



УДК 574.583:579(292.3)

ОБИЛИЕ БАКТЕРИЙ В ВОДАХ ЧЕРНОГО МОРЯ В НАЧАЛЕ 1990-Х ГОДОВ: РАСПРЕДЕЛЕНИЕ, СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ

*СЕРЕГИН С.А. - канд. биол. наук, ст. научн. сотрудник,
Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского
Национальной академии наук Украины (г. Севастополь)*

Обсуждаются данные по обилию (численности и биомассе) бактериопланктона, полученные автором в начале 90-х годов прошлого века во время экспедиций на судах УкрНЦЭМ в северной половине Черного моря (4 сезонные съемки, 1992-1993 гг.).

Ключевые слова: бактериопланктон, численность, пространственное распределение, вертикальное распределение, сезонные изменения.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ. АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение количественных и продукционных характеристик бактериопланктона является необходимым условием полноценного экологического анализа морских экосистем. В том числе, уровень обилия бактериопланктона в водоемах имеет непосредственное отношение и к проблеме их эвтрофикации. Это определяется тем, что, во-первых, его возрастание является, обычно, непосредственным последствием эвтрофикации, и, во-вторых, - количественные показатели численности, биомассы и продукции бактериопланктона используются при индикации степени эвтрофированности водоемов.

Начало проявлений эвтрофикации в Черном море датируется, обычно, 70-ми годами прошлого столетия, когда биогенный сток Дуная вырос на 1 - 2 порядка. На протяжении 70 и 80-х годов степень эвтрофикации моря непрерывно росла от первоначально олиготрофно - ме-

зотрофного статуса до эвтрофного. Шельфовая северо-западная часть моря (СЗЧ) к 1990-м годам стала считаться даже гипертрофной, так как численность бактерий к этому времени выросла многократно: в 1970-е годы стала в 4 раза больше, чем в 1960-х, а в 1990-е годы она выросла в несколько раз по сравнению с 1980-ми годами - особенно, в приустьевых районах и лиманах [1 - 3].

В начале 1990-х годов в результате распада СССР резко упал уровень экономики некоторых причерноморских стран. Соответственно, сократились и притоки биогенных элементов, поступающих в море с береговым стоком. К тому же, улучшилась очистка сточных вод в придунайских странах Европы. Все это несколько улучшило экологическую ситуацию в прибрежье [2 - 5].

Однако, в эти годы резко сократилось количество научных исследований, посвященных изучению удаленных от берега акваторий Черного моря, в том числе, и в отношении черноморского бактериопланктона. Из-за нехватки данных *корректная оценка уровня обилия бактериопланктона и, соответственно, степени эвтрофированности черноморских акваторий в масштабах всего моря* в этот период оказалась *проблематичной*. Ретроспективные данные, представленные в данной публикации, несколько восполняют дефицит подобных исследований и частично разрешают данную *проблему*. В этом состояла *задача* настоящей статьи.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Сбор материала осуществлен в 4-х экспедициях по Черному морю на судах УкрНЦЭМ. Рейсы выполнялись: с 4 по 29 мая 1992 г. - 61-й рейс НИСП "Георгий Ушаков"; с 3 по 29 июля и

с 17 ноября по 8 декабря 1992 г. – соответственно 57-й и 59-й рейсы НИСП “Эрнст Кренкель”; с 25 января по 19 февраля 1993 г. – 56-й рейс НИСП “Виктор Бугаев”. Исследованиями была охвачена северная половина Черного моря: воды северо-западной части (СЗЧ) и прибрежья территории Украины, а также глубоководные центральный (между меридианами 30 - 35° в.д.) и восточный районы (между 35 - 41° в.д.).

Каждая съемка продолжительностью 20 - 25 суток проводилась по сетке станций, в целом, единой для всех рейсов, особенно в отношении глубоководных районов (рисунок 1). Пробы воды отбирали ежедневно с 8 до 14 ч. батометром на станциях 1 разряда. Для оценки обилия бактериопланктона использовали пробы с 4 - 6 горизонтов: в основном, в верхнем перемешанном слое вод (ВПС) и в слое термоклина. Максимальные глубины отбора проб на глубоководных станциях составляли 100 м (май 1992 г.) и 150 м (январь – февраль 1993 г.).

Учет общей численности бактерий (ОЧБ) проводили “прямым методом” на мембранных фильтрах “Sartorius” с диаметром пор 0,2 мкм. Объем фильтруемой воды составлял 5 мл. После фиксации в течение суток в парах формальдегида фильтры хранились в сухом темном месте до момента обработки. Перед окрашиванием фильтры отмывали от солей путем перекладывания несколько раз на смоченной дистиллированной водой фильтровальной бумаге. Окрашивали раствором карболового эритрозина в течение 12 ч., после чего отмывали от излишков красителя путем перекладывания.

Микроскопирование фильтров проводили методом цветного фазового контраста с масляной иммерсией на микроскопе “Biolar” при увеличении $\times 1250$. Учет бактерий проводили в 5 - 10 полях зрения (но не менее 200 подсчитанных клеток). Средняя ошибка подсчета числа клеток составляла около 12%. При расчете “сырой” биомассы использовали усредненное значение объема бактериальных клеток 0,1 мкм³ [6], а при представлении биомассы в углеродных единицах принимали среднюю биомассу бактериопланктона, равную 20 fg C cell⁻¹ [7, 8].



РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Распределение по акватории моря. В конце весны средние по всей исследованной акватории значения численности и биомассы бактериопланктона на поверхности моря составляли 2,0 млн. кл. мл⁻¹ и 40,8 мгСм⁻³ соответственно. Локальные зоны повышенных значений обилия бактериопланктона выделялись в прибрежье северо-западной части полигона до 5,7 млн. кл. мл⁻¹ и 113 мгСм⁻³, в открытом море юго-восточной части полигона - до 2,6 млн. кл. мл⁻¹ и 52 мгСм⁻³ и в центре моря напротив южной оконечности Крыма – до 2,7 млн. кл. мл⁻¹ и 54 мгСм⁻³. В среднем для верхнего 30-метрового слоя вод, при общем снижении концентрации бактериальной биомассы по сравнению с поверхностью, зоны повышенных ее концентраций расширялись в центральной части моря - вплоть до южного побережья Крымского полуострова и в восточной части моря - до кавказского побережья и прикерченского района. В СЗЧ на

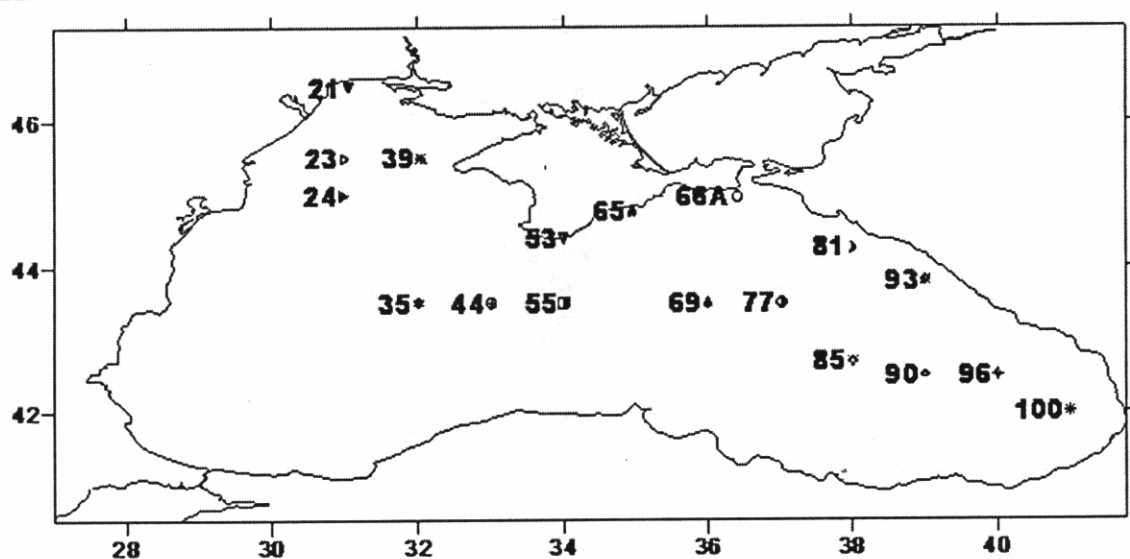


Рисунок 1- Карта станций I разряда сезонных съемок на судах УкрНЦЭМ в мае 1992 – феврале 1993 гг.



большинстве станций в подповерхностных горизонтах наблюдались заметно более низкие концентрации планктонных бактерий, чем в остальной части моря – около 21 мгСм^{-3} , в среднем, для верхнего 30-метрового слоя (рисунок 2 А).

Летом, при небольшом увеличении средних значений численности и биомассы планктонных

бактерий, характер распределения, в целом, не изменился. Зоны повышенных концентраций бактериопланктона в поверхностном слое были отмечены в СЗЧ (до $3,7 \text{ млн. кл. мл}^{-1}$ и 74 мгСм^{-3}), в центре моря – до $3,4 \text{ млн. кл. мл}^{-1}$ и 68 мгСм^{-3} и на востоке – близко к центру восточного квазистационарного циклонического круговорота – до $3,5 \text{ млн. кл. мл}^{-1}$ и 70 мгСм^{-3} и вдоль Кавказс-

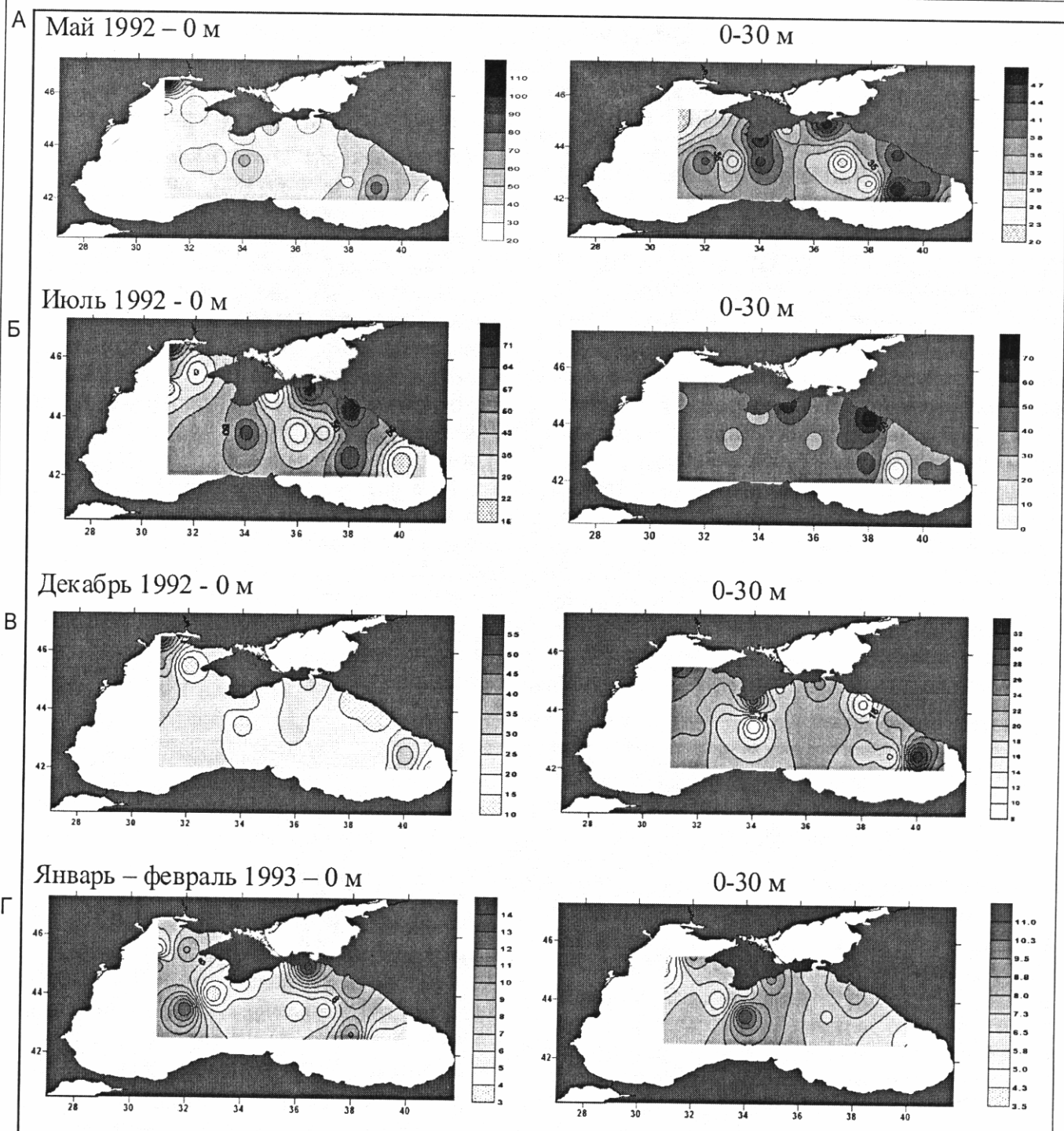


Рисунок 2 - Распределение биомассы бактерий (мгСм^{-3}) в Черном море в 1992-1993 гг.: на поверхности (слева) и в слое 0 - 30 м (справа)

кого побережья - до $75 - 79 \text{ мгСм}^{-3}$. Некоторые изменения пространственного распределения бактериопланктона проявлялись в заметном повышении обилия в зонах максимумов и в том, что области максимальных концентраций в районе Кавказского побережья сместились по направлению основного черноморского циклонического течения в район Новороссийска и Керченского пролива (рисунок 2 Б).

Поздней осенью в центральной части моря наблюдались пониженные концентрации бактериопланктона (около $600 \text{ тыс. кл. мл}^{-1}$ и 12 мгСм^{-3}), а зоны относительных максимумов на поверхности отмечены в СЗЧ (около $3 \text{ млн. кл. мл}^{-1}$ и 58 мгСм^{-3}) и на юго-востоке полигона (в открытом море напротив мыса Пицунда – 34 мгСм^{-3}). В слое $0 - 30 \text{ м}$ юго-восточная зона максимума наиболее выраженная. Этому, вероятно, способствует заглупление поверхностных вод с высоким содержанием бактерий, которое характерно для антициклона в юго-восточном районе Черного моря. Подобная картина отмечалась ранее на периферии циклонических круговоротов и в центре антициклонов [9]. К этим центрам добавляются меньшие по значениям обилия бактериопланктона области в прибрежье ЮБК и в прикерченском районе (около $1,3 \text{ млн. кл. мл}^{-1}$ и $25 - 26 \text{ мгСм}^{-3}$) (рисунок 2 В).

В середине зимы поверхностный слой вод относительно обогащен бактериями в западном глубоководном районе и в прикерченской акватории. На многих станциях не наблюдалось обычного снижения численности и биомассы бактериопланктона с глубиной. Как следствие, средний уровень обилия бактерий в слое $0 - 30 \text{ м}$ оставался, практически, равным поверхностному: в единицах биомассы – $6,9 \text{ мгСм}^{-3}$ против $7,6 \text{ мгСм}^{-3}$ на 0 м . А вот зона локальных максимумов для слоя $0 - 30 \text{ м}$ с поверхностными максимумами не совпадала и размещалась в центральной части моря (рисунок 2 Г).

Таким образом, на протяжении большей части года в верхнем слое вод (на исследованной акватории северной части Черного моря) выделялись одни и те же зоны повышенной плотности бактериального сообщества планктона. Чаще всего они располагались в прибрежных акваториях (СЗЧ, кавказское побережье, прикерченский район, иногда, ЮБК). Они наиболее подвержены как естественным факторам среды, способствующим увеличению численности бактерий, так и факторам антропогенного происхождения (органика хозяйственно-

бытовых стоков, загрязняющие вещества и др.). В СЗЧ наиболее ощутимо влияние речного стока, несущего аллохтонное органическое вещество и биогенные элементы. У кавказского побережья сказываются и более высокие температуры на протяжении года, и достаточное количество берегового стока, и высокая степень рекреационной нагрузки. В прикерченском районе высокая плотность бактериального населения определялась, скорее всего, повышенным горизонтальным и вертикальным обменом вод, обеспечивающим постоянный приток биогенных элементов и органического вещества за счет как азовоморских вод, так и сгона поверхностных вод у Новороссийска. Наиболее высокие концентрации бактерий наблюдались в прибрежной части моря, особенно в акваториях, подверженных влиянию крупных городов (Одесса, Новороссийск).

В весенне-летний сезон в поверхностных горизонтах содержание бактериальных клеток здесь достигало $4 - 5 \text{ млн. мл}^{-1}$ с биомассой – до 100 и более мгСм^{-3} . Подобные показатели обилия бактериопланктона характерны для эвтрофного статуса акваторий, а иногда граничащего с гипертрофным [10].

С удалением в открытую часть моря концентрация бактерий, как правило, снижалась. Но и здесь, также, наблюдались зоны повышенного обилия бактериопланктона (эпизодически – в центре моря и районе восточного квазистационарного циклонического круговорота и более стабильно – на юго-востоке полигона напротив мыса Пицунда). Поздней весной здесь наблюдались абсолютные максимумы для открытой зоны моря – до $3,7 - 4,2 \text{ млн. кл. мл}^{-1}$. Этот участок полигона захватывал акватории 2-х физико-географических районов Черного моря: восточного и, частично, юго-восточного. Юго-восточный район выделяется постоянно существующим абсолютным для Черного моря максимумом температуры верхнего слоя вод, а в поле солёности - минимумом из-за распресняющего влияния стока кавказских рек. Воздействие антициклонического круговорота способствует повышению концентрации бактериопланктона не только на поверхности, но и, в целом, в верхнем перемешанном слое вод. Т.е., очевидно, наличие как абиотических факторов, способствующих активному развитию бактериального сообщества, так и факторов антропогенного влияния.





Минимальные показатели чаще всего наблюдались в центральных участках моря. Однако, и здесь в летние месяцы значения численности и биомассы бактерий характеризовали состояние вод как переходное от мезотрофного к эвтрофному (до 2 млн. кл. мл⁻¹ и 40 мгС м⁻³ по биомассе в верхнем перемешанном слое вод) [10].

Вертикальное распределение. Верхний перемешанный слой (ВПС) в первой и второй декадах мая на большинстве станций был развит еще слабо и составлял 4 - 5 м. Только в третьей декаде мая и, прежде всего, в мелководных районах (прикерченский и северо-запад-

ный) ВПС стал составлять 10 и более метров.

Вертикальное распределение бактериопланктона в этот период характеризовалось, в большинстве случаев, максимальными величинами у поверхности и монотонным убыванием значений численности с глубиной. Направление изменений, в целом, совпадало с направлением изменений температуры воды. Воздействие других факторов существенно не сказывалось (рисунок 3). Исключение составляла самая юго-восточная ст. N 100 с наличием максимума численности бактерий на глубине 16 м, совпадающего с максимумом в распределении кислорода. К концу месяца «слоистое»,

т.е. с наличием локальных максимумов в водной толще, распределение численности бактерий наблюдалось на мелководной ст. N 23 (СЗЧ) и глубоководных 35-й и 44-й станциях (западная часть моря).

В июле вертикальное распределение численности бактериопланктона заметно отличалось от майского наличием выраженных подповерхностных пиков, практически, на всех исследованных станциях (рисунок 4). Часто они были приурочены к термоклину. ВПС в это время почти повсеместно составлял не менее 10 м. Направление изменений обилия бактерий часто совпадало с таковым для изменений содержания в воде кислорода и, иногда, фосфатов.

Поздней осенью – в начале зимы «слоистый» характер распределения обилия бактерий сохранился. Толщина ВПС в этот сезонный отрезок времени была менее однородной в разных районах моря и составляла от 15 до 50 м.

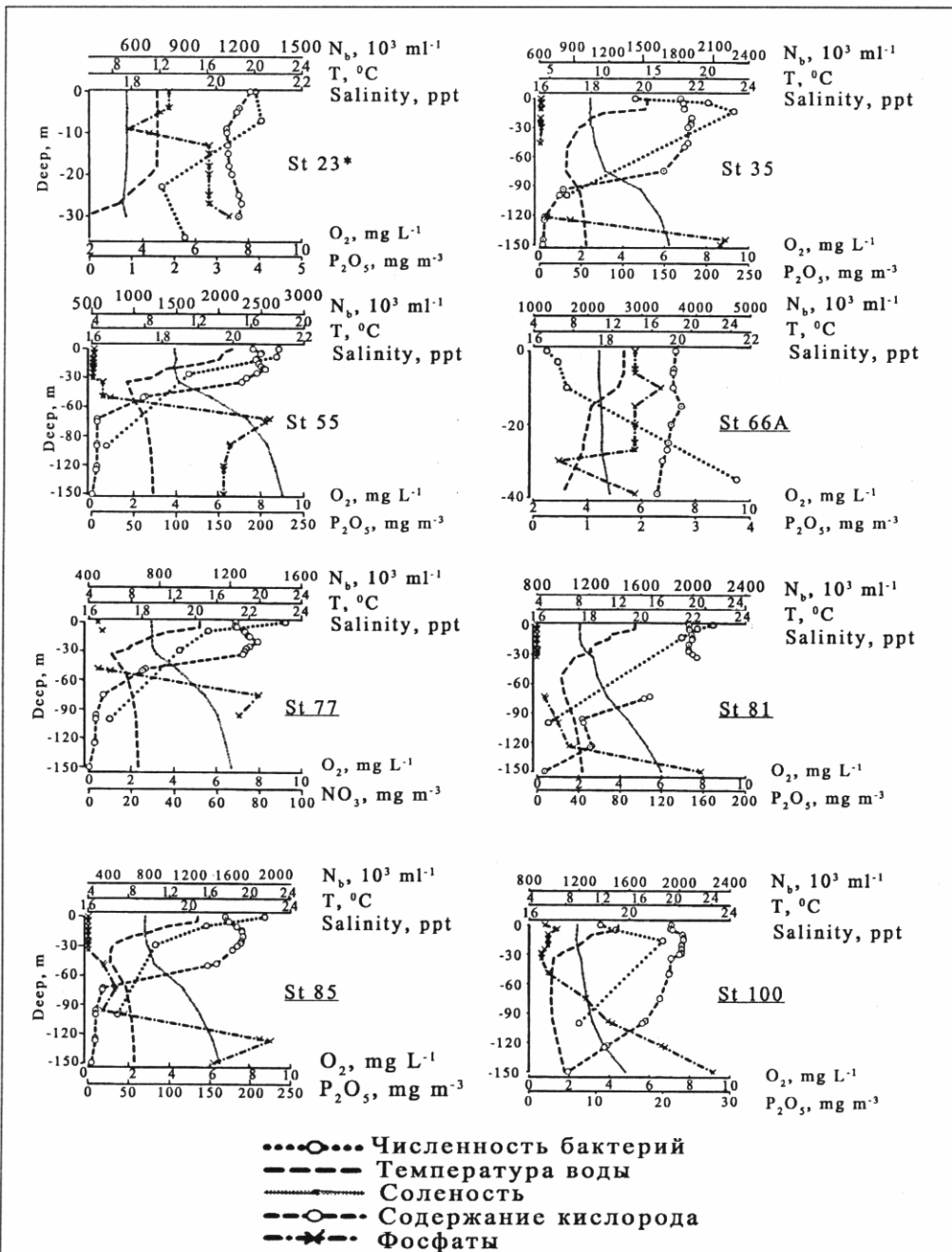


Рисунок 3 - Вертикальное распределение численности бактериопланктона и некоторых гидролого-гидрохимических параметров среды на ряде станций в Черном море в мае 1992 г.

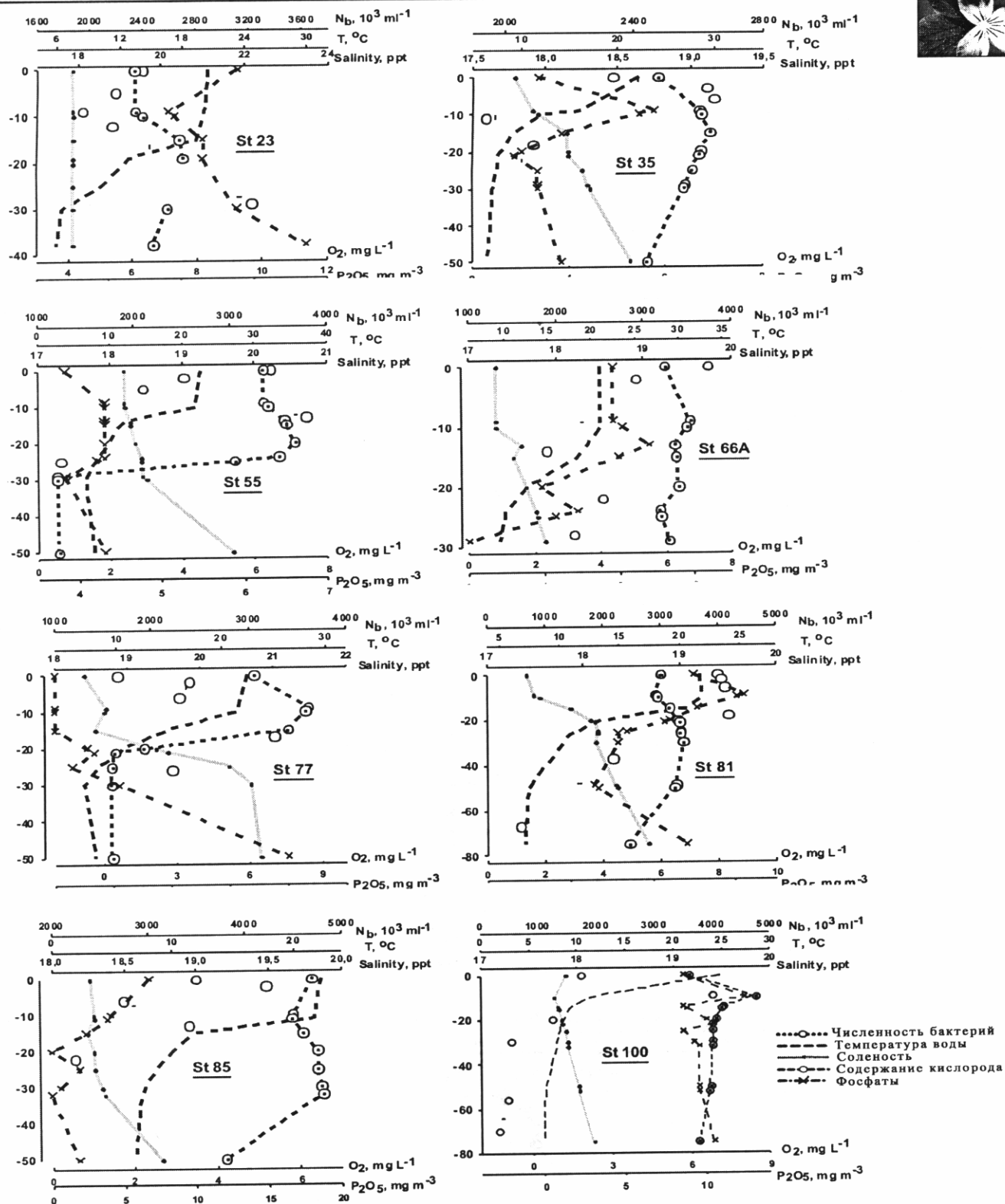


Рисунок 4 - Вертикальное распределение численности бактериопланктона и некоторых гидролого-гидрохимических параметров среды на ряде станций в Черном море в июле 1992 г.

Не наблюдалось видимой зависимости изменений ОЧБ от температурных условий среды. Наиболее заметным было соответствие изменений ОЧБ и содержания кислорода на ряде станций (рисунок 5).

Зимнее распределение бактериопланктона

по вертикали водного столба часто характеризовалось увеличением численности в придонных слоях на мелководных (ст. 23, 39, 53) или на глубинах 100 - 150 м – на глубоководных станциях (ст. 35, 45 – в западной части и ст. 90 – в восточной части моря) (рисунок 6).

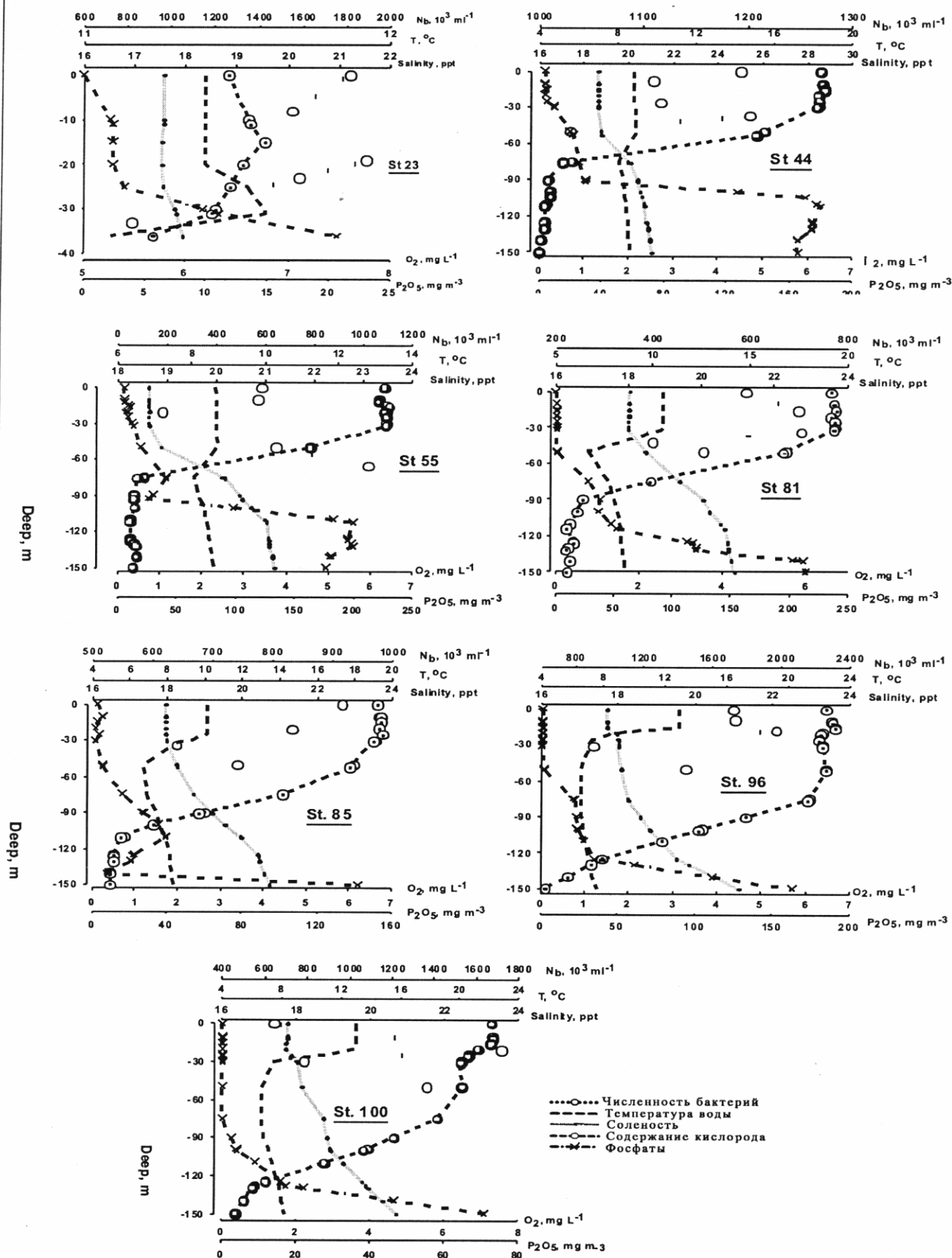


Рисунок 5 - Вертикальное распределение численности бактериопланктона и некоторых гидролого-гидрохимических параметров среды на ряде станций в Черном море в ноябре - декабре 1992 г.

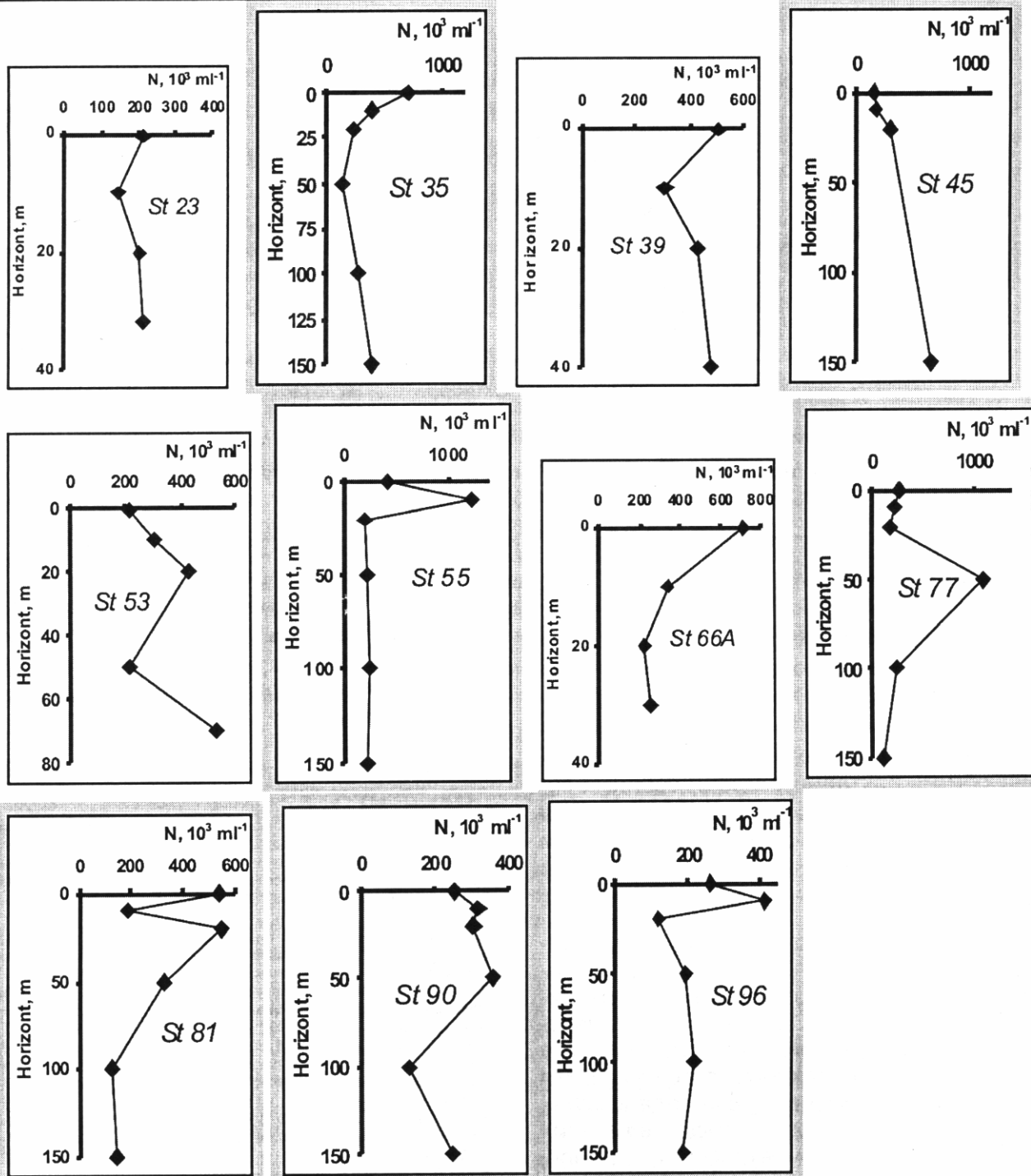


Рисунок 6 - Вертикальное распределение численности бактериопланктона в Черном море в январе - феврале 1993 г. Глубоководные станции выделены серой рамкой

Таким образом, можно полагать, что весной основным определяющим распределение бактерий по вертикали фактором среды выступает температура воды. По мере ее повышения и роста плотности бактериального «населения» возрастает роль растворенного в воде кислорода. Локальные пики численности бактерий часто совпадают с максимумами его содержания в воде.

Сезонные изменения. На рисунке 7 показано общее направление сезонных изменений ОЧБ в верхнем 10-метровом слое вод. Майские показатели обилия бактерий в верхнем слое вод лишь слегка уступали таковым для середины лета. В частности, на поверхности значения численности варьировали от 1 до более 5 млн. кл. в 1 мл (в среднем, около 2 млн. кл.), а средневзвешенное

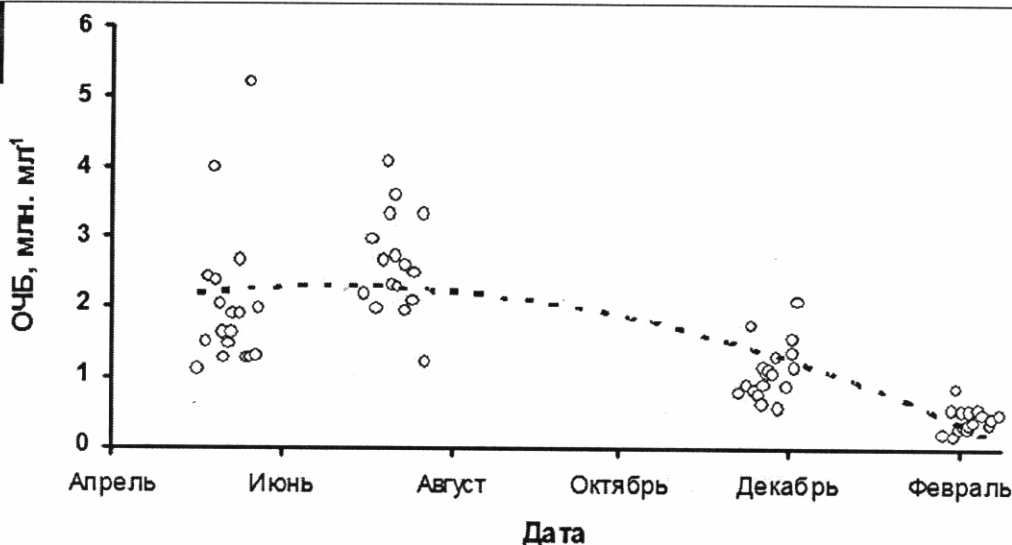


Рисунок 7 - Сезонная динамика общей численности бактериопланктона (средневзвешенной) в верхнем 10-метровом слое Черного моря в 1992 - 1993 гг.

значение в верхнем 50-метровом слое составляло 1,75 млн. кл. в 1 мл.

В позднесенний период средневзвешенные значения численности бактериопланктона в ВПС уменьшались по сравнению с летними, в среднем, в 2,5 раза – до $1074,1 \pm 317,1 \times 10^3$ мл⁻¹. Примерно такое же относительное снижение обилия бактерий в исследованных водах наблюдалось от осени к середине зимы (январь-февраль), когда значения численности варьировали в пределах 200 - 500 тыс. кл. мл⁻¹.

ВЫВОДЫ

1. Зоны повышенного обилия бактериопланктона в Черном море в 1992 - 1993 гг. располагались, прежде всего, в прибрежных акваториях: в СЗЧ в районе г. Одессы, в прикерченском районе, в водах кавказского побережья, а также в открытых водах юго-восточной части моря. В весеннее - летнее время года уровень развития бактериального сообщества в этих районах соответствовал эвтрофному, а иногда, и гипертрофному статусу акваторий.

2. Открытые районы моря оставались более «чистыми», однако в теплое время года и их состояние характеризовалось как переходное от мезотрофного к эвтрофному. В целом, это свидетельствует о высокой степени эвтрофии всего бассейна Черного моря в рассматриваемый период.

3. Заметное снижение численности и биомассы планктонных бактерий наблюдалось лишь в самое холодное время года – в январе-феврале, когда значения обилия бактериопланктона снижались до значений, характеризующих состояние акваторий как олиго- или мезотрофное.

4. Динамика вертикальной структуры распределения численности бактериопланктона характеризовалась усилением выраженности подповерхностных максимумов по мере усиления стратификации водного столба от весны к лету и осени.

ЛИТЕРАТУРА

1. Теплинская Н.Г. Бактериопланктон Северо-Западной и Северо-Восточной частей Черного моря в летний период // Гидробиол. журн. – 1995. – Т. 31, N 2. – С. 36 – 41.
 2. Kovalova N., Medinets S., Konareva O., Medinets V. Long-term changes of bacterioplankton and of chlorophyll "A" as indicators of north-western part of the Black sea ecosystem changes in the last 30 years // 2nd Biannual and Black Sea Scene EC Project Joint Conference, 6 - 9 October, Sofia, Bulgaria, 2008. - P. 136 - 142.
 3. Zaitsev Yu. P., Alexandrov B. G. Black Sea biological diversity. Ukraine. - N.Y.: UN, 1998. – 350 p.
 4. Сорокин Ю. И., Вшивцев В. С., Домников В. С. Биологическая структура вод, ее изменчивость и состояние гидробионтов / Техногенное загрязнение и процессы естественного самоочищения. – М.: Недра, 1996. – 266 – 312 с.
 5. Cociasu A., Popa L. Significant changes in Danube nutrient loads and their impact on the Romanian Black Sea shelf / Oceanogr. of the Eastern Mediter. and Black Sea: Confer. Ankara. - 2002 - P. 402.
 6. Чепурнова Э. А., Шумакова Г. В., Бучакчийская А. Н. Размерная структура морского бактериопланктона по результатам измерения клеток на мембранных ультрафильтрах "СЫНПОР-6" и "СЫНПОР-7" // Микробиология. – 1988. – 57, N1. – С. 146 – 151.
 7. Сорокин Ю. И., Сорокина О. В. Первичная продукция и динамика бактериопланктона в Черном море в холодное время года // МЭЖ. – 2008. – Т. 7, N 2. – С. 65 – 75.
 8. Lee S., Fuhrman J.A. Relationship between biovolume and biomass of naturally derived marine bacterioplankton // Appl. Environ. Microbiol. – 1987. – 53. – P. 1298 – 1303.
 9. Чепурнова Э. А., Шумакова Г. В., Гутвейб Л. Г. Глава 3. Бактериопланктон / Ковалев А. В., Финенко З. З. (ред.) Планктон Черного моря. – Киев: Наук. Думка, 1993. – 110 – 142 с.
 10. Заика В. Е. О трофическом статусе пелагических экосистем в разных регионах Черного моря // МЭЖ. – 2003. – 2, N 1. – С. 5 – 11.
- Достаток бактерій у водах Чорного моря на початку 1990-х років: розподіл, сезонні зміни. Серьогін С.О. – старший науковий співробітник, кандидат біологічних наук, Інститут біології південних морів НАН України
- Обговорюються дані з достатку (чисельності і біомаси) бактеріопланктону, отримані автором на початку 90-х років минулого століття під час експедицій на судах УкрНЦЕМ в північній половині Чорного моря (4 сезонних зйомки, 1992-1993 рр.).
- Bacterial abundance in the Black Sea in the early 1990's: the distributions and seasonal changes. Seregin S.A. - scientist, Ph. D. (Biology), Institute of biology of Southern seas of NAS of Ukraine
- We discuss the data on the bacterial abundance (numbers and biomass), obtained by the author in the early 90-ies of the last century, during the expeditions on board ships UkrSCEM in the northern half of the Black Sea (4 Seasonal survey, 1992-1993).