



УДК 579:574 583(262.5)

О. А. Рылькова, канд. биол. наук, н. с.

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

МНОГОЛЕТНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЧИСЛЕННОСТИ БАКТЕРИОПЛАНКТОНА В ПРИБРЕЖЬЕ СЕВАСТОПОЛЯ (ЧЁРНОЕ МОРЕ)

На основании собственных и литературных данных проанализирована динамика общей численности бактерий в акватории Севастопольской бухты в период 1966 – 2007 гг. Диапазон колебаний составил $0.7 - 8.1 \times 10^6$ мл⁻¹. Выделены три периода в динамике численности бактерий: с 1966 по 1988 гг. наблюдалась тенденция роста численности бактериопланктона; в 1992 – 2003 гг. – её высокая вариабельность; в 2004 – 2007 гг. – устойчивое снижение численности бактерий до величин, наблюдаемых в конце 1970-х – начале 1980-х годов. Отмеченная цикличность свидетельствует о большой экологической ёмкости бухты и способности её экосистемы к стабилизации и восстановлению при снижении антропопрессии.

Ключевые слова: бактериопланктон, многолетняя динамика, Севастопольская бухта, Чёрное море

В последние десятилетия в экосистеме Чёрного моря произошли существенные изменения, связанные с эвтрофикацией его отдельных районов, воздействием видов-вселенцев на пелагические и донные биоценозы, флуктуацией климатических условий [12, 27]. Все это не могло не отразиться на сообществе бактериопланктона, которое одним из первых реагирует на любые изменения в окружающей среде [1, 13, 25]. К сожалению, с 1990-х годов в Черном море микробиологические исследования проводились крайне редко [12].

В настоящей работе проанализирована динамика развития сообщества бактериопланктона в период с 1966 по 2007 гг. на модельном полигоне в

прибрежье Севастополя и акватории Севастопольской бухты (юго-западная оконечность Крымского п-ова).

Материал и методы. Исследования проводились с января 1992 по декабрь 2007 гг. в открытой, центральной, кутовой частях Севастопольской бухты и прибрежной зоне в 2-х милях от берега (рис. 1). Пробы отбирались с поверхностного горизонта 10-литровым батометром Нискина; в 1992 – 2000 гг. – ежемесячно, в 2001 – 2007 гг. – 2 – 3 раза в месяц. Для анализа использовали также литературные данные 1966 – 1989 гг. [3, 22, 23]. Материалы за 1992 г. любезно предоставлены В. А. Пономаренко

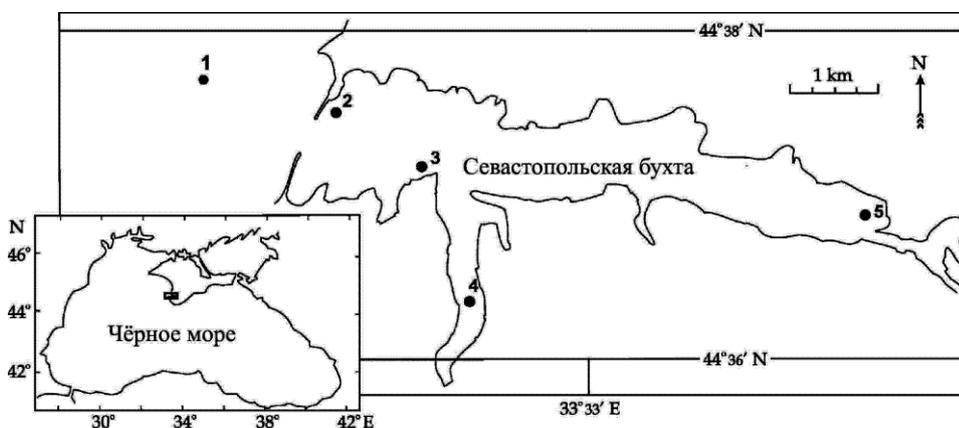


Рис. 1 Схема станций в Севастопольской бухте и прибрежье Севастополя

Fig. 1 Scheme of the stations in Sevastopol Bay and the coast of Sevastopol

Общую численность бактерий в воде определяли методом прямого счёта, окрашивая препараты эритрозином (Э) и акридиновым оранжевым (АО).

При использовании эритрозина пробы фильтровали через нитроцеллюлозный мембранный фильтр с диаметром пор 0.2 мкм («Sartorius», Германия). Затем препараты бактерий на фильтрах фиксировали в парах 40 % формальдегида в чашках Петри и окрашивали 10 % раствором эритрозина на 5 % карболовом растворе в течение 14 – 16 ч. Счёт бактерий осуществляли с помощью светового микроскопа МБИ–1 при увеличении $\times 1350$ с фазовым контрастом [15].

С использованием акридинового оранжевого препараты бактериопланктона готовили на ядерных фильтрах (производства Объединённого Института ядерных исследований (ОИЯИ), г. Дубна, Россия) с диаметром пор 0.2 мкм. Для гашения собственной флуоресценции фильтры предварительно окрашивали в течение суток в насыщенном растворе судана чёрного в 50 % этаноле. Пробу воды фиксировали в течение 5 мин 10 % раствором нейтрализованного глютардиальдегида до концентрации 1 %. Затем 3 мин окрашивали 0.1 % водным раствором акридинового оранжевого («Sigma») до концентрации 0.01%. Препараты просматривали под микроскопом «Jenalumag» (диапазон возбуждения 470 – 490 нм, пропускания – 500 – 520 нм) при $\times 1000$ [24].

Во всех случаях объём фильтруемой пробы в зависимости от сезона составлял 5 – 10 мл. Разрежение в процессе фильтрации не превышало 150 мм рт. ст. Все реактивы для окраски и фиксации микроорганизмов перед каждым исследованием предварительно фильтровали с помощью стерильных пластиковых шприцев с фильтром-насадкой («Sartorius», Германия, диаметр пор 0.2 мкм) для удаления неорганических частиц и микроорганизмов, попавших в растворы при их приготовлении и хранении [1]. На каждом фильтре, независимо от способа окраски, просчитывали 10 – 20 полей зрения (в зависимости от плотности бактерий на фильтре) для получения данных с ошибкой не более 20 % [8].

Численность бактерий (N) рассчитывали по формуле [15]:

$$N = S \times x / s \times v,$$

где S – площадь фильтрующей поверхности фильтра; x – среднее число бактерий в одном поле зрения; s – площадь поля зрения; v – объём профильтрованной воды.

В ходе предварительных исследований (1992 – 1998 гг.) при анализе 140 проб из прибрежных и глубоководных районов северо-западной и центральной частей Чёрного моря нами не выявлено достоверных отличий в численности бактериопланктона при окраске препаратов эритрозином ($N_{Э}$) и акридиновым оранжевым ($N_{АО}$) [17], что согласуется с данными других исследователей [11, 22].

Более детальный анализ данных, сгруппированных по времени или району отбора проб, выявил, что в ряде случаев разница в численности бактерий, полученная разными методами, может существенно отличаться от усреднённых по общей выборке показателей. Так, для Севастопольской бухты и района побережья Севастополя получена хорошо выраженная зависимость между величинами $N_{Э}$ и $N_{АО}$. Большинство величин $N_{Э}$ в этой серии проб было выше аналогичных показателей для $N_{АО}$. По-видимому, это связано с тем, что только 60 % клеток бактериопланктона в бухте имеют интактную мембрану, остальные – нежизнеспособны [9], но они учитываются при окраске эритрозином как живые. Кроме того, прибрежные акватории сильно подвержены штормовым явлениям, в силу чего в пробах обнаруживается значительное количество взвеси. Количество детритных частиц размером 0.2 – 2.0 мкм сопоставимо, а иногда и превышает количество бактериальных клеток. Учёт бактерий в таких пробах методом Разумова крайне затруднён, а полученные величины могут быть завышены [7]. В среднем коэффициент $N_{Э}/N_{АО}$ составлял 1.92 ± 0.23 [17], его мы и использовали для анализа многолетних данных, т.к. материалы 1966 – 1992 гг. получены при окраске бактерий эритрозином, а с 1998 г. нами использовался акридиновый оранжевый.

Результаты и обсуждение. Наиболее длительный временной ряд получен на станции 2, расположенной у выхода из Севастопольской бухты. Анализ собственных и литературных данных показал, что с 1966 по 1988 гг. среднегодовая численность бактерий ($N_{cp./год.}$) в бухте увеличилась в 4.7 раза (рис. 2), что позволило исследователям сделать заключение о повышении трофности Севастопольской бухты [3, 22, 23]. Возрастание численности бактерий связывали с усилившейся антропогенной нагрузкой, прежде всего, за счёт поступления промышленных, сельскохозяйственных и

бытовых стоков. Негативное влияние на экологическую ситуацию в бухте оказало и ухудшение условий водообмена, произошедшее после строительства в 1978 г. заградительного мола [6, 14, 21].

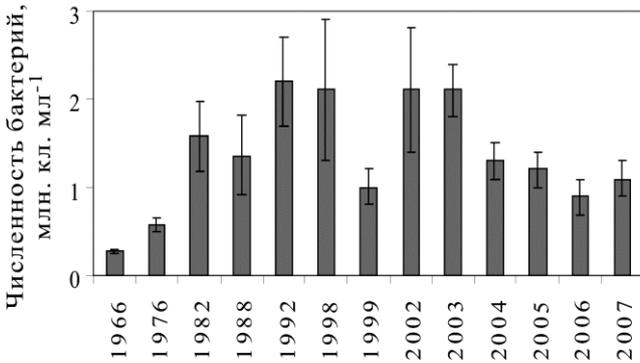


Рис. 2 Многолетняя динамика численности бактериопланктона в Севастопольской бухте (ст. 2). Данные 1966 – 1992 гг. [3, 22, 23] приведены с использованием коэффициента $N_{\Sigma}/N_{AO}=1.92\pm 0.23$

Fig. 2 Long-term changes of the bacterioplankton abundance in the Sevastopol Bay (st. 2). Data 1966 – 1992 [3, 22, 23] given at a coefficient of $N_{\Sigma}/N_{AO}=1.92\pm 0.23$

В течение 1992 и 1998 гг. среднегодовая численность бактериопланктона в бухте оставалась стабильно высокой: соответственно 2.15 ± 0.54 и 2.10 ± 0.78 млн.кл. · мл⁻¹. Эти величины соизмеримы с данными за 1988 г. (см. рис. 2). Период 1990-х годов характеризовался изменяющимся уровнем антропогенной нагрузки, в Севастопольской бухте в этот период наблюдался широкий диапазон колебаний концентрации нефтяных углеводородов [10]. Кроме того, на развитие бактериопланктона в бухте влиял комплекс биотических и абиотических факторов. 1992-й год характеризовался в весенне-летний период интенсивным развитием фитопланктона в Чёрном море [18], что и определило уровень развития бактерий. В 1998 г. высокая численность бактериопланктона была связана с поступлением большого объема стока речных вод и аварийным сбросом вод из Чернореченского водохранилища [5]. В последующем 1999-м году, характеризовавшимся интенсивной адвекцией морских вод, которая по-

ложительно повлияла на химический состав и качество вод бухты [5], средняя численность бактерий снизилась почти вдвое по сравнению с 1998 г. В 2002 и 2003 гг. $N_{\Sigma}/\text{год}$ в бухте находились на уровне 1992 и 1998 гг. и определялись гидрометеорологическими условиями: высокой температурой воздуха и воды, обильными осадками в 2002 г., интенсивным понижением уровня моря и замедлением процессов водообмена, а также интенсивными апвеллингами и низкими температурами воздуха и воды в 2003 г. [5].

Следует отметить, что в 1998 и 2002 гг. отмечен большой размах колебаний численности бактериопланктона (0.7 – 3.8 и 0.7 – 8.1 млн. кл. · мл⁻¹), а в 2003 г., несмотря на практически такую же среднюю численность, диапазон колебаний минимальных и максимальных величин сократился (1.2 – 3.7 млн. кл. · мл⁻¹).

С 2004 по 2007 гг. среднегодовая численность бактериопланктона в Севастопольской бухте оставалась вдвое ниже, чем в 1992 – 2003 гг. и была соизмерима с величинами, наблюдавшимися в конце 1970-х и начале 1980-х годов.

В 1992 – 2002 гг. нами получены сравнительно близкие минимальные величины численности бактериопланктона (0.5 – 0.7 млн. кл. · мл⁻¹). В 2004 – 2007 гг. минимальные величины изменились незначительно (0.3 – 0.6 млн. кл. · мл⁻¹), а максимальные снизились в 2 раза (табл. 1).

Табл. 1 Численность бактериопланктона (N , млн.кл. · мл⁻¹) в Севастопольской бухте (ст. 2)

Table 1 Bacterioplankton abundance (N , mln. cells · ml⁻¹) at the Sevastopol Bay (st. 2)

Год	Средняя ± 95% дов. инт.	Минимум	Максимум
1992	2.2 ± 0.5	0.6	3.6
1998	2.1 ± 0.8	0.7	3.8
1999	1.0 ± 0.2	0.5	1.3
2002	2.1 ± 0.7	0.7	8.1
2003	2.1 ± 0.3	1.2	3.7
2004	1.3 ± 0.2	0.6	2.0
2005	1.2 ± 0.2	0.6	2.5
2006	0.9 ± 0.2	0.3	1.5
2007	1.1 ± 0.2	0.6	2.4

Небольшой разброс величин нижних пределов колебаний N может свидетельствовать об относительно стабильном запасе органического вещества. Верхние пределы определяются временным поступлением органического вещества (ОВ) аллохтонного или автохтонного происхождения [16].

В других участках Севастопольской бухты и прибрежной зоне (ст. 1) в период 1992, 1999 и 2003 – 2007 гг. в развитии бактериопланктона наблюдалась та же цикличность (рис. 3).

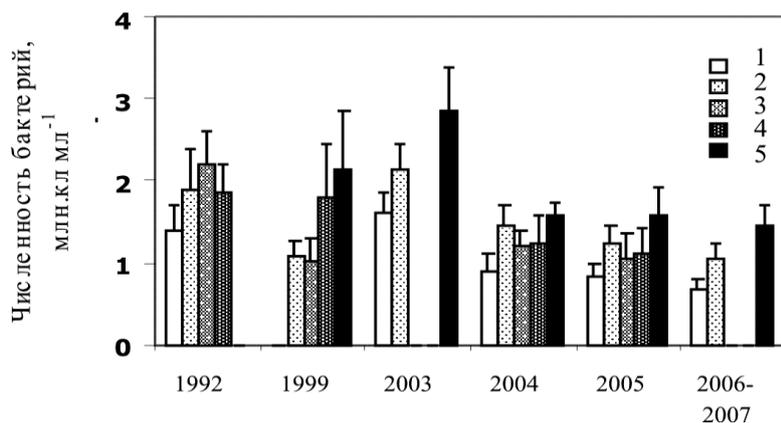


Рис. 3 Пространственное распределение численности бактерий в акватории Севастопольской бухты (ст. 2, 3, 4, 5) и открытом побережье (ст. 1)
Fig. 3 The spatial distribution of the bacterioplankton abundance in the Sevastopol Bay (st. 2, 3, 4, 5) and open coastal waters (st. 1)

Однако в кутовых частях бухты (ст. 4, 5) численность бактерий во все периоды исследований была в 1.2 – 1.9 раз выше, чем в прибрежье и открытых районах (ст. 1, 2, 3). Исключение составил 1992 г., когда, видимо, за счёт активной ветровой деятельности [4] произошло выравнивание гидрохимических и биологических показателей по акватории бухты.

Особенно выделяется район Инкермана, где с водой реки Чёрная в бухту поступает аллохтонное органическое вещество, что создаёт благоприятные условия для развития микроорганизмов. Кроме того, сгон воды из бухты в периоды наиболее часто господствующих над её акваторией ветров северных и северо-восточных направлений приводит к блокировке загрязнённых вод в Южной бухте [4]. Это также может быть причиной роста численности бактерий.

Аналогичная многолетняя динамика численности бактериопланктона отмечена также у побережья Болгарии и в северо-западной и северо-восточной частях Чёрного моря: стремительное нарастание содержания бактерий с конца 1960-х до начала 1980-х; высокие и

сильно вариабельные величины $N_{cp./год}$ в последующий 20-летний период; уменьшение общей численности бактерий в начале 2000-х годов по сравнению с предыдущим десятилетием [19, 20, 26]. Снижение численности бактериопланктона в последнее десятилетие, по мнению авторов, связано с уменьшением концентрации легкоусвояемой фракции ОВ при снижении интенсивности развития фитопланктона.

Закключение. В динамике численности бактериопланктона Севастопольской бухты выявлены три периода: 1) С 1966 по 1988 гг., когда наблюдалась тенденция роста численности бактериопланктона, которая за данный период увеличилась почти в 4.7 раза. 2) Для 1992 – 2003 гг. была характерна высокая вариабельность среднегодовой численности и амплитуды её колебаний, что может определяться изменением уровня антропогенной нагрузки, вариабельностью гидрометеорологических условий и биотических факторов среды. Возможно, это был период разбалансировки экосистемы Севастопольской бухты, которая носила

временный характер. 3) В последующие 2004 – 2007 гг. снизились не только средние показатели N , но и размах их колебаний, что может объясняться снижением уровня антропогенной нагрузки на акваторию бухты, а также особенностями климатических условий в этот период. Цикличность в динамике численности бактериопланктона может свидетельствовать о том, что экологическая ёмкость бухты имеет определённый запас, и экосистема способна к ста-

билизации. Если антропопрессия не будет возрастать, можно ожидать, что тенденция стабилизации численности и функционирования бактериопланктона сохранится в ближайшие несколько лет. Это будет одним из показателей стабильного состояния экосистемы.

Благодарности. Автор признателен В.А. Пономаренко за предоставленные материалы 1992 г., д.б.н. Г.Н. Олейник и к.б.н. В.С. Муханову за консультативную помощь при интерпретации данных.

1. Брок Т. Мембранная фильтрация. – М.: Мир, 1987. – 464 с.
2. Бульон В. В. Структура и функция микробной «петли» в планктоне озёрных систем // Биология внутренних вод. – 2002. – № 2. – С. 5 – 14.
3. Горбенко Ю. А. Экология морских перифитонных организмов. – К.: Наук. думка, 1977. – 252 с.
4. Ежегодник качества морских вод (Черное море). – Севастополь: СО ГОИН, 1991 – 1992. – 1. – 112 с., 2. – 298 с.; 1992 – 1993. – 359 с.; 1993 – 1994. – 1. – 116 с., 2. – 240 с.; 1994 – 1995. – 332 с., 1995 – 1996. – 1. – 58 с., 2. – 246 с.
5. Иванов В. А., Овсяный Е. И., Репетин Л. Н. и др. Гидролого-гидрохимический режим Севастопольской бухты и его изменения под воздействием климатических и антропогенных факторов – Севастополь, 2006. – 91 с. – (Препринт / МГИ НАН Украины).
6. Ковалёв А. В., Губанова А. Д. Многолетняя динамика планктона Севастопольской бухты // Исследования шельфовой зоны Азово-Черноморского бассейна: Сб. научн. тр. – Севастополь: МГИ НАНУ, 1995. – С. 96 – 99.
7. Копылов А. И., Сорокин П. Ю. К оценке концентрации бактериопланктона в прибрежных водах Чёрного моря // Микробиология. – 1988. – 57, № 5. – С. 890 – 892.
8. Лебедева М. Н., Шумакова Г. В. К вопросу о достоверности данных, полученных методом прямого учёта бактерий на фильтрах // Микробиология. – 1969. – 38, 2. – С. 351 – 357.
9. Лопухина О. А. Определение доли жизнеспособных клеток в бактериопланктоне Севастопольской бухты с помощью флуоресцентного маркера // Понт Эвксинский V: Тез. V междунар. научно-практ. конф. молодых учёных по проблемам водных экосистем (Севастополь, 24 – 27 сент., 2007). – Севастополь, 2007. – С. 53 – 54.
10. Миронов О. Г., Кирюхина Л. Н., Алёмов С. В. Санитарно-биологические аспекты экологии Севастопольских бухт. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003. – 185 с.
11. Мицкевич И. Н., Сажин А. Ф. Сравнительные определения численности бактериопланктона методом Разумова и с помощью эпифлуоресцентной микроскопии // Структура и продукционные характеристики планктонных сообществ Чёрного моря. – М., 1989. – С. 117 – 122.
12. Мошарова И. В., Сажин А. Ф. Бактериопланктон северо-восточной части Чёрного моря в летний и осенний периоды 2005 г. // Океанология. – 2007. – 47, № 5. – С. 720 – 728.
13. Олейник Г. Н. Бактериопланктон и бактериобентос в экотонных системах // Гидробиол. журн. – 1997. – 33, № 1. – С. 51 – 63.
14. Павлова Е. В., Овсяный Е. И., Гордина А. Д. и др. Современное состояние и тенденции изменения экосистемы Севастопольской бухты // Акватория и берега Севастополя: экосистемные процессы и услуги обществу. – Севастополь, 1999. – С. 70 – 94
15. Родина А. Г. Методы водной микробиологии (практическое руководство). – М.: Наука, 1965. – 364 с.
16. Романенко В. И. Микробиологические процессы продукции и деструкции органического вещества во внутренних водоемах. – Л.: Наука, 1985. – 294 с.
17. Рылькова О. А., Поликарпов И. Г., Сабурова М. А. Оценка сопоставимости двух методов количественного учёта морского гетеротрофного бактериопланктона // Экология моря. – 2003. – Вып. 64. – С. 109 – 115.
18. Сенчикина Л. Г., Кузьменко Л. В. Фитопланктона Чёрного моря весной 1992 г.: особенности развития в шельфовых и глубоководных акваториях моря. – Киев, 1993. – 24 с. – Деп. ВИНТИ 02.02.95, № 311-B95.
19. Теплинская Н. Г., Ковалёва Н. В. Бактерии пелагиали и бентали // Северо-западная часть Чёрного моря: биология и экология. – К., 2006. – С. 146 – 174.

20. Толоконникова Л. И., Студеникина Е. М. Бактериопланктон северо-восточной части Чёрного моря // Основные проблемы рыбного хозяйства и охраны рыбохозяйственных водоемов Азово-Черноморского бассейна : сборник научных трудов (1998 – 1999 гг.). – Ростов-на-Дону, 2000. – С. 27 – 39.
21. Хоролит Н. Г. Расчет водообмена мелководного залива (бухты) с морем // Труды ГОИН. – 1986. – № 168. – С. 113 – 118.
22. Чепурнова Э. А., Шумакова Г. В., Гутвейб Л. Г. Бактериопланктон // Планктон Чёрного моря. – К., 1993. – С. 110 – 142.
23. Шумакова Г. В. Сезонная динамика общей численности бактерий, биомассы и продукции бактериопланктона в Севастопольской бухте // Экология моря. – 1980. – Вып. 1. – С. 28. – 33.
24. Hobbie J. E., Daley R. J., Jasper S. Use of Nucleopore filters for counting bacteria by fluorescence microscopy // Appl. Environ. Microbiol. – 1977. – 33, 5. – P. 1296 – 1307.
25. Kirchman D. L. New light on an important microbe in the ocean // Proc. Nat. Acad. Sci. – 2008. – 105, №. 25. – P. 8487 – 8488.
26. Kovaleva N. V., Medinets S. V., Konareva O. P., Medinets V. I. Long-term changes of bacterioplankton and of chlorophyll «a» as indicators of north-western part of the Black Sea ecosystem changes last 30 years // Climate change in the Black Sea – hypothesis, observations, trends, scenarios and mitigation strategy for the ecosystem : Collected reprints : 2nd Biannual and Black sea Scene EC project Joint conference (6 – 9 Oct., 2008, Sofia, Bulgaria). – Sofia, 2008. – P. 136 – 142.
27. Oguz T., Dippner J. W., Kaymaz Z. Climatic regulation of the Black Sea hydro-meteorological and ecological properties at inter-annual-to-decadal time scales // J. Mar. Systems. – 2006. – 60, 3 – 4. – P. 235 – 254.

*Поступила 23 апреля 2012 г.
После доработки 17 ноября 2012 г.*

Багаторічні зміни чисельності бактериопланктону в прибережжі Севастополя (Чорне море). О. О. Рилькова. На підставі власних і літературних даних проаналізована динаміка загальної чисельності бактерій в акваторії Севастопольської бухти в період 1966 – 2007 рр. Діапазон коливань склав 0.7 – 8.1 млн.кл.·мл⁻¹. Виділено три періоди динаміки чисельності бактерій: з 1966 по 1988 рр. спостерігалася тенденція зростання чисельності бактериопланктону, у 1992 – 2003 рр. – її висока варіабельність, у 2004 – 2007 рр. – стійке зниження чисельності бактерій до величин, що спостерігалися в кінці 1970-х і початку 1980-х років. Зазначена циклічність свідчить про велику екологічну ємність бухти і здатність її екосистеми до стабілізації та відновлення при зниженні антропогенного навантаження.

Ключові слова: бактериопланктон, багаторічна динаміка, Севастопольська бухта, Чорне море

Long-term changes of the bacterioplankton abundance in the coastal zone of Sevastopol (Black Sea). O. A. Rylkova. The dynamics of total numbers of bacteria have been analyzed in the waters of Sevastopol Bay from 1966 to 2007 on the basis of own and literary data. The values ranged between 0.7 and 8.1 × 10⁶ cells·ml⁻¹. Three distinct periods were recognized in the bacterial dynamics: increase in the bacterioplankton numbers from 1966 to 1988; their high variability in 1992 to 2003; their gradual in 2004 – 2007 down to the values observed in late 1970s and early 1980s. The revealed cyclic indicates a high ecological capacity of the Bay and its capability for stabilization and recovery as a result of reducing anthropogenic pressure.

Key words: bacterioplankton, long-term dynamics, Sevastopol Bay, Black Sea