

**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ ЮЖНЫХ МОРЕЙ
им. А.О. КОВАЛЕВСКОГО**

**РЫЛЬКОВА
Ольга Александровна**



УДК 579:574 583(262.5)

**СТРУКТУРНЫЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ
БАКТЕРИОПЛАНКТОНА В ПРИБРЕЖНЫХ ВОДАХ КРЫМА**

03.00.17 – гидробиология

**Автореферат
диссертации на соискание научной степени
кандидата биологических наук**

Севастополь – 2010

Диссертация является рукописью

Работа выполнена в Институте биологии южных морей
им. А.О. Ковалевского НАН Украины, г. Севастополь

Научный руководитель: доктор биологических наук, профессор,
Ковалев Александр Васильевич,
Институт биологии южных морей НАН Украины

Официальные оппоненты: доктор биологических наук, профессор,
зав. отделом морской санитарной гидробиологии
Миронов Олег Глебович
Институт биологии южных морей НАН Украины

доктор биологических наук,
старший научный сотрудник
Олейник Галина Николаевна,
Институт гидробиологии НАН Украины

Защита диссертации состоится «15» декабря 2010 г. в «14» часов на заседании
специализированного ученого совета Д 50.214.01 при Институте биологии юж-
ных морей НАН Украины по адресу: 99011, г. Севастополь, пр. Нахимова, 2

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института биологии южных
морей, 2

И. Рябушко

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Известно, что сообщество бактериопланктона определяет формирование значительной части вторичной продукции, а также процессы минерализации новообразованного органического вещества в морях и океанах (Сорокин, 1982; Олейник, 1997; Садчиков, 2001; Бульон, 2002; Ducklow, 2000; Kirchman, 2008). Поэтому данные о численности и физиологической активности бактерий исключительно важны для понимания процессов переноса вещества и потока энергии в любой водной экосистеме, в том числе и Черном море, прогнозирования путей её развития (Morgan et.al., 2006; Church, 2008).

В последние десятилетия в экосистеме Черного моря произошли существенные изменения, связанные с эвтрофикацией его отдельных районов, воздействием видов-вселенцев на пелагические и донные биоценозы, флуктуацией климатических условий (Мошарова, Сажин, 2007; Oguz et.al., 2006). Все это не могло не отразиться на сообществе бактериопланктона, которое одним из первых реагирует на любые изменения в окружающей среде. К сожалению, с 1990-х годов в Черном море микробиологические исследования проводились крайне редко.

В предлагаемой диссертационной работе проанализированы динамика и закономерности развития сообщества бактериопланктона в прибрежных водах Крыма (Черное море) в период 1992 – 2007 гг. В качестве исследовательского полигона для многолетнего мониторинга количественных и функциональных показателей бактериопланктона была выбрана акватория Севастопольской бухты (юго-западная оконечность Крымского п-ова).

Связь работы с научными программами, планами, темами. Диссертационная работа выполнена в отделе планктона ИнБЮМ НАН Украины в рамках бюджетных тем «Исследования многолетней изменчивости структурно-функциональной организации сообществ планктона Черного и Азовского морей» (государственный регистрационный номер 0196U022099, 1996 – 1998 гг.), «Структурно-функциональные основы биоразнообразия морских сообществ» (государственный регистрационный номер 0199U001388, 1999 – 2002 гг.), «Исследование факторов поддержания устойчивости морских экосистем» (государственный регистрационный номер 0103U001048, 2003– 2007 гг.), «Разработка научных основ, методов и технологий сохранения и восстановления биоразнообразия морских экосистем» (государственный регистрационный номер 0106U012579, 2007 – 2011 гг.), международных проектов ИНТАС (INTAS) №№ 96-1961, 03-51-6196 (1998 – 2006 гг.). В перечисленных темах и проектах соискатель участвовала как исполнитель разделов.

Цель и задачи исследования: изучить и проанализировать структурные и функциональные характеристики сообщества бактериопланктона у черноморского побережья Крыма. Поставленная цель определила следующие задачи исследования:

1. Оценить обилие бактериопланктона, а также характер его пространственной и временной динамики в прибрежных водах Крыма.
2. Провести сравнительную оценку традиционных и современных методов определения количественных показателей бактериопланктона.
3. Используя в качестве модельного полигона акваторию Севастопольской бухты, в которой в течение многих лет проводились круглогодичные микробиологические исследования, выявить особенности сезонной динамики и пространственного распределения численности, продукции, интенсивности дыхания бактерий, а также их выедания простейшими и зоопланктоном.
4. Оценить роль основных гидрологических и гидрохимических показателей, уровня развития фитопланктона и бактериотрофов в изменении структурных и функциональных показателей бактериального сообщества в прибрежных водах Крыма.
5. Оценить вклад различных размерных групп микрогетеротрофов в суммарную биомассу сообщества микропланктона Севастопольской бухты.
6. Определить долговременную (с середины 1960-х гг.) динамику сообщества бактериопланктона Севастопольской бухты и составить прогноз его дальнейшего развития.

Объект исследования – бактериопланктон прибрежных вод Крыма, включая Севастопольскую бухту.

Предмет исследования – структурные и функциональные характеристики сообщества бактериопланктона, их пространственно-временная изменчивость, связь с биотическими и абиотическими факторами, зависимости между основными функциональными характеристиками бактериопланктона.

Методы исследований. Оценку структурных параметров бактериопланктона проводили с помощью световой и люминесцентной микроскопии, с использованием соответствующих красителей; для определения функциональной активности бактерий использовали метод «изолированных» проб воды; методы математической статистики.

Источники данных – в основу работы положены материалы, собранные в 5 научных экспедициях по Черному морю (1992 – 1999 гг.) и в акватории Севастопольской бухты (1992 – 2007 гг.). Использованы литературные и неопубликованные данные лаборатории микропланктона ИнБЮМ НАН Украины по структурно-функциональным характеристикам бактериопланктона; а также гидролого-гидрохимические и гидробиологические данные (ИнБЮМ НАНУ и МГИ НАНУ), полученные при работе по проектам ИНТАС (INTAS) №№ 96-1961, 03-51-6196.

Научная новизна полученных результатов. Получены новые данные о сезонных и многолетних изменениях структуры (численность, биомасса, размеры клеток) и функциональной активности (продукция, дыхание, элиминация) сооб-

щества бактериопланктона в водах у черноморского побережья Крыма, дана характеристика закономерностей его развития в различных районах исследований. Расчет поправочного коэффициента для определения численности бактериопланктона при различных методах окраски его препаратов позволили сопоставить данные многолетних микробиологических исследований и проанализировать современные тенденции изменений численности бактерий в Севастопольской бухте. Впервые определена биомасса различных размерных групп микрореготрофов и рассчитан их вклад в суммарную биомассу сообщества микрорепланктона Севастопольской бухты; выявлены зависимости между численностью (биомассой) бактериопланктона и/или уровнем развития фитопланктона, консументов, гидрологических и гидрохимическими условиями; установлена связь между биомассой и удельной скоростью роста бактериальных клеток; дыханием и продукцией сообщества бактериопланктона; эффективностью роста бактерий и их продукцией.

Практическое значение полученных результатов. Данные о структурно-функциональной организации сообщества бактериопланктона могут быть положены в основу краткосрочных прогнозов состояния экосистемы Севастопольской бухты, использованы при разработке и верификации математических моделей функционирования прибрежных экосистем. Для оптимизации экологического мониторинга и полноценного анализа изменений, происходящих в экосистеме, рекомендовано осуществлять не только количественный учет бактерий, но и определять показатели функциональной активности бактериопланктона.

Личный вклад соискателя. Диссертант принимала непосредственное участие в сборе проб и обработке материала. Автором осуществлялись постановка научных задач, методические разработки и проведение лабораторных экспериментов. Лично обработано 486 проб, поставлено 86 опытов по продукции и выеданию бактерий, 62 опыта по дыханию и деструкции ОВ бактериопланктоном, 48 экспериментов по деструкции ОВ планктоном, в 440 пробах воды определено содержание кислорода, подготовлено для микроскопии и обработано 966 препаратов бактериопланктона.

Апробация работы. Материалы диссертации докладывались на отечественных и международных конференциях: конференции молодых ученых «Понт Эвксинский 2000» (Севастополь, 16-18 мая 2000 г.); International INTAS Calorimetry Conference (Moscow, 20-24 January, 2000); конференции молодых ученых «Понт Эвксинский II»: «Проблемы экологии азово-черноморского бассейна: современное состояние и прогноз (Севастополь, 18-20 сентября 2001 г.); конференции молодых ученых «Понт Эвксинский III» (Севастополь, 27-30 мая 2003 г.); конференции молодых ученых «Понт Эвксинский IV» (Севастополь, 24-27 мая 2005 г.); конференции молодых ученых «Понт Эвксинский V» (Севастополь, 24-27 сентября 2007 г.); международной конференции «Aquatic ecology

at the dawn of XXI century" (St.-Petersburg 3-7 October 2005); международной научной конференции, посвященной 135-летию ИнБЮМ (Севастополь, 19-21 сентября 2006 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 19 научных работ (2 без соавторов), в том числе 8 статей (из них 6 статей – в изданиях, рекомендованных ВАК Украины), 11 тезисов докладов в материалах международных и отечественных конференций. В работах, опубликованных в соавторстве, личным вкладом соискателя являлось непосредственное участие в отборе и обработке проб, анализе данных по структурно-функциональным показателям бактериопланктона. Анализ и интерпретация полученных результатов были выполнены с соавторами на паритетных началах. Вклад соавторов: В. С. Муханов, И. Г. Поликарпов, А. С. Лопухин, И. В. Сысоева – консультирование в постановке научных задач; Н. А. Гаврилова, В. В. Губанов, Л. А. Манжос, Ю. В. Брянцева, О. А. Лопухина – обработка проб по различным группам микропланктона. Остальные соавторы внесли в опубликованные работы консультативный или технический вклад. При написании диссертации права соавторов публикаций не нарушены.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 6 разделов, выводов и списка использованных источников (170 отечественных изданий и 81 иностранных). Работа изложена на 157 страницах машинописного текста, иллюстрирована 11 таблицами и 29 рисунками.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

Обзор литературы (раздел 1). В разделе рассмотрены структурные и функциональные показатели состояния сообщества бактериопланктона, способы их оценки, а также факторы, контролирующие бактериальный рост *in situ*. Приводится ретроспективный анализ результатов микробиологических исследований в Черном море и в Севастопольской бухте, рассмотрены сезонные изменения распределения и активности бактериопланктона в различных районах Черного моря. Особое внимание уделяется структуре и функционированию сообщества бактериопланктона Черного моря за последние 50 лет, а также проблеме сопоставимости данных, полученных разными методами.

Материал и методы исследования (раздел 2). В основу работы положены материалы по определению численности и функциональной активности бактериопланктона, полученные в ходе 5 научных экспедиций по Чёрному морю в период с 1992 по 1999 гг., а также результаты многолетних наблюдений, выполненных на пяти станциях модельного полигона в акватории Севастопольской бухты и прилегающей области моря (рис. 1) с января 1992 г. по декабрь 2007 г. Гидролого-гидрохимические данные предоставлены к.х.н. А. С. Романовым; материалы по фито-, микрозоо- и нанопланктону – к.б.н. Ю. В. Брянцевой, Л.А. Манжос; Н. А. Гавриловой и В. В. Губановым; многомерный анализ проведен к.б.н.



Рис. 1. Схема расположения станций отбора проб в акватории Севастопольской бухты в период 1992 – 2007 гг.

бухты получен коэффициент пересчета величин численности бактерий при окраске клеток эритрозином ($N_Э$) и акридином оранжевым ($N_{АО}$): $N_{АО} = N_Э / 1,92$, что связано с наличием в пробах мёртвых бактерий, а также большого количества взвеси. Коэффициент применяли для материалов 1992 г., полученных В.А. Пономаренко с помощью фильтров 0,2 – 0,3 мкм. Биомассу (B) рассчитывали, измеряя окрашенные АО бактерии, принимая содержание углерода в одной клетке равным 11% (Троицкий, Сорокин, 1967), а удельный вес бактерий – равным 1,06 (Романенко, Добрынин, 1972); а также независимо от размеров, принимая среднее содержание углерода на клетку равным 20 фг ($20 \cdot 10^{-15}$ гС·кл.⁻¹) (Lee, Furman, 1987). Сравнение этих методических подходов показало отсутствие достоверной разницы между двумя способами оценки биомассы бактерий.

Суточную, удельную продукцию и величину элиминации бактерий определяли по изменению количества бактерий в склянках с фильтрованной и нефилтрованной водой (Иванов, 1955; Гак, 1975). Интенсивность дыхания бактерий определяли по потреблению кислорода методом Винклера в склянках с фильтрованной водой (Винберг, 1946). Бактериальную деструкцию рассчитывали по убыли содержания кислорода в склянках с фильтрованной водой. Для пересчета на углерод использовали коэффициент В. И. Романенко (1967). Деструкцию органического вещества (ОВ) планктонным сообществом определяли по потреблению кислорода в темных склянках с нефилтрованной водой (Кузнецов, Дубинина, 1989). Для приведения полученных в опыте скоростей бактериальных процессов к температуре *in situ* использовали температурный коэффициент $Q_{10}=2,5$.

Численность и биомасса бактериопланктона в водах у черноморского побережья Крыма (1992–2007 гг.) (раздел 3). Бактериопланктон в открытых водах (весенне-летний период). Общая численность бактерий (N) в поверхностном

В. П. Парчевским в рамках работы по проекту ИНТАС № 96-1961. Пробы по бактериопланктону за 1992 г. обработаны В.А. Пономаренко.

Численность микроорганизмов (N) определяли с помощью световой и эпифлуоресцентной микроскопии после их окраски, соответственно, эритрозином и акридином оранжевым (АО) (Разумов, 1932; Hobbie, Daley, Jasper, 1977). Для Севастопольской

слое прибрежных вод Крыма и прилегающей области моря весной (апрель 1999 г.) изменялась от 0,4 до 1,2 млн.кл.·мл⁻¹ ($0,9 \pm 0,2$ млн.кл.·мл⁻¹; здесь и далее 95% дов. инт). У юго-восточного побережья Крыма максимальные величины данного параметра зарегистрированы на мелководье, минимальные – у края шельфовой зоны, что можно объяснить затоком и распространением вдоль берега распределенных азовоморских вод, которые содержат значительные количества органического вещества (ОВ) и микрофлоры аллохтонного происхождения. В районах Черного моря, прилегающих к южному и юго-западному берегу Крыма, общая численность бактерий в этот период увеличивалась в направлении от берега к открытой части моря, в соответствии с изменением биомассы фитопланктона. В начале лета (июнь, 1998 г.) численность бактериопланктона в поверхностном слое изменялась от 0,6 до 0,8 млн.кл.·мл⁻¹ ($0,7 \pm 0,2$ млн.кл.·мл⁻¹) и была обусловлена невысоким уровнем развития фитопланктона в данном районе моря, характерным для малопродуктивных годов. В периоды обильного развития фитопланктона (июль 1992 г.) численность бактерий составляла от 1,5 до 4,2 млн.кл.·мл⁻¹ (в среднем $3,3 \pm 1,8$ млн.кл.·мл⁻¹) (рис. 2, А).

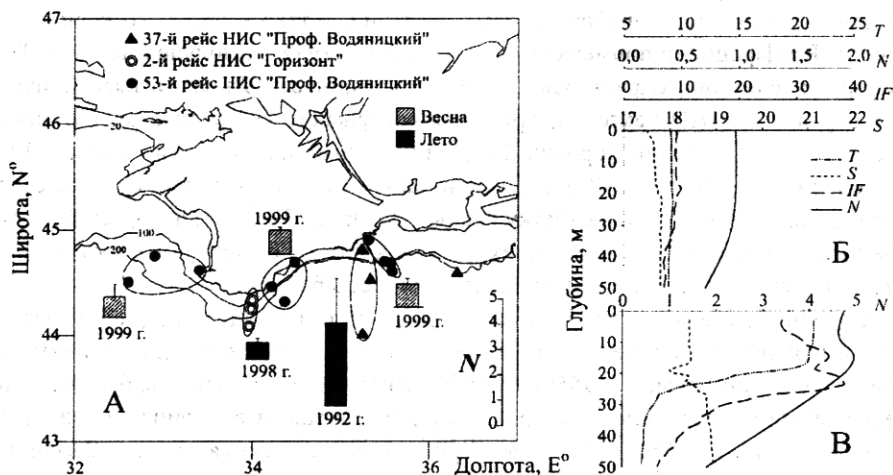


Рис. 2. Численность бактериопланктона (N , млн.кл.·мл⁻¹) в водах у черноморского побережья Крыма в весенне-летний периоды года: А – распределение в поверхностном слое; Б – вертикальное распределение численности бактерий и гидрологических показателей (T , °C; S , ‰; IF , отн. ед.) весной в центральной части (ст. 5489, глубина 83 м); В – летом в юго-восточной части моря (ст. 5043, глубина 80 м)

Вертикальное распределение численности бактериопланктона определялось особенностями гидрологической структуры вод в период исследований. Весной, на начальном этапе формирования сезонного термоклина, распределение бактерий до глубины 30-ти метров чаще всего было равномерным (см. рис. 2, Б). В отдельных случаях (у юго-восточного побережья) на глубине 10–25 м наблюдалось

увеличение численности бактерий (до 1,5 раз) по сравнению с поверхностным слоем воды.

Летом от поверхности вплоть до нижней границы термоклина количество бактериопланктона оставалось практически постоянным и резко уменьшалось сразу под слоем с максимальными значениями температурного градиента, располагавшегося в среднем на глубине 20 – 25 м (см. рис. 2, В).

Для определения факторов, контролирующих вертикальное распределение численности бактерий, были проанализированы зависимости между N и температурой воды (T), а также между показателем N и интенсивностью флуоресценции хлорофилла (IF). Весной, в отсутствие выраженного термоклина, связь между этими параметрами не прослеживалась. Ранним летом наблюдалась достоверная положительная зависимость между N и T ($r^2 = 0,48$; $n = 21$). В середине лета высокая температура воды, выраженная температурная стратификация и активное развитие фитопланктона создавали благоприятные условия для роста бактериопланктона. Зависимость между N vs. T и N vs. IF : $r^2 = 0,80$ и $r^2 = 0,56$; при $n=14$ соответственно.

Бактериопланктон в Севастопольской бухте. В подразделе рассмотрены гидрометеорологический режим, гидрохимические характеристики, динамика качества вод Севастопольской бухты.

За весь период исследований численность бактерий в Севастопольской бухте варьировала от 0,2 до 10,5 млн. кл.·мл⁻¹; биомасса – от 2,2 до 201 мгС·м⁻³. В кутовых частях (ст. 4, 5) эти величины были выше и отличались большей вариабельностью. В 78% случаев максимальные значения N и B бактериопланктона наблюдали в летне-осенний период, минимальные – зимой (67%) и весной (30%). В 1992, 2003 и 2004 гг. разница между величинами N в холодный и теплый периоды года составляла 1,3 – 1,9 раз. Более выраженные колебания содержания бактерий в течение годового цикла (в 1,9 – 4,4 раза) наблюдали в 1998, 1999, 2002 гг. что, возможно, было связано с различными гидрометеорологическими условиями. В течение всего периода исследований в середине лета наблюдали снижение N бактериопланктона, связанное, по-видимому, с массовым развитием простейших и зоопланктона, контролирующих обилие бактерий.

Морфологическая структура бактериопланктона бухты (по данным 2004 – 2005 гг.) характеризуется доминированием мелких кокков (69–96%), объем которых составлял от 0,02 до 0,27 мкм³; палочки объемом 0,20 – 1,65 мкм³ встречались реже, их доля в суммарной биомассе варьировала от 3 до 85 %, а в общей численности бактерий – 1– 32 %. Среднегодовые значения объемов клеток для всех станций изменялись от 0,16 до 0,20 мкм³. Диапазоны изменения структурных показателей сообщества бактериопланктона в Севастопольской бухте были типичными для прибрежных районов Черного моря.

4. Связь количественных показателей развития сообщества бактериопланктона в Севастопольской бухте с факторами среды (раздел 4). Факторы, влияющие на развитие бактериопланктона Севастопольской бухты. Структурно-функциональные показатели бактериопланктона Севастопольской бухты тесно связаны с ресурсами для роста бактериальных клеток (концентрацией в воде ОВ и биогенных элементов) и элиминацией бактерий в результате их лизиса и выедания консументами. Природные и антропогенные факторы: температурный режим вод бухты, режим ветров, характер водообмена; техногенное загрязнение и аварийные сбросы воды из Чернореченского водохранилища, приводящие к распреснению вод бухты, во многом определяют гидрохимический режим Севастопольской бухты, сезонную, многолетнюю динамику и пространственное распределение в ней гидробионтов, в том числе и бактериопланктона.

Зависимость между развитием морских бактерий и фитопланктоном. Содержание в воде органического вещества напрямую зависит от уровня развития «первичных продуцентов», т.е. фитопланктона. Характер взаимоотношений между бактериями и водорослями сложен и неоднозначен. Важную роль играют как трофические связи, так и антибиотическая активность водорослей; в то же время и бактерии могут ингибировать развитие микроводорослей; установлено, что между фито- и бактериопланктоном имеет место конкуренция за биогенные элементы, минеральный фосфор и азот (Чепурнова, 1977; Brett et al., 1999; Rejas et. al., 2005 и др.). При анализе данных 1998 – 2007 гг. нами установлено, что сезонные изменения биомассы фито- и бактериопланктона происходили в противофазе: весной и летом отмечено снижение биомассы бактериопланктона во время активной вегетации фитопланктона и ее прирост при уменьшении биомассы фитопланктона – вероятно, за счет использования продуктов разложения водорослей.

Роль бактериопланктона в формировании структуры микрогетеротрофного сообщества. Суммарная биомасса гетеротрофного микропланктона в исследуемый период изменялась на два порядка величин – от 57 до 2366 мг·м⁻³, ее максимальные значения были связаны с массовым развитием микрозоо- (МЗП) или нанопланктона (НП) в весенний период. Среднегодовые значения суммарной биомассы всех микрогетеротрофов, МЗП и пико- или бактериопланктона (ПП) в бухте в 2004 и 2005 гг. достоверно не отличались. Среднегодовая биомасса нанопланктона в 2005 г. была достоверно в 4 раза ниже (рис. 4.5 А, Б). В периоды массового развития НП (как в 2004 г.) биомасса бактерий была сравнительно невысокой, её вклад в суммарную биомассу микрогетеротрофов составлял 45%. При небольшой численности НП (в 2005 г.) бактериопланктон составлял 65% суммарной биомассы микропланктона. Доля МЗП от года к году была постоянной – 27 % (рис. 3, А, Б). В течение всего периода исследований биомасса бактериопланктона превосходила биомассу НП в среднем в 8 раз, что свидетельство-

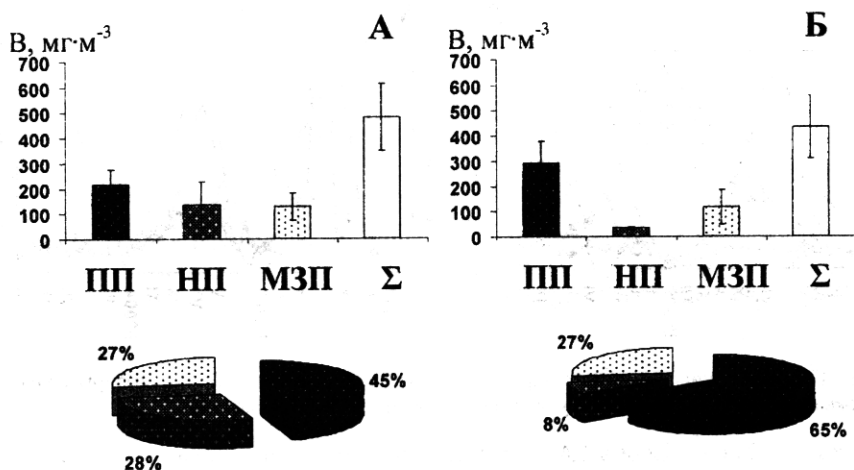


Рис. 3. Среднегодовые величины биомассы (B , $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$) различных групп микропланктона и их процентное соотношение в суммарной биомассе (Σ) сообщества микрогетеротрофов в Севастопольской бухте: А – 2004 г.; Б – 2005 г.

вало об отсутствии трофической напряженности внутри микрогетеротрофного сообщества. Выявлена отрицательная зависимость между численностью нано-и/или микрозоопланктона и обилием бактерий на всех станциях в 2004 г. и между МЗП и ПП в 2005 гг. что, по-видимому, свидетельствует о наличии прямых трофических связей по типу «хищник-жертва» и подтверждает значимость прессы выедания в регулировании численности бактериопланктона.

Зависимость между развитием морских бактерий и особенностями гидрометеорологического режима в Севастопольской бухте. Для выяснения связи между абиотическими факторами среды и обилием бактериопланктона в 1998 – 2004 гг. в бухте проводились ежемесячные съемки гидролого-гидрохимических и биологических показателей.

Установлено, что высокая температура воды на фоне безветренных погод вызывает вспышку развития бактерий, однако процессы адвекции чистых более соленых морских вод в бухту, в целом, могут улучшить экологическую ситуацию в ней (как произошло в 1999 и 2004 гг.). Приток в бухту пресных вод, с которыми поступают аллохтонные ОВ и микрофлора, способствуют бурному развитию бактериопланктона (что и наблюдалось при аварийном сбросе вод из Чернореченского водохранилища в 1998 г., а также при необычайно обильных осадках в 2002 г.) (рис. 4).

Пространственное распределение бактериопланктона в Севастопольской бухте и влияние на него гидрометеорологического режима. Минимальные величины N бактериопланктона наблюдали в открытом прибрежье (ст. 1); на выходе

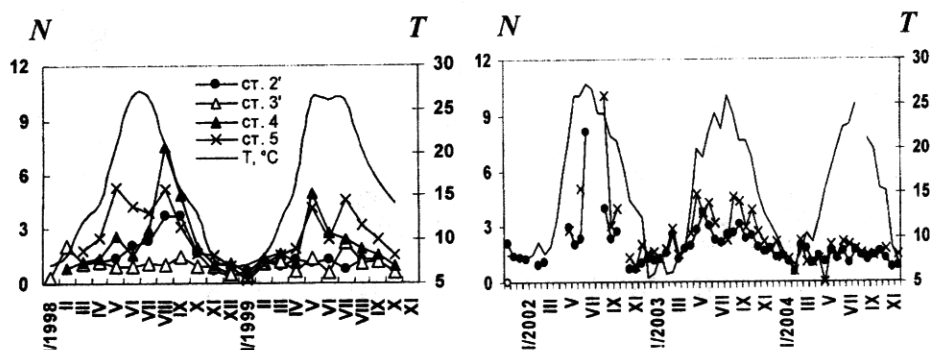


Рис. 4. Изменения численности бактериопланктона (N , млн.кл.·мл.⁻¹) и температуры воды (T , °C) в акватории Севастопольской бухты в различные периоды исследований

из бухты (ст. 2) они были в 1,4 – 1,6 раза, а в районе Инкермана (ст. 5) – в 1,7 – 2,1 раза выше, что свидетельствует об увеличении трофности акватории в этом направлении. В кутовых частях бухты, в силу затрудненного водообмена с открытым морем, антропогенное воздействие сказывается сильнее, и для развития микрофлоры создаются более благоприятные условия. Особенно выделяется район Инкермана, где с водами реки Черная в бухту поступает аллохтонное ОВ. Сгон воды из бухты в периоды господствующих над акваторией ветров северных и северо-восточных направлений приводит к блокировке загрязненных вод в

Южной бухте (ст. 4). На фоне высокой численности бактерий в кутовых участках бухты отмечается снижение их функциональной активности (см. разд. 6). Следует отметить, что начиная с 2004 года, на всех станциях в бухте обнаружена четко выраженная тенденция к снижению численности бактериопланктона (рис. 5).

Связь между биологическими переменными и

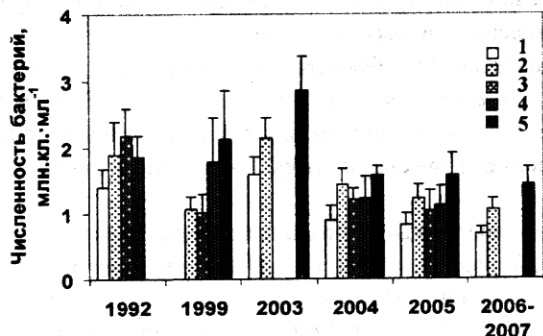


Рис. 5. Пространственное распределение бактериопланктона в акватории Севастопольской бухты. Цифрами указаны номера станций

абиотическими факторами среды в Севастопольской бухте. На основе дискриминантного анализа комплекса гидролого-гидрохимических (температура, соленость, плотность, pH, щелочность, прозрачность, содержание растворенного кислорода, PO_4^{3-} , NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , SiO_3^{2-}) и биологических (численность и биомас-

са фито- и бактериопланктона) характеристик выделено три достоверно отличающихся района бухты, в пределах которых рассматриваемые параметры с высокой степенью достоверности связаны между собой (каноническая корреляция составляет 86 % при $p < 0,001$). Это свидетельствует о том, что в участках бухты, отличающихся расстоянием от открытого моря, скоростью водообмена и степенью общей загрязненности, за счет неоднородности гидролого-гидрохимической структуры вод для гидробионтов создаются различные условия развития.

Многолетние изменения количественных показателей сообщества бактериопланктона в Севастопольской бухте (раздел 5). Сопоставление многолетних данных по общей численности бактерий требует необходимым учитывать методические подходы, которые применяли в различные периоды исследований. Установленный нами переходный коэффициент для расчета численности бактериопланктона различными методами ($N_{AO} = N_{\Sigma}/1,92$) позволил более корректно провести анализ долговременной динамики численности бактерий и выявить тенденции ее изменения в Севастопольской бухте и других прибрежных районах Черного моря.

Согласно литературным данным с 1966 по 1988 гг. среднегодовая численность бактерий в бухте увеличилась в 4,7 раза (рис. 6). Это свидетельствует о по-

вышении трофности вод, вследствие усилившейся урбанизации территории вокруг бухты и ухудшением ее водообмена после строительства заградительного мола. Для периода 1992 – 2003 гг. характерна высокая вариабельность среднегодовой численности бактерий и амплитуды ее коле-

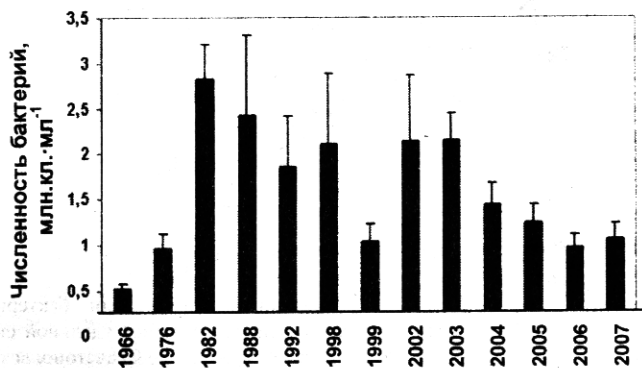


Рис. 6. Многолетняя динамика численности бактериопланктона в акватории Севастопольской бухты (ст. 2)

баний, которые определяются изменением уровня антропогенной нагрузки, вариабельностью гидрометеорологических условий и биотических факторов среды. Можно предположить, что это был период разбалансировки экосистемы. В последующие 2004 – 2007 гг. снизились не только средние показатели N бактериопланктона, но и размах их колебаний (см. рис. 6). Это может свидетельствовать о том, что экологическая емкость бухты имеет определенный запас и экосистема способна к стабилизации состояния. Если антропопрессия не будет возрас-

тать, можно ожидать, что стабилизация численности и функционирования бактериопланктона сохранится в ближайшие несколько лет, что будет одним из показателей стабильного состояния экосистемы.

Подобная тенденция в многолетней динамике численности бактериопланктона была отмечена также у побережья Болгарии и в северо-западной части Черного моря (Kovaleva et.al., 2008); снижение численности бактериопланктона в последнее десятилетие, по мнению авторов, связано с уменьшением концентрации легкоусвояемой фракции ОВ при снижении интенсивности развития фитопланктона.

Функциональная активность бактериопланктона Севастопольской бухты (раздел 6). Продукционные показатели бактериопланктона. Поскольку наиболее детально особенности структуры сообщества бактериопланктона изучены нами в Севастопольской бухте, то и исследования показателей его функциональной активности выполнены в этом регионе.

В 1992 г. среднегодовая удельная скорость роста бактериопланктона (K) в Севастопольской бухте при температуре *in situ* составляла в среднем $0,29 \pm 0,05$ сут⁻¹. Повышение величин K наблюдали в апреле, а максимальные значения были зарегистрированы в сентябре (рис. 7, А). Суточная продукция бактериопланктона

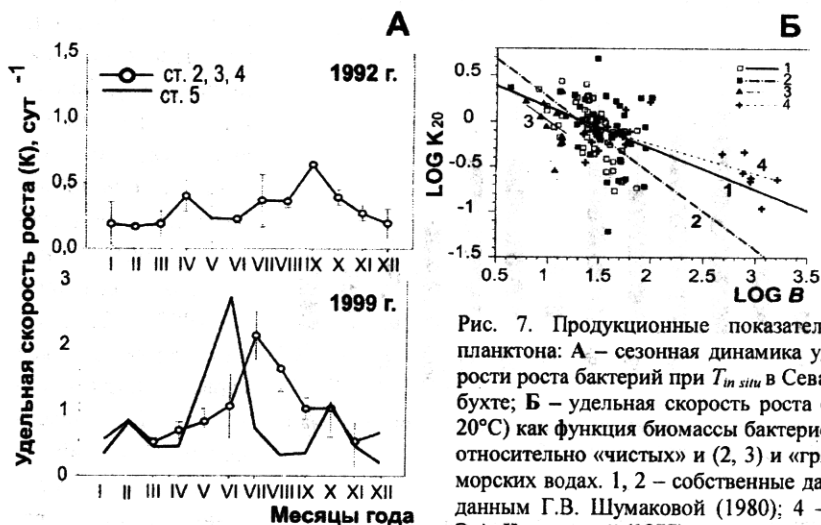


Рис. 7. Продукционные показатели бактериопланктона: А — сезонная динамика удельной скорости роста бактерий при $T_{in situ}$ в Севастопольской бухте; Б — удельная скорость роста (приведена к 20°C) как функция биомассы бактериопланктона в относительно «чистых» и (2, 3) и «грязных» (1, 4) морских водах. 1, 2 — собственные данные; 3 — по данным Г.В. Шумаковой (1980); 4 — по данным Э.А. Чепурновой (1977)

(P) в бухте изменялись от 1,5 до 45,3 мгС·м⁻³·сут⁻¹; её высокие значения наблюдали в мае и октябре. Величины K и P в водах станций, расположенных внутри бухты, достоверно не отличались. Причиной этому было активное ветровое перемешивание (Ежегодник качества., 1991 – 1992; 1992 – 1993), которое привело к выравниванию гидрохимических и биологических показателей по акватории

бухты. В открытом побережье (ст. 1) в этот период показатели K и P при температуре *in situ* были ниже, чем в бухте; разница для величин суточной продукции бактериопланктона достоверна.

В 1999 г. интенсивность размножения бактерий увеличилась в 3 раза по сравнению с началом 1990-х годов, в среднем за год $1,07 \pm 0,18 \text{ сут}^{-1}$; суточная продукция изменялась от 9,5 до $164,1 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{сут}^{-1}$. В этот год на фоне высоких температур и низких скоростей ветра наблюдалось замедление водообмена между отдельными участками бухты (Иванов и др., 2006), что способствовало высокой неоднородности пространственного распределения как гидрохимических показателей, так и численности бактериопланктона (N изменялась от 0,2 до 5,0 млн.кл. мл⁻¹). Среднегодовые величины интенсивности размножения бактерий на отдельных станциях в пределах бухты достоверно не отличались, но за счет высокой численности суточная продукция бактериопланктона в Южной бухте (ст. 4), была в 1,8 – 2,1 раза выше, чем на ст. 2 и 3.

Несмотря на отсутствие достоверной разницы среднегодовых величин удельной скорости роста бактерий, характер сезонной динамики K в районе Инкермана (ст. 5) заметно отличался от таковой в других участках Севастопольской бухты (см. рис. 7, А). Интенсивная антропогенная нагрузка за счет промышленных, сельскохозяйственных, бытовых сбросов, а также стоков реки Черная способствовала формированию в районе Инкермана сезонной экотональной зоны.

Выедание бактерий простейшими и зоопланктоном (g) в период наших исследований изменялось от 0,4 до $88,1 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{сут}^{-1}$, выедания бактериопланктона в процентном отношении (G) соответствовало 1,2 – 79 %. Показатели выедания варьировали в течение года, что, вероятно, было связано с интенсивностью развития консументов в различные периоды. Максимальные значения G соответствовали периодам высокой скорости продукции бактерий, однако достоверной корреляции между этими показателями не обнаружено.

Взаимосвязь между биомассой и скоростью размножения бактерий. Для всего массива полученных данных установлено, что удельная скорость роста бактериопланктона в Севастопольской бухте обратно пропорциональна его биомассе. Степень зависимости выражена сильнее в более чистых, открытых участках бухты (рис. 7, Б, регрессия 2, $r^2=0,4$) и менее – в загрязненных, кутовых ее районах (рис. 7, Б, регрессия 1, $r^2=0,1$). Аналогичные результаты были получены для Севастопольской бухты по данным 1976 г. (регрессия 3), для побережья Кавказа и для зоны влияния реки Дунай (регрессия 4) (рис. 7, Б). Таким образом, в загрязненных водах удельные скорости роста бактерий в меньшей степени зависят (или не зависят вовсе) от концентрации бактериальных клеток. Это, вероятно, связано, как с обилием субстратов для бактериального роста, так и с лимитированием роста сообщества – например, выеданием простейшими и зоопланктоном или лизисом в результате вирусного инфицирования. Анализ собственных и

литературных данных показал, что величины биомассы бактерий сопоставимы, однако скорость роста в наиболее подверженных загрязнению районах ниже (регрессия 4). В таких акваториях происходит нарушение сбалансированной природой биологической системы, что ведет к необратимому подавлению ее способности к восстановлению (Чепурнова, 1977; Практическая экология., 1990).

Интенсивность дыхания бактерий и бактериальная деструкция органического вещества. В Севастопольской бухте дыхание бактерий в среднем составляло $49 \pm 6,2$ % общего потребления O_2 планктонного сообщества (диапазон колебаний 7,2 – 96 %); это подтверждает существенную роль бактериопланктона в процессах деструкции ОБ.

Удельное дыхание бактерий (R) при температуре *in situ* в Севастопольской бухте в 1992 г. в среднем составляло $0,14 \pm 0,05 \times 10^{-9} \text{ мг } O_2 \cdot \text{кл}^{-1} \cdot \text{сут}^{-1}$. Отмечены два пика повышения интенсивности дыхания бактерий, в апреле и в сентябре. Значимой разницы в среднегодовых величинах этого показателя на разных станциях не обнаружено. Вероятно, активная ветровая деятельность в этот год приводила к выравниванию по акватории бухты гидрохимических и биологических показателей. Деструкция ОБ бактериопланктоном (D) в бухте изменялась в пределах $15,3 - 441,1 \text{ мг } C \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{сут}^{-1}$; высокие величины D отмечены в мае и октябре. Повышение дыхательной активности бактерий в конце весны, вероятно, связано с высокой концентрацией органического вещества, высвободившегося после отмирания фитопланктона, а в конце лета – начале осени – как с концентрацией ОБ, так и с высокими температурами воды. Несмотря на то, что численность бактерий на всех станциях в бухте была достоверно (в 1,5 раза) выше, чем открытым побережьем (ст. 1), интенсивность их удельного дыхания в бухте была в 1,2 раза ниже. Однако за счет высокой численности уровень бактериальной деструкции ОБ в бухте в 1,7 раза превосходил величины, полученные в открытом побережье. Различия между показателями R и D (при температуре *in situ*) в бухте и на ст. 1 были статистически недостоверны из-за варибельности величин, отмечается лишь тенденция увеличения бактериальной деструкции ОБ в бухте несмотря на снижение их удельной дыхательной активности.

В 1999 г. удельное дыхание бактериопланктона составляло в среднем $0,27 \pm 0,06 \times 10^{-9} \text{ мг } O_2 \cdot \text{кл}^{-1} \cdot \text{сут}^{-1}$. Обычный для весеннего периода пик повышенных величин R отсутствовал на всех станциях, возможно, из-за недостаточного развития фитопланктона. Максимальные значения были приурочены к летнему периоду. Деструкция ОБ бактериопланктоном в бухте составляла $21,4 - 582,3 \text{ мг } C \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{сут}^{-1}$, с максимальными величинами в период с мая по июль. Как указывалось ранее, в 1999 г. водообмен между отдельными участками бухты был замедлен из-за низких скоростей ветра, что привело к неоднородности пространственного распределения величин R и D . В Южной бухте (ст. 4), особенно в летний период, интенсивность дыхания бактерий была ниже, чем на других станциях,

несмотря на их высокую численность. Это, вероятно, было связано с блокировкой распресненных и загрязненных вод в бухте и явлениями гипоксии. По уровню бактериальной деструкции ОВ выделялся район Инкермана (ст. 5), где за счет высокой численности бактерий показатель D в 1,8 раза превышал значения, зарегистрированные на выходе из бухты. Таким образом, обилие бактериопланктона не всегда сопровождается его высокой функциональной активностью, о чем свидетельствует снижение интенсивности удельного дыхания бактерий, особенно в кутовых частях бухты.

Взаимосвязь между продукцией и дыханием бактериопланктона. Между скоростью роста бактерий и интенсивностью потребления ими кислорода существует взаимосвязь, обусловленная характером их энергетического и конструктивного обмена. Зависимость между D и P сообщества бактериопланктона Севастопольской бухты имеет вид $D = 5,50 \times P^{0,51}$ ($r^2 = 0,29$, $n = 116$) и, в целом, соответствует частным и обобщенным моделям, рассчитанным для разных водных экосистем от озер и рек до океанов (Del Giorgio, Cole, 1998); регрессионные прямые представлены серым цветом (первичные данные не приводятся) (рис. 8, А). Сте-

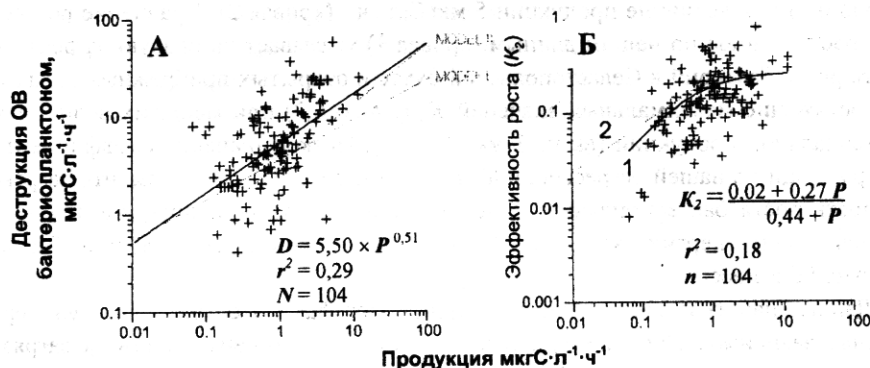


Рис. 8. Зависимости между функциональными показателями бактериопланктона: А - характер связи между деструкцией ОВ (D) сообществом бактериопланктона и его продукцией (P) для всех данных в Севастопольской бухте; Б - эффективность роста (K_2) как функция продукции сообщества. Объяснения в тексте

пенный коэффициент полученной нами регрессии (0,51) имеет величину, среднюю между коэффициентами моделей I (0,41) и II (0,61). Коэффициент детерминации нашей зависимости ниже, что связано с большей вариабельностью величин деструкции. Таким образом, модели, построенные на основании данных о конкретной экосистеме с присущими ей специфическими условиями (в нашем случае – комбинация высокого уровня загрязнения, эвтрофикации, распределения вод речным стоком, температурного режима и т.д.) могут диссонировать с универсальной моделью (см. рис. 8, А).

Зависимость между продукцией и эффективностью роста у морских бактерий. Одним из важных показателей функциональной активности бактерий является коэффициент эффективности роста (K_2) (синонимы – коэффициент эффективности биосинтеза или энергетического обмена бактерий). Он показывает, какая часть потребленной бактериями энергии используется на дыхание, а какая аккумулируется в органическом веществе бактериальной клетки, т.е. иллюстрирует соотношение между процессами анаболизма и катаболизма. В среднем K_2 в естественных средах обитания составляет около 0,33 – 0,37 (Кузнецов, Дубинина, 1989). В Севастопольской бухте в 1992, 1999 и 2000 – 2001 гг. коэффициент эффективности роста бактерий составлял 0,01 – 0,52 (среднегодовые $0,15 \pm 0,04$; $0,17 \pm 0,03$ и $0,26 \pm 0,01$, соответственно). Значительные флуктуации этого показателя во времени и пространстве, вероятно, связаны с нерегулярностью поступления в акваторию бухты загрязняющих веществ.

Характер изменения коэффициента эффективности роста K_2 при увеличении продукции бактерий описывается гиперболой (рис. 8, Б). В модели, предложенной Del Giorgio и Cole (1998), значения K_2 приближаются к своему максимуму (около 0,5) при величине продукции $5 \text{ мкгС} \cdot \text{л}^{-1} \cdot \text{ч}^{-1}$ (кривая 2). Уравнение регрессии, рассчитанное по нашим данным (кривая 1) указывает на низкую эффективность роста бактерий в Севастопольской бухте и открытых прибрежных водах и на достижение максимальных значений K_2 (около 0,2) при меньших величинах бактериальной продукции (выше $1 \text{ мкгС} \cdot \text{л}^{-1} \cdot \text{ч}^{-1}$). Низкое значение коэффициента детерминации в нашей регрессионной модели свидетельствует о том, что эффективность роста бактериопланктона не зависела от его продукции, т.е. процесс использования энергии окисления ОВ разобщен с процессом продукции бактериальной биомассы.

Данные наших исследований подтвердили тот факт, что при поиске универсальных зависимостей между P , D и K_2 следует учитывать антропогенное загрязнение как один из важнейших факторов, определяющих эти переменные.

ВЫВОДЫ

1. На основе данных многолетнего (1992 – 2007 гг.) мониторинга проанализированы динамика и закономерности развития сообщества бактериопланктона в прибрежных водах Крыма, зависимости между основными функциональными характеристиками бактерий, современные тенденции изменений численности бактерий в Севастопольской бухте.

2. Установлены поправочные коэффициенты для расчета численности бактериопланктона двумя методами окраски его препаратов (эритрозином и акридином оранжевым) в различных районах Черного моря. Это позволило выполнить корректный анализ и сравнить данные по обилию бактерий в различные годы исследований.

3. Численность бактериопланктона в поверхностном слое вод у черноморского побережья Крыма в период 1992 – 2007 гг. варьировала от 0,2 до 10,5 млн.кл.·мл⁻¹, биомасса – от 2 до 201 мгС·м⁻³. В открытых водах численность бактерий составляла в среднем $1,28 \pm 0,52$ млн.кл.·мл⁻¹; в Севастопольской бухте – $1,80 \pm 0,12$ млн.кл.·мл⁻¹. Среди бактериальных клеток доминировали кокки, которые составляли 69 – 96% от общей численности.

4. Распределение численности бактерий в поверхностном слое воды у черноморского побережья Крыма было обусловлено наличием ОВ (автохтонного или аллохтонного происхождения) и температурой воды. Вертикальное распределение бактерий в летний период было тесно связано с особенностями гидрологической структуры вод и уровнем развития фитопланктона. В начале и середине лета наблюдалась достоверная положительная зависимость между численностью бактерий и температурой воды ($r^2 = 0,48$ и $r^2 = 0,80$, соответственно); в середине лета отмечалась связь между обилием бактериопланктона и интенсивностью флуоресценции хлорофилла ($r^2 = 0,56$).

5. Максимумы численности и биомассы бактериопланктона в Севастопольской бухте, следующие за периодом массового развития фитопланктона с временным лагом около месяца, связаны с активным использованием продуктов разложения водорослей – легкодоступных субстратов для бактерий.

6. Впервые полученные для Севастопольской бухты данные о биомассе различных размерных групп микрогетеротрофного сообщества позволили рассчитать вклад бактерий в его суммарную биомассу, составляющий от 45 до 65%. На основе корреляционных зависимостей показано значение пресса бактериотрофов как регулятора численности бактериопланктона.

7. Впервые описана пространственная вариабельность обилия бактериопланктона в прибрежье Севастополя, показана связь численности бактерий с факторами среды. Установлено, что численность бактерий достоверно возрастает от открытого участка моря к загрязненному, со слабым водообменом, кутовым районам Севастопольской бухты, что свидетельствует об увеличении трофности акватории в этом направлении.

8. Анализ численности бактериопланктона в Севастопольской бухте, проведенный с использованием поправочного коэффициента, выявил увеличение обилия бактерий в период 1966 по 1988 гг., совпадающее с урбанизацией территории вокруг бухты. Высокая межгодовая и внутригодовая вариабельность численности бактериопланктона 1992 – 2003 гг. позволяет рассматривать в этот период состояние экосистемы бухты как дисбаланс происходящих в ней биологических процессов. С 2004 г. наблюдается тенденция к снижению численности бактерий в бухте и уменьшению степени ее вариабельности. Цикличность в динамике численности бактериопланктона может свидетельствовать о том, что экологическая

емкость бухты имеет определенный запас и ее экосистема способна к стабилизации при уменьшении антропопрессии.

9. Наиболее неоднородное распределение основных показателей функциональной активности бактериопланктона Севастопольской бухты выявлено в 1999 г. и было обусловлено как гидрометеорологическими условиями (высокая температура воды и слабая ветровая активность), так и уровнем развития фитопланктона.

10. Специфические условия Севастопольской бухты (комбинация высокого уровня загрязнения, эвтрофикации, распреснения вод речным стоком, температурного режима и т.д.) обуславливают характер зависимостей между структурно-функциональными показателями бактериопланктона. Обратная зависимость между удельной скоростью роста и биомассой бактерий ($r^2=0,4$) выражена сильнее в более чистых, открытых участках бухты. Коэффициент детерминации ($r^2=0,29$) положительной зависимости между продукцией бактерий и деструкцией ими органического вещества ниже, чем в обобщенных моделях, рассчитанных для водных экосистем.

11. Высокие темпы размножения бактериопланктона в Севастопольской бухте ($0,86 \pm 0,22 \text{ сут}^{-1}$), наблюдаются при небольших и переменных показателях эффективности роста сообщества ($0,19 \pm 0,05$). Эффективность роста бактериопланктона исследованных акваторий практически не зависит от его продукции. Характер связи между эффективностью роста и продукцией бактериопланктона может служить чувствительным показателем антропопрессии.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Рылькова О. А. Современное состояние бактериопланктонного сообщества Севастопольской бухты / О. А. Рылькова, О. Г. Найданова, Р. Б. Кемп // Акватория и берега Севастополя : экосистемные процессы и услуги обществу. – Севастополь, 1999. – С. 115 – 120.

2. Диссипация энергии, продуктивность и скорость оборота биомассы в сообществе бактериопланктона: сравнительные исследования двух водных экосистем / В. С. Муханов, О. А. Рылькова, О. А. Лопухина, Р. Б. Кемп // Экология моря. – 2000. – Вып. 52. – С. 12 – 17.

3. Productivity and thermodynamics of marine bacterioplankton: an inter-ecosystem comparison / V. S. Mukhanov, O. A. Rylkova, O. A. Lopukhina, R. B. Kemp // Thermochimica Acta. – 2003. – Vol. 397, iss. 1-2. – P. 31 – 35.

4. Рылькова О. А. Оценка сопоставимости двух методов количественного учета морского гетеротрофного бактериопланктона / О. А. Рылькова, И. Г. Поликарпов, М. А. Сабурова // Экология моря. – 2003. – Вып. 64. – С. 109 – 115.

5. Вклад различных групп микрогетеротрофов в суммарную биомассу микропланктона Севастопольской бухты / О. А. Лопухина, О. А. Рылькова, Н. А. Гаври-

лова, В. В. Губанов // Состояние и проблемы продукционной гидробиологии: сб. науч. работ по материалам докл. на межд. конф. «Водная экология на заре XXI века», посвящ. 100-летию со дня рожд. Г. Г. Винберга. – М., 2006. – С. 189 – 198.

6. Сезонные особенности гидролого-гидрохимической структуры вод Севастопольской бухты, микропланктон и распределение его биохимических компонент (Черное море, наблюдения 2004 – 2005 гг.) / А. С. Лопухин, Е. И. Овсяный, А. С. Романов [и др.] // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа: сб. науч. трудов. – Севастополь, 2007. – Вып. 15. – С. 74 – 109.

7. Verification of the Heterotrophic-Photoautotrophic Index in Sevastopol Bay, Black Sea / A. S. Lopukhin, J. G. Wilson, I. V. Sysoeva [et. al.] // Doklady Acad. Nauk / Earth Science Section, 2008. – Vol. 423A, no. 9 – P. 1520 – 1524.

8. Верификация гетеротрофно-автотрофного индекса в Севастопольской бухте, Черное море / А. С. Лопухин, Д. Г. Вильсон, И. В. Сысоева [и др.] // Доклады акад. наук. – 2008. – Т. 423, № 6. – С. 821 – 825.

АННОТАЦИИ

Рылькова О.А. Структурные и функциональные показатели бактериопланктона в прибрежных водах Крыма. – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата биологических наук по специальности 03.00.17 – гидробиология. – Институт биологии южных морей НАН Украины, Севастополь, 2010.

В диссертации рассмотрены современное состояние, многолетняя и сезонная динамика основных структурных (численность: $0,2 - 10,5 \times 10^6$ кл. мл⁻¹, биомасса: $2 - 201$ мгС·м⁻³, соотношение морфотипов клеток и др.) и функциональных показателей (удельная продукция: $0,04 - 2,74$ сут⁻¹, дыхание: $0,01 - 1,59 \times 10^{-9}$ мгО₂·кл.⁻¹·сут⁻¹) сообщества бактериопланктона в прибрежных водах Крыма и Севастопольской бухте в период с 1992 по 2007 гг., взаимосвязь этих показателей, их зависимость от биотических и абиотических факторов.

В соответствии с градиентами загрязненности и трофности вод численность бактерий увеличивалась, а их функциональная активность снижалась от открытых вод к кутовым частям Севастопольской бухты. Вклад бактериопланктона в общую биомассу сообщества микрогетеротрофов составлял 45 – 65%. Смертность бактерий вследствие их выедания бактериотрофами была ключевым фактором, контролирующим численность сообщества бактериопланктона. Характер изменения эффективности роста бактерий при увеличении их продукции в Севастопольской бухте свидетельствует о том, что процесс использования энергии окисления ОВ разобщен с процессом продукции бактериальной биомассы, что, в свою очередь, может служить маркером загрязнения вод.

Анализ ранее опубликованных и полученных автором данных выявил тенденцию роста численности бактериопланктона бухты с 1966 по 1988 гг., её высо-

кую варіабельність в 1992 – 2003 гг. Устойчивое снижение численности бактерий в 2004 – 2007 гг. до величин, наблюдаемых в конце 70-х и начале 80-х годов прошлого столетия, свидетельствует о большой экологической емкости бухты и способности ее экосистемы к стабилизации и восстановлению при снижении антропопрессии.

Ключевые слова: бактериопланктон, удельная скорость роста, интенсивность дыхания, продукция, деструкция, эффективность биосинтеза, Черное море, Севастопольская бухта.

Рилькова О.О. Структурні та функціональні показники бактеріопланктону у прибережних водах Криму. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата біологічних наук за спеціальністю 03.00.17 – гідробіологія. – Інститут біології південних морів НАН України, Севастополь, 2010.

У дисертації розглянуті сучасний стан, багаторічна і сезонна динаміка основних структурних (чисельність: $0,2 - 10,5 \times 10^6$ кл.·мл⁻¹, біомаса: $2 - 201$ мгС·м⁻³, співвідношення морфотипів клітин тощо) і функціональних показників (питома продукція: $0,04 - 2,74$ доб⁻¹, подих: $0,01 - 1,59 \times 10^{-9}$ мгО₂·кл.⁻¹доб⁻¹) угруповання бактеріопланктону у прибережних водах Криму та Севастопольської бухти за період з 1992 по 2007 рр., взаємозв'язок цих показників, їх залежність від біотичних і абіотичних факторів.

Відповідно з градієнтами забрудненості та трофності вод чисельність бактерій збільшувалась, а їх функціональна активність знижувалась від відкритих вод до кутових частин Севастопольської бухти. Вклад бактеріопланктону у загальну біомасу угруповання мікрогетеротрофів становив 45 – 65%. Смертність бактерій внаслідок їх виїдання бактеріотрофами була ключовим фактором, контролюючим чисельність угруповання бактеріопланктону. Характер зміни ефективності росту бактерій при збільшенні їх продукції в Севастопольській бухті свідчить про те, що процес використання енергії окислення ОР роз'єднаний з процесом продукції бактеріальної біомаси, що, у свою чергу, може служити маркером забруднення вод.

Аналіз раніше опублікованих і отриманих автором даних, виявив тенденцію зростання чисельності бактеріопланктону бухти з 1966 по 1988 рр., її високу варіабельність у 1992 – 2003 рр. Стале зниження чисельності бактерій в 2004 – 2007 рр. до величин, які спостерігались в кінці 70-х і початку 80-х років минулого століття, свідчать про велику екологічну ємність бухти і здібність її екосистеми до стабілізації і відновлення при зниженні антропопресії.

Ключові слова: бактеріопланктон, питома швидкість зростання, інтенсивність дихання, продукція, деструкція, ефективність біосинтезу, Чорне море, Севастопольська бухта.

Rylkova O.A. Structural and functional indices of bacterioplankton in coastal waters off the Crimea. – Manuscript.

Thesis for PhD degree in speciality 03.00.17 – hydrobiology. – Institute of Biology of the Southern Seas, National Academy of Sciences of Ukraine, Sevastopol, 2010.

Present state, seasonal dynamics, and the major structural (abundance: $0,2 - 10,5 \times 10^6$ cells·ml⁻¹; biomass: $2 - 201$ mg C m⁻³; ratio of the cells morphotypes etc.) and functional (specific growth rate: $0,04 - 2,74$ day⁻¹, respiration: $0,01 - 1,59 \times 10^{-9}$ mg O₂ cells⁻¹ day⁻¹) indices of bacterioplankton community in Sevastopol bay and coastal waters off the Southern Crimean are considered for the time period from 1992 to 2007. Intercorrelations between the indices and their dependence on biotic and abiotic factors were examined.

Along the gradients of water pollution, the bacterioplankton abundance increased but their functional activity decreased from the open waters to the central part of the Sevastopol bay. Bacterioplankton constituted 45 to 65% of the total biomass of heterotrophic microplankton. Mortality of the bacteria due to their grazing by bacteriovorous plankton was the key factor controlling the community abundance. The interrelation between the bacterial gross growth efficiency and production rate indicated an uncoupling between the energy-producing processes (oxidation of organic matter) and biomass production. This can serve a marker of water pollution.

Analysis of the earlier published data and those obtained in this study has revealed long-term trends in bacterioplankton dynamics in Sevastopol bay: a gradual increase from 1966 to 1988, a high variability between 1992 and 2003, and a stable decrease from 2004 to 2007 to the values observed in late 1970s – early 1980s. The latter indicates high ecological capacity of the bay and its capability for a stabilization and recovery if anthropogenic pressure is reduced.

Keywords: bacterioplankton, specific growth rate, cell-specific respiration rate, production, destruction, efficiency of biosynthesis, Black Sea, Sevastopol bay.

Автореферат
диссертации на соискание научной степени
кандидата биологических наук

Подписано в печать 01.11.2010. Формат 60×84¹/₁₆
Объем 0.9 авт.л. Заказ 41 Тираж 100 экз.

Отпечатано НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика»
99011, г. Севастополь, ул. Ленина, 28
Свидетельство о государственной регистрации
Серия ДК № 914 от 16.02.02