сухом месте. Окрашивание проводили карболовым эритрозином в течение 3 часов. “Отмытые” от излишков красителя и высушенные фильтры помещали на предметные стекла. Микроскопию проводили с масляной иммерсией на микроскопе "Biolar" поляризационно-интерференционным методом при общем увеличении

1250. Подсчет количества клеток на каждом просматриваемом фильтре проводили в 10 полях зрения; при этом учитывали не менее 300 клеток. Для качественной характеристики состава бактериопланктона на большинстве станций учитывали количество кокковидных и палочковидных форм. Выборочно подсчитывали численность клеток в агрегациях.

Определение гетеротрофной продукции бактериопланктона проводили тритий-тимидиновым методом в соответствии с (Fuhrman, Azam, 1980) с небольшими изменениями. Использовали 10 нМ концентрацию метил- ^3H -тимидина (Amersham). Отбор опытных и контрольных подпроб воды осуществлялся в двойной повторности. Время инкубации проб составляло 1-2 часа. Промывку фильтров 5% ледяной трихлоруксусной кислотой (ТХУ) проводили 5-кратно по 2 мл. Радиоактивность фильтров измеряли на радиометре Rack - Beta - 1200.

Расчет коэффициента перевода скорости накопления тимидина в количество клеток провели по результатам одновременных измерений исследуемых параметров в ходе 5-суточного эксперимента по динамике численности бактериопланктона в предварительно профильтрованной поверхностной воде во время стоянки судна у станции Академик Вернадский (Аргентинские о-ва). Для расчета использовали так называемый “кумулятивный” метод регрессии (VjØrnsen, Kuparinen, 1991).

3. Результаты и обсуждение

3.1. Численность бактериопланктона

Распределение концентрации бактериальных клеток в воде по пространству полигона носило выраженный неоднородный характер (рис.1). В поверхностном слое вод зоны максимальных концентраций (300-500 тысяч клеток в 1 мл) располагались, в основном, в северной части полигона, примыкая с юга к побережью о. Ливингстон. Повышенное содержание бактерий наблюдалось также в “устье” пролива Герлаха (станция 26 – до 350 тысяч клеток в 1 мл). Умеренно высокими концентрациями без резко выраженной пространственной “пятнистости” характеризовались воды северо-запада полигона. Поверхностные воды центральной, восточной и юго-восточной частей исследованного региона характеризовались невысокой численностью бактериопланктона – 150-240 тысяч клеток в 1 мл (рис.1, А). Подобное расположение зон максимальных и минимальных концентраций планктона на исследованной акватории вполне обоснованно. Численность мелких планктонных организмов, в том числе бактерий и *Atchaea*, тесно связана с параметрами окружающей водной среды и, поэтому, картина ее распределения часто является в большой мере отображением размещения разных водных масс и их гидрологической структуры. Исследованный район западной части пролива Брансфилда является регионом “столкновения” вод различного происхождения: из моря Беллинсгаузена, пролива Дрейка и уэдделломорских вод. Воды моря Беллинсгаузена проникают в пролив в северной его части вдоль Южных Шетландских островов. Они относительно теплее, более распреснены и являются более трофными по сравнению с водами моря Уэдделла, что и находит свое отражение в повышенных концентрациях бактериального планктона и более высокой его продукции. Уэдделломорские воды располагаются по поверхности в центре полигона, восточной и юго-восточной его части и характеризуются более бедной биотой. Воды пролива Герлаха – в крайней юго-западной части исследованного полигона – мезотрофные, с повышенными концентрациями живого вещества (Рейсовий, 2002; Garcina et al., 2002).

Абсолютные значения численности бактериальных клеток, полученные нами для середины марта, т.е. предосеннего состояния планктонного сообщества, варьировали от 125 до 511 тысяч в 1 мл – на поверхности и от 41 до 167 тысяч – на глубине 100 метров. В среднем, для всего полигона это составило, соответственно, $262,04 \pm 85,75$ и $102,48 \pm 39,46$ тыс. кл мл⁻¹. Для сравнения, средние значения численности бактерий в исследованиях RACER в декабре 1986 г. составляли $3,0 \cdot 10^5$ кл мл⁻¹. В январе 1987 – на пике планктонной биомассы – численность возросла до $7,0 \cdot 10^5$ кл мл⁻¹ и сохранялась примерно на этом уровне в течение февраля и марта. Бактериальная биомасса (январский уровень) варьировала от 4 до 28 мг С м⁻³

(Karl et al., 1991). В рейсах по программе FRUELA в декабре 1995 - январе 1996 (на пике развития сезонной сукцессии) содержание бактериальных клеток в целом по 3-м районам (западная часть пролива Брансфилда, пролив Герлаха и море Беллинсгаузена) изменялось от $0,67 \cdot 10^5$ до $13,3 \cdot 10^5$ клеток мл^{-1} , в среднем составляя $3,86 \cdot 10^5$ клеток мл^{-1} . В верхнем 100-метровом слое пролива Брансфилда в декабре, в среднем, содержалось $(4,24 \pm 0,32) \cdot 10^{13}$, а в январе – $(3,03 \pm 0,19) \cdot 10^{13}$ клеток под м^2 (Pedros-Alio, 2002). Следует отметить, что приводимые значения численности по программе RACER осреднены по гораздо более обширной акватории; данные же последнего примера практически совпадают с нашими, в особенности с учетом сезонной сукцессии планктонного сообщества.

На глубине 100 метров максимумы численности заметно снижались, а картина распределения изменялась в сторону значительного расширения центральной зоны с пониженными концентрациями бактериопланктона в 40-100 тыс. кл. мл^{-1} (рис.1, Б). Такая картина может быть связана с проникновением с севера на глубине 75 – 150 м относительно более холодных и обедненных взвешенным органическим веществом вод из пролива Дрейка. Более высокое содержание прокариотов (до 160 тыс. кл. мл^{-1}) наблюдалось в “устье” пролива Герлаха (ст. 26), на крайней северо-восточной станции №50 (у о. Ливингстон) и в северо-западной части полигона.

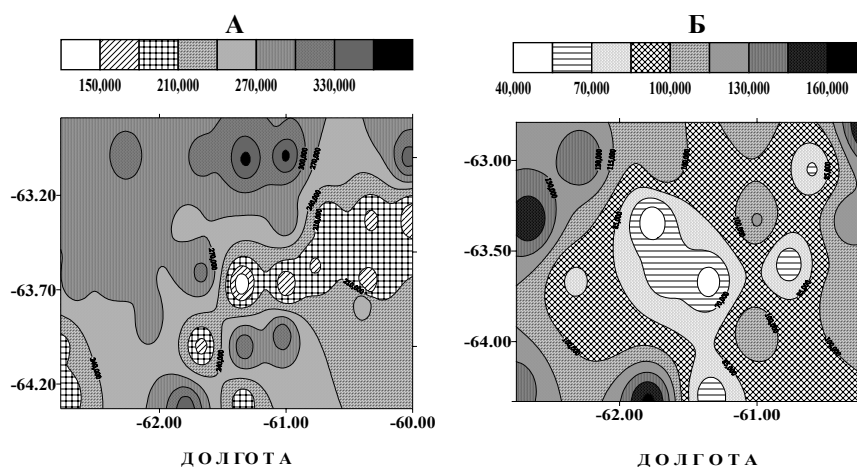


Рис. 1. Распределение численности бактериопланктона (тыс. кл мл^{-1}) в поверхностном слое (А) и на глубине 100 м (Б) в западной части пролива Брансфилда в марте 2002 года.

В вертикальном распределении, при общей закономерности уменьшения численности бактериопланктонных клеток с глубиной, на некоторых станциях наблюдались подповерхностные максимумы на глубинах 20-40 метров (рис. 2, А, Б). Наиболее выраженный максимум, почти в 2 раза превышающий концентрацию клеток в поверхностном слое, был зафиксирован на ст. 35 на глубине 25 метров. Иногда локальное увеличение численности бактерий наблюдалось в более глубоких слоях воды (рис.2, Б).

Подобный характер изменения численности планктонных организмов в большой степени связан с плотностной стратификацией вод, наблюдавшейся во время исследований. К примеру, на станции 35 слой максимальной концентрации бактерий приходился на нижнюю часть сильно выраженного и расположенного близко к поверхности “скачка” плотности. Чаще всего, более высокие значения численности бактериопланктона обнаруживались в слоях воды с выраженными градиентами плотности или непосредственно над ними (на 14-й, 31-й, 42-й и других станциях). При увеличении глубины отмечалось более интенсивное снижение численности. В отсутствие выраженной плотностной стратификации вод более высокие концентрации бактерий обычно отмечались на поверхности; резко выраженных изменений численности с глубиной не наблюдалось. Сопряженность повышенных концентраций бактериопланктона с интенсивной стратификацией фотического слоя отмечалась и для

других регионов Антарктики, в частности, для моря Содружества (Самышев, 1991) и моря Скотия (Серегин, 2002; Серегин, Артамонов, в печати). Вероятной причиной подобной картины распределения является хорошо известный эффект так называемого “жидкого дна”, образованного “скачком” плотности и задерживающего оседание детрита и живого взвешенного вещества в более глубокие слои водного столба.

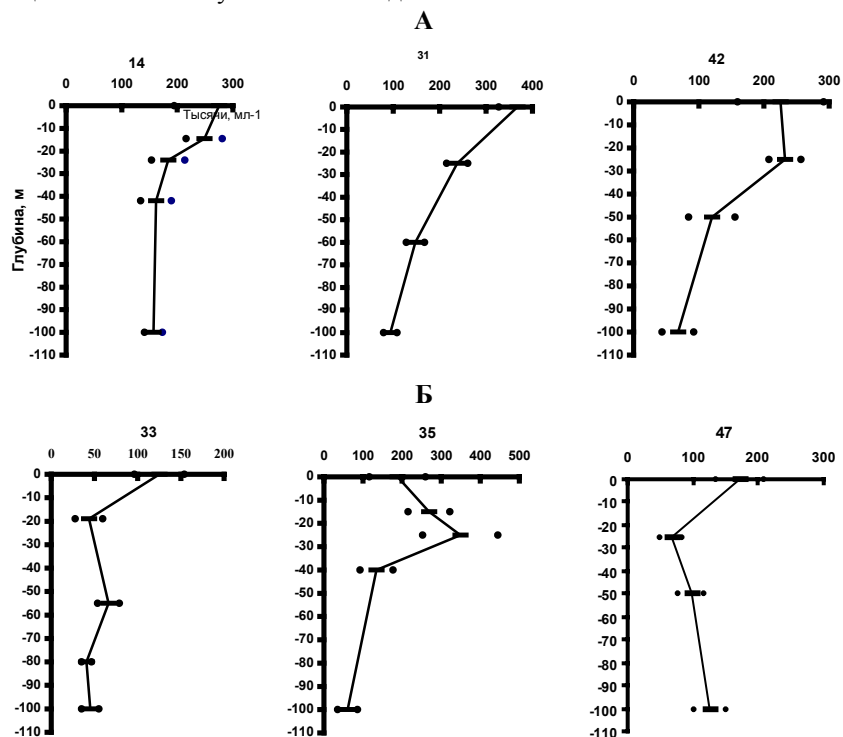


Рис. 2. Вертикальное распределение численности планктонных бактерий (\pm SD) в слое 0-100 м на полигоне в проливе Брансфилда: А – наиболее типичные изменения обилия клеток по глубине, Б – менее распространенные распределения. Цифры над графиками – номера станций.

3.2. Продукция бактериопланктона

Коэффициент соответствия прироста клеток и скорости накопления тимидина по результатам проведенного эксперимента (рис. 3) составил $0,51 \cdot 10^{18}$ клеток моль⁻¹. Сейчас уже хорошо известно, что величина этого экстраполяционного фактора, ранее воспринимавшегося как некая консервативная константа, может сильно варьировать в зависимости как от лабораторных условий его определения, так и естественных условий среды (Kirchman et al., 1982; Smits, Riemann, 1988). Например, полученные во время рейсов RACER величины коэффициента варьировали от 2 до $55 \cdot 10^{18}$ клеток моль⁻¹ тимидина (Bailiff et al., 1987; Karl et al., 1991; Bird, Karl, 1991). Чаще всего, однако, получаемые в опыте в антарктических водах и используемые в расчетах величины коэффициента близки к $1-3 \cdot 10^{18}$ клеток моль⁻¹ тимидина: $8,6 \cdot 10^{17}$ – в море Росса (Ducklow et al., 1999); $1,1 \cdot 10^{18}$ - в Атлантическом секторе Антарктики (Björnsen, Kuparinen, 1992); $3,18 \cdot 10^{18}$ – в проливе Дрейка (Чмыр, Серегин, 2002), т.е. хорошо сопоставимы с полученной нами в этот раз в прибрежных водах Антарктического полуострова.

Величины бактериальной продукции, рассчитанные с использованием полученного коэффициента, заметно различались на разных участках исследованной части пролива Брансфилда. Выделялась довольно четко оконтуренная зона относительно высокой продукции, расположенная в пространстве между и южнее о-вов Десепшен и Сноу. “Эпицентр” этой зоны практически на всех глубинах располагался юго-юго-западнее о. Десепшен, во фронтальной

зоне на стыке вод морей Беллинсгаузена и Уэдделла (станция 38). На поверхности область повышенной продукционной активности бактериопланктона расширилась на север, к

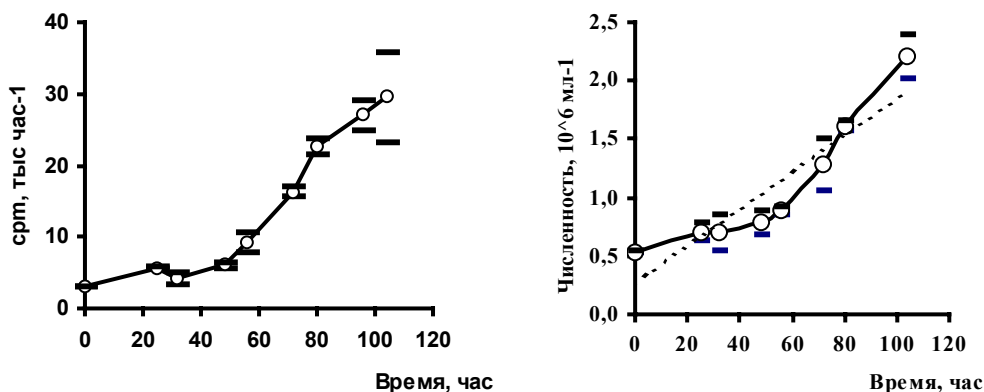


Рис. 3. Динамика скорости включения ^3H -тимидина (1) и численности клеток бактериопланктона (2) в процессе роста в фильтрованной воде. Горизонтальными линиями показаны величины стандартного отклонения (\pm SD).

прибрежью о. Ливингстон, и здесь определены максимальные из зарегистрированных во время экспедиции величины продукции – до $3,54 \text{ мг С м}^{-3} \text{ сут}^{-1}$ (станции 39, 40). Подобная локализация зоны повышенной продукционной активности, по-видимому, является результатом совокупного сочетания нескольких факторов: относительно высокой численности бактериопланктона, динамической активности водных масс, более высоких концентраций биогенных и других лимитирующих элементов, поступающих с уэдделломорскими водами во фронтальную зону (Рейсовий, 2002). Редкие локальные максимумы наблюдались также в подповерхностных слоях водного столба в северо-восточной и северо-западной частях полигона (рис. 4, А, Б). Остальное пространство пролива характеризовалось низкой продуктивностью – менее $1 \text{ мг С м}^{-3} \text{ сут}^{-1}$. Картина распределения интегральной (в слое 0–100 метров) продукции складывалась из интенсивного “пятна” повышенной продукции с максимумом до $210\text{--}240 \text{ мг С м}^{-2} \text{ сут}^{-1}$ в “эпицентре” и с убывающими к периферии значениями, и довольно ровного поля невысоких значений продукции (до $60 \text{ мг С м}^{-2} \text{ сут}^{-1}$) на всей остальной территории полигона (рис.4, Г).

Сравним полученные нами величины продукции бактериопланктона с аналогичными измерениями 1986-1987 (RACER I) и 1995-1996 (FRUELA) годов. В работе (Karl et al., 1991) приведены лишь скорости включения тимидина бактериальными клетками. По ряду причин (одну из них – высокую вариабельность полученных коэффициентов пересчета – мы уже отмечаем) авторы решили не конвертировать полученные скорости в продукцию клеток. Pedros-Alio с соавторами (2002) используя их данные с коэффициентом $2 \cdot 10^{18}$ получили среднюю величину продукции в 50-метровом слое (по 3-м указанным выше регионам), равную $0,058 \text{ г С м}^{-2} \text{ сут}^{-1}$ в декабре 1986 г. и $0,116 \text{ г С м}^{-2} \text{ сут}^{-1}$ в январе 1987 г. Продукция в проливе Брансфилда в январе составляла $0,12 \text{ г С м}^{-2} \text{ сут}^{-1}$, занимая промежуточное положение между высоким уровнем продукции в проливе Герлаха и низким – в море Беллинсгаузена. Собственные измерения продукции бактериопланктона последними авторами в 1995-96г.г. дали заметно меньшие величины: $0,025$ и $0,008 \text{ г С м}^{-2} \text{ сут}^{-1}$. Средняя для всего района величина продукции в 100-метровом слое, полученная в наших исследованиях, составила $57,6 \text{ мг С м}^{-2} \text{ сут}^{-1}$ с вариациями по пространству от единиц до $>200 \text{ мг С м}^{-2} \text{ сут}^{-1}$.

Наблюдалось некоторое несоответствие картин распределения численности и продукционной активности бактериопланктона. Наиболее заметно это было в южной части

полигона – в пространстве между “устьем” пролива Герлаха и островом Тринити. Наблюдавшиеся отдельные пятна относительно высокой численности не сопровождалось здесь повышением продукции. Одной из причин подобного рассогласования может служить разное соотношение активных и “спящих” клеток бактерий в разных водах. Показано, что неактивные клетки могут составлять от 20 до >90% от всей численности учитываемых клеток (Choi et al., 1996). Подавление физиологической и продукционной активности бактериальных клеток может также происходить из-за зараженности их вирусами. Степень поражения вирусами варьирует в различных районах. В частности, потери биомассы бактериопланктона от вирусной инфекции в море Беллинсгаузена и проливе Герлаха были эквивалентны 100% продукции, а в проливе Брансфилда – в 2 раза ниже (Guixa-Voixereu et al., 2002).

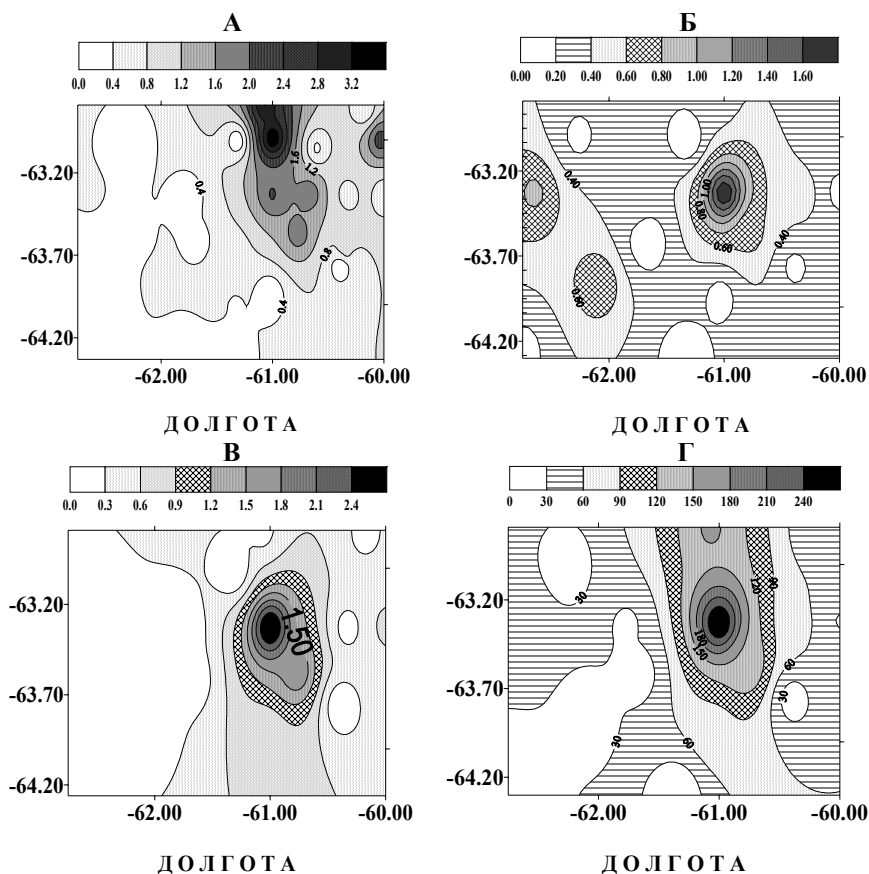


Рис. 4. Карты распределения величин продукции бактериопланктона на полигоне в западной части пролива Брансфилда: А – на поверхности, Б – в слое 20% освещенности, В – на глубине 100 м, Г – интегральной в слое 0-100 метров.

4. Заключение

Полученные данные о численности и продукции бактериопланктона (Bacteria + Archaea) свидетельствуют о выраженной неоднородности его распределения в западной части пролива Брансфилда. Повышенные концентрации бактерий (300-360 тыс мл⁻¹) наиболее характерны для северной и северо-западной части полигона, находящейся под влиянием вод, поступающих из моря Беллинсгаузена. Такое же высокое содержание бактериопланктона наблюдается также в “устье” пролива Герлаха. Акватория восточной и юго-восточной частей исследованного полигона с водами уэдделломорского происхождения характеризовалась пониженным

содержанием планктонных бактерий. Максимальная продукционная активность бактериопланктона приурочена к узкой фронтальной зоне смешения вод различного происхождения юго-западнее о. Десепшен. Некоторая разобщенность распределения численности и продукционной активности бактериопланктона может объясняться как различиями стадий сукцессионного процесса в разных участках полигона и, соответственно, отличиями физиологической активности бактерий, так и возможным влиянием вирусного заражения, также варьирующего в разных водах.

Вертикальное распределение численности бактериопланктона в верхнем 100-метровом слое вод характеризовалось общим убыванием количества бактерий от поверхности в глубину. Однако, на ряде станций наблюдались подповерхностные максимумы обилия, сопряженные с резко выраженными градиентами плотности, т.е. наблюдался хорошо известный эффект “жидкого дна”.

В целом, полученные средние оценки обилия бактериопланктона хорошо согласуются с ранее полученными данными для этого района. Это свидетельствует об относительной квазистационарности состояния данного компонента пелагической экосистемы региона. Некоторое смещение показателей в сторону уменьшения соответствует окончанию летнего периода и переходу планктонной экосистемы в “осеннее” состояние.

Благодарности. Автор очень признателен В.Д. Чмыру за помощь в работе и консультации по вопросам определения продукции бактериопланктона, а также С. Гулину и Н. Стокозову за безотказную помощь при взятии заборных проб воды и В. Воскресенскому – за предоставленные данные о прозрачности воды.

Литература

Иванов М.В. Метод определения продукции бактериальной биомассы в водоеме // Микробиология. - 1955. - Т. 24 [1]. - С. 79-89.

Рейсовий звіт заgonу океанографії 7-й Української антарктичної експедиції, травень 2002 р. - 29 с.

Самышев Э. З. Антарктический криль и структура планктонного сообщества в его ареале. - М: Наука, 1991. - 168 с.

Серегин С.А. Содержание бактерий в водах моря Скотия в предзимний период // Бюл. Укр. антарк. центр. - 2002. - Вып. 4. - С. 97-103.

Серегин С. А., Артамонов Ю. В. Концентрация бактериопланктона и структура гидрологических полей в море Скотия в переходный период от лета к зиме в 1998 году // Морской экологический журнал (в печати).

Чмыр В.Д., Серегин С.А. Продукция бактериопланктона в разных районах Антарктики в предзимний период // Бюл. Укр. антарк. центр. - 2002. – Вып. 4. - С. 107-113.

Anadyn R., Estrada M. The FRUELA cruises. A carbon flux study in productive areas of the Antarctic Peninsula (December 1995–February 1996) // Deep-Sea Res. -2002. - 49. - P. 567-583.

Azam F., Smith D. C., Hollibaugh J. T. The role of the microbial loop in Antarctic pelagic ecosystems // Polar. Res. - 1991. - Vol. 10 [1]. - P. 239 - 243.

Bailiff M. D., Jones D., Nawrocki M. et al. RACER: Bacterial abundance and thymidine incorporation in the Bransfield Strait, 1986 - 1987 // Antarct. J. U.S. - 1987. - Vol. 22 [5]. - P. 150 - 153.

Bjørnsen P.K., Kuparinen J. Determination of bacterioplankton biomass, net production and growth efficiency in the Southern Ocean // Mar. Ecol. Prog. Ser. - 1992. - Vol. 71. - P. 185 - 194.

Bird, D.F., Karl, D.M. Spatial patterns of glutamate and thymidine assimilation in Bransfield Strait, Antarctica during and following the Austral spring bloom // Deep-Sea Res. - 1991. - 38. - P. 1057–1075.

Carlson C.A., Bates N.R., Ducklow H.W. et al. Estimation of bacterial respiration and growth efficiency in the Ross Sea, Antarctica // AME - 1999. - Vol. 19. - P. 229-224.

Choi Joon W., Sherr E.B., Sherr B.F. Relation Between Presence-Absence of a Visible

- Nucleoid and Metabolic Activity in Bacterioplankton Cells // *Limnol. Oceanogr.* - 1996. - Vol. 41, No. 6. (Sep.). - P. 1161-1168.
- DeLong E.F.**, Wu K.Y., Pruzelin B.B. et al. High abundance of Archaea in Antarctic marine picoplankton // *Nature*. - 1994. - Vol. 371. - P. 695-697.
- Ducklow H.**, Carlson C., Smith W.O. Bacterial growth in experimental plankton assemblages and seawater cultures from the *Phaeocystis antarctica* bloom in the Ross Sea, Antarctica // *Aquat Microb. Ecol.* - 1999. - Vol. 19. - P. 215-227.
- Fuhrman J. A.**, Azam F. Bacterioplankton secondary production estimates for coastal waters of British Columbia, Antarctica and California // *Appl. Environ. Microbiol.* - 1980. - Vol. 39. - P. 1085 - 1095.
- Гарсна М. А.**, Castro C. G., Rhos A. F. et al. Water masses and distribution of physico-chemical properties in the Western Bransfield Strait and Gerlache Strait during Austral summer 1995/96 // *Deep-Sea Res.* - 2002. - II, 49. - P. 585-602.
- Guixa-Boixereu N.**, Vaquй D., Gasol J.M. et al. Viral distribution and activity in Antarctic waters // *Deep-Sea Res.* - 2002. - II, 49. - P. 827-845.
- Huntley M.**, Karl D.M., Niiler P. et al. Research on Antarctic Coastal Ecosystem Rates (RACER): an interdisciplinary field experiment. // *Deep-Sea Res.* - 1991. - II 38. - P. 911-941.
- Karl D.M.** Microbial processes in the Southern Ocean. In: Friedman E.I., (ed.). *Antarctic Microbiology*. - Wiley, New York, 1993. - P. 1-63.
- Karl D.M.**, Holm-Hansen O., Taylor G.T. et al. Microbial biomass and produktivity in the western Bransfield strait, Antarctica during the 1986-87 austral summer // *Deep Sea Res.* - 1991. - Vol. 38, № 8/9. - P. 1029-1055.
- Kirchman D.L.**, Ducklow H.W., Mitchell R. Estimates of bacterial growth from changes in uptake rates and biomass // *Appl. Environ. Microbiol.* - 1982. - Vol. 44. - P. 1296-1307.
- Massana R.**, Taylor L.T., Murray A.E. et al. Vertical distribution and temporal variation of marine planktonic archaea in the Gerlache Strait, Antarctica, during early spring // *Limnol. Oceanogr.* - 1998. - Vol. 43. - P. 607-617.
- Mulling B. W.**, Priddle J. Relationships between bacteria and phytoplankton in the Bransfield Strait and Southern Drake Passage. // *Brit. Antarct. Surv. Bull.* - 1987. - N 76. - P. 51 - 64.
- Murray A.E.**, Preston C.M., Massana R. et al. Seasonal and spatial variability of bacterial and archaeal assemblages in the coastal waters near Anvers Island, Antarctica // *Appl. Environ. Microbiol.* - 1998. - Vol. 64, №7. - P.2585-2595.
- Pedrys-Aliy C.**, Vaquй D., Guixa-Boixereu N., et al. Prokaryotic plankton biomass and heterotrophic production in western Antarctic waters during the 1995-1996 Austral summer // *Deep Sea Res.* - 2002. - II. - Vol. 49, 4-5. - P. 805-825.
- Smits J.D.**, Riemann B. Calculation of cell production from [³H] thymidine incorporation with freshwater bacteria // *Appl. Environ. Microbiol.* - 1988. - 54. -P. 2213-2219.
- Tien G.**, Jones D., Bailiff M. D. et al. RACER: Spatial and temporal variation in microbial biomass // *Antarct. J. U. S.* - 1987. - Vol. 22[5]. - P. 148 - 149.
- Vaque D.**, Guixa-Boixereu N., Gasol J.M. et al. Distribution of microbial biomass and importance of protists in regulating protaryotic assemblages in three- areas close to the Antarctic Peninsula in spring and summer 1995-96 // *Deep-Sea Res.* - 2002. - II 49. - P. 847-867.