На правах рукописи

ЯСАКОВА
Ольга Николаевна

ФИТОПЛАНКТОН СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ

25.00.28 – океанология

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

28 НОЯ 2013

Мурманск
2013

Работа выполнена в Южном Научном Центре РАН и Институте аридных зон ЮНЦ РАН

Научный руководитель: Макаревич Павел Робертович
доктор биологических наук, профессор
Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН

Официальные оппоненты: Кренева Софья Викторовна
доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории океанографии и биологии южных морей Азовский филиал ММБИ КНЦ РАН

Суханова Ирина Николаевна
кандидат биологических наук,
ведущий научный сотрудник
лаборатории экологии планктона
Институт океанологии им. П.П.Ширшова

Ведущая организация: Мурманский государственный технический университет

Защита состоится «18» декабря 2013 г. в 13:30 часов на заседании диссертационного совета Д 002.140.01 при Мурманском Морском Биологическом Институте КНЦ РАН по адресу: 183010, Россия, Мурманск, Владимирская 17, ММБИ КНЦ РАН.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ММБИ КНЦ РАН
Автореферат разослан «16» ноября 2013 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат географических наук Е.Э. Кириллова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Планктонные водоросли являются начальным звеном трофической цепи в океане, от их качественных и количественных характеристик зависит развитие организмов других трофических уровней. Исследование фитопланктона дает возможность судить о тенденциях изменений в структуре и функционировании прибрежных экосистем. Сведения о состоянии планктонных водорослей могут быть использованы в системе экологического контроля и ранней диагностики санитарного состояния водоема (Кренева, 2002). В акваториях, подверженных антропогенному воздействию, главным образом в виде бытовых и промышленных сбросов, прослеживаются изменения качественного и количественного состава фитопланктона. Чаще всего это проявляется в «цветении» воды, вызванном интенсивным развитием отдельных видов водорослей, некоторые из которых проявляют токсичные свойства. Это снижает рекреационную ценность черноморского побережья и существенно влияет на состояние всей экосистемы в целом. В российском секторе Черного моря негативным изменениям, связанным с повышением уровня эвтрофикации, в первую очередь, подвержен фитопланктон шельфовой зоны моря, в том числе бухт, расположенных на его побережье (Техногенное загрязнение, 1996; Динамические..., 2003; Часовников и др., 2011; Зайцев, 2006). Поэтому в современный период сведения о состоянии качественных и количественных характеристик планктонных микроводорослей, развивающихся как в открытых прибрежных водах Черного моря, так и в полузамкнутых акваториях бухт портовых (Новороссийск и Туапсе) и курортных (Анапа и Геленджик) городов представляют определенный интерес.

Степень ее разработанности. Основное изучение фитопланктона в течение прошлого века было сосредоточено на северо-западном шельфе Черного моря, северо-восточная часть моря исследована значительно слабее. Исследования фитопланктона в северо-восточной части Черного моря (СВЧМ) в проводили Михайловская З.Н. (1933, 1940), Прошкина-Лавренко А.И. (1955,1963), Иванов А.И. (1965), Морозова-Водяницкая Н.В. (1948, 1950, 1954, 1957), Маштакова Г.П. (1968), Белогорская Е.В. и Кондратьева Т.М. (1959, 1961, 1965); Зернова В.В. (1980, 1981), Сеничкина Л.Г. и др. (1991), Суханова И.Н. и др. (1973, 1980, 1987, 1991); Георгиева Л.В. (1993, 1996), Силкин В.А., Паутова Л.А., Микаэлян А.С. (2007, 2009, 2011), Вершинин А.О. и др. (2000, 2003-2005, 2008); в центральной части моря – Брянцев В.А. и Брянцева Ю.В. (1999; 2000). В Новороссийской бухте исследования фитопланктона проводили Морозова-Водяницкая Н.В. (1927), Михайловская З.Н. (1936), Прошкина-Лавренко А.И. (1955), Кузьмина И.А. (1991), Сеничкина Л.Г. (2002), Луговая И.М. (2011). В Геленджикской бухте фитопланктон исследовали Зернова В.В. и Незлин Н.П. (1983); Вишневский С.Л. и др. (1991), Крылова А.Г. и др. (1991), Мельник В.Ф. (2003). Таксономический состав и количественные характеристики фитопланктона бухт Анапа и Туапсе оставались не исследованными.

Цели и задачи исследования. Цель настоящей работы – оценка современного состояния фитопланктона СВЧМ в связи с гидрологической структурой, гидрохимическими параметрами и динамикой вод.

Поставлены следующие задачи:

1) исследовать таксономический состав и количественные характеристики развития планктонных водорослей в акваториях портовых (Новороссийск и Туапсе) и курортных (Анапа и Геленджик) городов, в открытой СВЧМ и в районе Керченского пролива,

2) проанализировать многолетние изменения численности и биомассы фитопланктона в бухтах и в открытой части моря,

3) исследовать особенности вертикального распределения фитопланктона в открытой шельфовой и глубоководной зонах Черного моря,

4) исследовать сезонную динамику и уровень количественного развития потенциально токсичных и вредных видов фитопланктона в акватории Новороссийской бухты,

5) провести исследования фитопланктона балластных вод судов, заходящих под погрузку в порт Новороссийск, и определить роль видов-вселенцев с прогнозированием их дальнейшего развития.

Научная новизна. Впервые проанализированы особенности таксономического состава и многолетней динамики количественных характеристик фитопланктона в прибрежной и глубоководной зонах СВЧМ. Выявлено 5 новых для региона видов планктонных водорослей.

В акваториях бухт и портов и непосредственно за их пределами отмечены высокие значения численности и биомассы фитопланктона, в 3-5 раз превышающие величины открытого района моря. Описан случай «цветения» воды, связанный с интенсивным развитием динофитовой водоросли *Scrippsiella trochoidea* в марте 2008 года, ранее в СВЧМ нерегистрируемый.

В сезонной динамике планктонных водорослей в бухтах в весенне-осенний период выявлено 2-4 пика численности и биомассы, обусловленных интенсивным развитием диатомовых водорослей; повышение роли динофитовых водорослей отмечено в летний период на фоне завершающегося «цветения» воды. Исследована сезонная динамика численности потенциально токсичных и вредоносных видов фитопланктона Новороссийской бухты, показано, что обильное развитие этих видов приходится на теплое время года (апрель-август).

Теоретическое и практическое значение работы. Проведенные исследования существенно дополняют уже имеющиеся данные по таксономическому составу и уровню количественного развития фитопланктона СВЧМ.

Показана возможность использования эвгленовой водоросли (*Eutreptia lanowii*) и сине-зеленых родов *Lyngbya* и *Oscillatoria* в качестве видов-индикаторов экстремально эвтрофных вод, примнезиевой *Emiliania huxleyi* – как показателя относительно чистых морских вод. Информация о видах, вызывающих «цветение» воды, и потенциально токсичных видах может

быть использована в целях анализа санитарного состояния морской среды в рекреационных зонах и районах выращивания марикультуры.

Контроль судового балласта на предмет обнаружения новых форм морской флоры положительно сказался на выполнении экипажами иностранных судов, заходивших под погрузку в порт Новороссийск, требований конвенции – Convention 2004 и может быть рекомендован для всех портов России (Erygin, Berdnikov, 2013). Результаты исследований проб морского балласта имеют реальное практическое значение для ФГУ «Администрации морского порта Новороссийск» (ФГУ «АМП Новороссийск») и легли в основу разработки локального нормативного документа – «Плана комплексного применения Международной конвенции о контроле судовых балластных вод и осадков и управления ими в порту Новороссийск».

Результаты исследования таксономического состава и уровня количественного развития фитопланктона в СВЧМ вошли в базу данных ЮНЦ РАН и опубликованы в «Атласе климатических изменений крупных морских экосистем северного полушария (1878-2013)».

Методология и методы исследования.

Методология и методы исследования рассмотрены в главе 3, при проведении научно-исследовательских работ были использованы стандартные методы, применяющиеся в гидробиологии.

Положения, выносимые на защиту.

1. Таксономический состав фитопланктона СВЧМ насчитывал 210 видов. В бухтах выявлено большее разнообразие неритических видов диатомовых и динофитовых водорослей, в открытой части моря – морских, океанических видов динофитовых и кокколитофорид.

2. В исследуемых бухтах отмечены высокие значения количественных характеристик фитопланктона с преобладанием мелких мезосапробных видов диатомовых водорослей (*Skeletonema costatum*, *Leptocylindrus minimus*, *L. danicus*, *Thalassionema nitzschioides*, род *Chaetoceros*), эвгленовых (*Eutreptia lanowii*), сине-зеленых (роды *Lyngbya и Oscillatoria*) и миксотрофных динофитовых (роды *Gymnodinium, Heterocapsa, Gyrodinium, Prorocentrum*).

3. В открытых участках СВЧМ значительная часть численности (34-40 %) приходится на нанопланктонный вид примнезиевых водорослей *Emiliania huxleyi*, биомассы (45 %) – крупные виды диатомовых *Proboscia alata*, *Pseudosolenia calcar-avis* и динофитовых водорослей рода *Protoperidinium*.

4. В многолетней динамике планктонных альгоценозов выявлено уменьшение количественных характеристик в бухтах в период 2007–2011 гг., а в открытом районе моря – в 2009 г. и 2011 г.

5. В составе фитопланктона СВЧМ зарегистрировано 5 новых для этого района видов диатомовых: *Asterionellopsis glacialis* (Castr.) Round., *Lioloma pacificum* (Capp) Hasle, динофитовых: *Dinophysis odiosa* (Pavil.) Tai & Scogsberg, *Alexandrium ostenfeldii* (Paulsen) Balech et Tangen, и примнезиевых водорослей *Phaeocystis pouchetii* (Hariot) Lagerheim, ранее распространенных исключительно в северо-западной части Черного моря и прибосфорском районе.

6. 19 видов фитопланктона Новороссийской бухты относятся к потенциально токсичным и вредоносным водорослям: диатомовые (род *Pseudo-nitzschia*), динофитовые (родов *Alexandrium, Prorocentrum, Dinophysis, Scrippsiella, Ceratium, Lingulodinium, Akashiwo*) и примнезиевые (род *Phaeocystis*) водоросли.

Степень достоверности и апробация результатов. Материал диссертации получен и проанализирован лично автором диссертации, выводы следует считать достоверными и отвечающим поставленным в диссертации целям и задачам. Результаты исследований и основные положения работы были представлены на научной молодежной школе и конференциях ИнБЮМ «Понт - Эвксинский» (Севастополь, 2005, 2007, 2009); международном семинаре ЮНЦ РАН «Современные технологии мониторинга и освоения природных ресурсов южных морей» (Ростов-на-Дону, 2005), международных научных конференциях ЮНЦ РАН «Современные климатические и экосистемные процессы в уязвимых природных зонах (арктических, аридных, горных)», «Естественные и инвазийные процессы формирования биоразнообразия водных и наземных экосистем», «Современные проблемы морской инженерной экологии (изыскания, ОВОС, социально-экономические аспекты)», «Экологическая безопасность приморских регионов: материалы межд. научной конференции к 150 - летию Н.М. Книповича» (Ростов-на-Дону, 2006, 2007, 2008, 2012), «Современные проблемы альгологии» (Ростов-на-Дону, 2008, Киев, 2012); международной научной конференции «Лазерно-информационные технологии в медицине, биологии и геоэкологии» (Абрау-Дюрсо, 2009, 2011, 2012); III Международном симпозиуме "INVASION OF ALIEN SPECIES IN HOLARTIC. BOROK – 3" (Мышкин, 2010). 3rd Bi-annual BS Scientific and UP-GRADE BS-SCENE EC Project Joint Conference (Одесса, 2011); международной конференции МСОИ ИО РАН (Москва, 2013).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 43 работы, из них 5 работ в журнале из списка ВАК, 8 – в научных трудах, монографиях коллектива авторов и научных журналах и 30 – в тезисах и трудах конференций и симпозиумов.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из 180 страниц основного содержания (введения, 7 глав и выводы), а также списка цитируемой литературы, включающего 318 наименований (из них 68 на иностранных языках) и приложения. Иллюстративный материал представлен 31 рисунком и 27 таблицами, из которых 16 – в приложении.

Благодарности. Автор выражает глубокую признательность за возможность проведения научных работ академику РАН Г.Г. Матишову и члену-корреспонденту РАН Д.Г. Матишову; за научные консультации и ценные замечания – научному руководителю профессору П.Р. Макаревичу (ММБИ КНЦ РАН), а также к.б.н О.В. Степаньяну (ЮНЦ РАН), к.б.н. Г.В. Ковалевой (ИАЗ ЮНЦ РАН), к.б.н Ж.П. Селифоновой (ГМУ имени адмирала Ф.Ф.Ушакова), к.б.н. Е.Б. Гольдину (ЮФ НУБиП Украины "КАТУ"), д.б.н. проф. Ю.Б. Околодкову (Университет Веракруза, Мехико), д.б.н. проф. Ю.И. Сорокину, к.б.н. Л.А. Паутовой (ИО РАН), к.б.н. Л.М. Теренько, к.б.н. Ю.В. Брянцевой (ИнБЮМ НАНУ). Автор благодарен капитану порта Новороссийск В.В. Ерыгину и начальнику отд. экологии В.С. Бердникову (ФГУ «АМП Новороссийск») за техническую поддержку. Отдельную благодарность приносит сотрудникам ИТЦ

«Сканекс» за любезно предоставленные оптические космические снимки Черного моря и д.г.н. С.В. Станичному (МГИ НАНУ) за карты распределения хлорофилла на акватории Черного моря.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ГЛАВА 1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ

В главе описана физико-географическая характеристика СВЧМ от м. Панагия до м. Видный, включая акваторию Керченского пролива, бухты Новороссиийскую, Анапскую, Геленджикскую и Туапсинский порт. Приведена характеристика антропогенной нагрузки в разных районах, описаны особенности распределения биогенных элементов и основных поллютантов.

ГЛАВА 2. СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ ФИТОПЛАНКТОНА СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ

В главе приведены сведения о состоянии изученности таксономического состава, многолетней и сезонной динамики количественных величин развития фитопланктона в бухтах и в открытой СВЧМ в период с начала прошлого века по настоящее время. Показано, что качественные и количественные характеристики развития планктонных альгоценозов за исследуемый период претерпели значительные изменения.

ГЛАВА 3. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Материалом для исследования послужили сборы фитопланктона в акваториях портовых и курортных городов Новороссийск, Туапсе, Анапа и Геленджик в разные сезоны 2005-2011 гг. (с перерывами) и открытой северо-восточной части Черного моря. Детальными исследованиями были охвачены непосредственно акватории бухт и портов, часть станций располагалась на фоновых мористых станциях – за их пределами. Отбор проб в бухтах выполняли во время коротких рейсов на маломерных судах ФГУ АМПН. Проанализировано 568 проб (табл.1, рис.1).

Сезонные исследования фитопланктона открытой СВЧМ были проведены во время комплексных экспедиций НИС «Денеб» в июле 2007; апреле, июне и октябре 2008, апреле 2009, июле 2010, июне 2011 гг. Изучение вертикальной структуры фитопланктона проводили на траверзах: Керченский пролив, Анапа, Новороссийск, Туапсе, Сочи на стандартных горизонтах 0, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 100 и 150 м на глубоководных станциях; поверхность и дно – в шельфовой зоне моря на мелководных станциях (глубиной 20-72 м) и в районе Керченского пролива. Проанализировано 377 проб (табл.1, рис.1). Для выявления причины расселения видов в СВЧМ пробы фитопланктона отбирали из балластных танков судов, приходящих в порт Новороссийск под погрузку нефтепродуктами в 2006–2009 гг. Проанализировано 102 пробы (табл.2).

Пробы фитопланктона объемом 1–1.5 л отбирали в дневное время суток с помощью батометров Молчанова (прибрежные станции) и Нансена, Нискина (глубоководные станции). В бухтах пробы концентрировали методом обратной мягкой фильтрации через ядерные фильтры (диаметр пор 1–2 мкм) с помощью фильтрационной воронки Ю.И. Сорокина (1979). Сгущение проб фитопланктона в открытой СВЧМ (рейсы НИС «Денеб») осуществляли осадочным методом до 20-50 мл. Фиксировали 5 % раствором Люголя либо раствором нейтрального формальдегида до конечной концентрации 1-2 % (Цыбань, 1980; Суханова, 1983; Макаревич, Дружков, 1989). Всего было отобрано и обработано 1047 проб. Клетки фитопланктона просматривали в счетной камере собственной модификации и камере Nageotte, объемом 0.05 и 0.1 мл при увеличении х200, х400, не менее чем в трех повторностях (Федоров, 1979, Кольцова и др., 1979, Руководство...,1980).

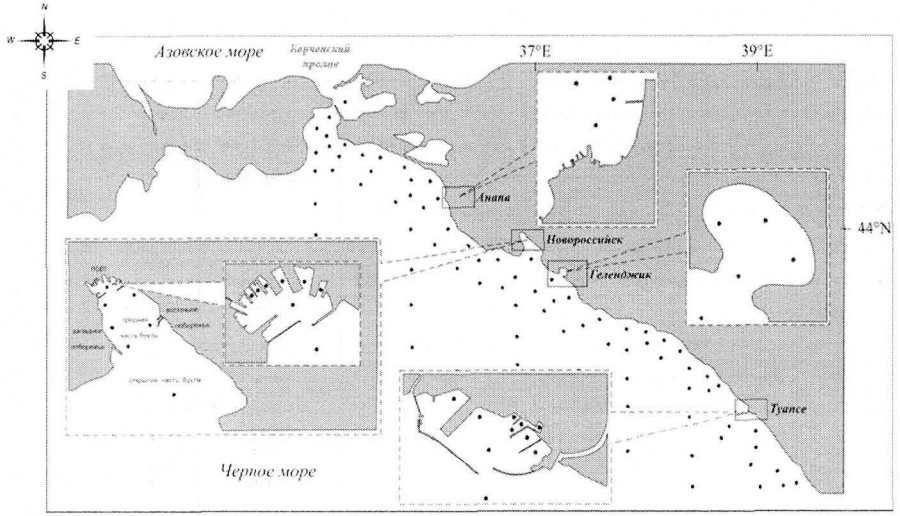

Рис.1. Карта-схема отбора проб фитопланктона в северо-восточной части Черного моря в период исследований, точками на карте обозначены станции отбора проб

Большинство форм микро- и нанопланктонных водорослей классов Chrysophyceae, Euglenophyceae, Chlorophyceae, Cyanophyceae, Cryptophyceae и некоторые «голые» представители Dinophyceae не имеют плотных клеточных оболочек, их нежные клеточные мембраны легко разрушаются даже под действием даже слабых фиксаторов. Учет этой размерной группы производили в «живой капле». Для определения редких и крупных форм фитопланктона просматривали часть концентрата (1/5-1/10). Минимальный размер учитываемых клеток – 3-5 мкм. Для колониальных водорослей в качестве одной условной единицы счета принимали нить длиной 50-100 мкм. Видовую классификацию фитопланктона проводили с использованием материалов интернет-сайта «Algae Base.org» (http://www.algaebase.org/ search /species/). Доминирующими считали виды, численность и

биомасса которых составляла не менее 20 % от общего количества видов в фитопланктоне, субдоминантными видами – не менее 10 % соответственно (Коновалова, 1984). При идентификации видов использовали руководства (Косинская, 1948; Определитель..., 1954; Киселев, 1950; Прошкина–Лавренко, 1955, 1963; Коновалова, 1988; Коновалова и др., 1989; Dodge, 1982; Tomas, 1997).

Расчёт численности фитопланктона производили по формуле:

$$N = \frac{V_2 \times n}{V_1 \times V_3},$$

где, V_1 - объём профильтрованной воды, мл; V_2 - объём концентрата, мл; V_3 - объём счётной камеры, мл; N - количество клеток в счётной камере.

Таблица 1. Таблица отбора проб фитопланктона в северо-восточной части Черного моря в 2005-2011 гг.

Район исследования	Дата	Количество станций	Количество проб	Район исследования	Дата	Количество станций	Количество проб
Порт Новороссийск	V, VII, IX 2007	8	24	Анапская бухта	VII, XI 2005	4	8
	VII, IX, X 2008	8	24				
	VI,VIII, X 2009	8	24		IV, VI, XI 2006	4	12
	VII, IX, X 2010	8	24		XII 2009	4	4
	VI, VII, IX 2011	18-22	62		IV, VII, XI 2011	4	12
Всего проб **158**				Всего проб **36**			
Порт Туапсе	II,V,VIII, XI 2009	20	80	Геленджикская бухта	III, V, VII, IX 2005	4	16
	II,VI,VIII, XI 2010	10	40		V, VII 2006	5	10
	III,V,VIII, XI 2011	10	40		XI 2009	5	5
					VII, XI 2011	5	10
Всего проб **160**				Всего проб **41**			
Новороссийская бухта	III, V, VI,VII, IX 2005	3	15	Открытая северо-восточная часть Черного моря (рейсы НИС «Денеб»)	VII 2007	18	36
					IV 2008	16	45
	VII 2005	22	22		VI 2008	25	58
	II,III,IV,VI,VII,VIII,X,XI 2006	3	24		X 2008	14	58
					IV 2009	17	29
	I,II,III,IV,V,V, VI,VII,VIII,IX ,X,X, XI,XII 2007	8	112		VII 2010	18	65
					VI 2011	30	86
Всего проб **173**				Всего проб **377**			
ОБЩЕЕ КОЛИЧЕСТВО ПРОБ 945							

Таблица 2. Таблица отбора проб фитопланктона из балластных танков иностранных судов, заходивших в порт Новороссийск под погрузку в 2006–2009 гг.

Предмет исследования	Дата	Количество исследуемых судов	Количество проб
Балластные воды	2006	12	12
	2007	23	28
	2008	40	59
	2009	2	3
Всего проб			**102**

Биомассу водорослей оценивали объемным методом, исходя из размеров и форм клеток по наиболее сходному геометрическому подобию, используя оригинальные и литературные данные измерений объема клеток для каждого вида (Кольцова, 1970; Сеничкина, 1978; Брянцева и др., 2005). Считая удельный вес водорослей равным единице, определяли вес клетки, исходя из её объёма: $B = B_{кл}\ N/100000$,

где В- биомасса фитопланктона, мг/м^3; $B_{кл}$ – биомасса клетки, пг.

Индекс видового разнообразия (индекс Шеннона):

$$H = \sum_{i-1}^{s} \frac{n_i}{N} \log_2\left(\frac{n_i}{N}\right),$$

где n_i - численность (биомасса) одного вида; N - численность (биомасса) всех видов в пробе; S - количество видов; $\log_2 = 3{,}32\lg$.

Показатель выравненности сообщества рассчитывался по следующей формуле:

$$R = \frac{\log_2 K - H}{\log_2 K},$$

где K- число видов, H- индекс видового разнообразия.

Для оценки сходства таксономической состава микроводорослевых сообществ исследуемых акваторий СВЧМ использовали коэффициент Серенсена-Чекановского, Дайса и пр. (Шмидт, 1984; Clarke, Warwick, 1994):

$$Cs = \frac{2C}{(A+B)} * 100\%,$$

где А, В – общее число видов, зарегистрированных в сравниваемых пробах; С – количество форм, общих для двух сравниваемых проб.

ГЛАВА 4. КАЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФИТОПЛАНКТОНА В СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ

В исследуемой зоне СВЧМ было обнаружено 210 видов планктонных водорослей, относящихся к классам: Bacillariophyceae (диатомовые), Dinophyceae (динофитовые), Prymnesiophyceae (примнезиевые), Cryptophyceae (криптофитовые), Chrysophyceae (золотистые), Dictyochophyceae (диктиоховые), Euglenophyceae (эвгленовые), Chlorophyceae

(зеленые), Haptophyceae (хаптофитовые), Prasinophyceae (празинофитовые), Cyanophyceae (синезеленые) (Табл.3). Максимальным видовым разнообразием отличались динофитовые (96 видов) и диатомовые (78 видов) водоросли, другие отделы были представлены небольшим количеством (2-10) видов. Общность видового состава (коэффициент Серенсена-Чекановского, Дайса, Cs) исследуемых бухт и открытой северо-восточной части моря составила 75 %.

Разнообразие диатомовых водорослей в бухтах было на 28 видов выше, чем в открытой части моря, преимущественно вследствие присутствия в планктоне бухт неритических видов рода *Chaetoceros* (8 видов) и временно планктонных (16) видов родов *Amphiprora, Achnanthes, Actinocyclus, Biddulphia, Coscinodiscus, Grammatophora, Licmophora, Navicula, Synedra* и *Surirella*. В то же время истинно морской вид диатомовых водорослей *Planktoniella sol* был отмечен только в мористой части. Значительное количество морских и океанических видов (21) динофитовых водорослей, главным образом родов *Protoperidinium, Torodinium, Oxytoxum, Amphidinium*, развивались только в открытой части моря, в то время как другие 11 преимущественно морских неритических видов родов *Protoperidinium, Dinophysis, Protoceratium, Karenia* и *Gymnodinium* встречались исключительно в планктоне бухт. Только в открытом районе моря вегетировали следующие виды морских планктонных кокколитофорид *Acanthoica acanthus, Syracosphaera cordiformis*, и представитель Haptophyta - *Calyptrosphaera oblonga*. В то же время в акваториях бухт присутствовали виды зеленых (родов *Scenedesmus, Ankistrodesmus*), сине-зеленых (род *Microcystis*) и примнезиевых водорослей (род *Phaeocystis*), свойственные прибрежным опресненным районам моря.

Таблица 3. Общее число видов водорослей, обнаруженных в планктоне северо-восточной части Черного моря в 2005-2011 гг.

Класс водорослей / район исследований	Открытая часть моря		Новороссийск		Туапсе		Анапа		Геленджик	
	СВЧМ	КП	I	II	I	II	I	II	I	II
Bacillariophyceae	37	25	56	51	44	23	54	32	50	32
Dinophyceae	78	47	52	43	36	30	43	28	44	30
Cryptophyceae	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Chrysophyceae	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1
Euglenophyceae	3	4	3	2	3	2	3	1	2	1
Dictyochophyceae	2	0	2	2	2	2	3	1	2	1
Chlorophyceae	2	10	4	1	3	1	3	1	2	0
Coccolithophyceae (=*Prymnesiophyceae*)	3	1	2	1	1	1	1	1	1	1
Prasinophyceae	2	2	0	1	0	1	1	1	1	1
Cyanophyceae	5	8	5	2	4	0	5	1	4	1
Haptophyceae	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Всего видов:	136	99	127	106	95	62	116	69	109	70

Условные обозначения: I – бухта, II – за пределами бухты, СВЧМ – северо-восточная часть Черного моря, КП – район Керченского пролива

Наибольшее количество видов отмечено в открытой северо-восточной части Черного моря и в Новороссийской бухте – 136 и 135 видов; в Туапсинском порту отмечено 95, в Анапской бухте – 116, в Геленджикской бухте – 109, в районе Керченского пролива – 99 видов (Табл.3). Диатомовые и динофитовые водоросли в Новороссийской бухте преобладали летом (48-54 видов), в остальное время года их число не превышало 28-39. В Туапсинском порту количество диатомовых водорослей возрастало в ноябре (28 видов), динофитовых водорослей – в мае и августе (23–30 видов), в остальное время года число тех и других снижалось до 13–20 видов. В бухтах Анапы и Геленджика диатомовые и динофитовые водоросли преобладали летом (40-37 и 26-30 видов) и осенью (36-21 и 33–34 видов), в весенне-зимний период их число соответственно не превышало 24-19 (Анапа) и 3–12 видов (Геленджик).

ГЛАВА 5. КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФИТОПЛАНКТОНА В ИССЛЕДУЕМОЙ АКВАТОРИИ ЧЕРНОГО МОРЯ

5.1 Открытая северо-восточная часть Черного моря

Средние величины численности и биомассы фитопланктона в открытой СВЧМ в 2007-2011 гг. составили 54 тыс. кл./л и 0.28 г/м^3. Максимальную численность планктонных водорослей наблюдали в апреле 2008 г. – 106 тыс. кл./л, и в июне 2011 г. – 94 тыс. кл./л, в другое время эти величины были в 2-5 раз ниже. Высокие значения биомассы (0.33-0.48 г/м^3) отмечали во все исследуемые сезоны 2008 г. и июле 2010 г., минимум биомассы (0.046 и 0.08 г/м^3) приходился на апрель 2009 г. и июнь 2011 г. Наибольший вклад, как в численность (40 и 23 %), так и биомассу (55 и 42 %) фитопланктона открытой СВЧМ вносили диатомовые и динофитовые водоросли (Рис. 2). Примнезиевые, среди которых основным видом была нанопланктонная *Emiliania huxleyi*, формировали значительную часть (34 %) общей численности. Максимальное развитие (до 74 % обилия фитопланктона) *E. huxleyi* было отмечено в июле 2007 г., июне 2008 г., апреле 2009 г., вид предпочитал верхний (до 20 м) горизонт моря. Сезонная сукцессия фитопланктона открытых вод выражалась в смене доминирующих видов: в апреле в массе развивались мелкоразмерные виды диатомовых водорослей *Chaetoceros insignis*, *Nitzschia tenuirostris*, *Chaetoceros* sp. и динофитовой – *Scrippsiella trochoidea*. В июне превалировали как мелкоклеточные виды примнезиевых (*E. huxleyi*) и диатомовых водорослей (*Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima*), так и крупноклеточный вид диатомовых водорослей – *Pseudosolenia calcar-avis*. В октябре интенсивное развитие получили крупные виды диатомовых (до 63 и 27 % численности) *P. calcar-avis, P. alata, Dactyliosolen fragilissimus* и динофитовых водорослей *Ceratium tripos, C. furca, Protoperidinium divergens, Protoceratium reticulatum.* В связи доминированием крупных видов водорослей значения биомассы фитопланктона (393 и 515 мг/м^3) летом и осенью были в 2 раза выше весенних величин. Основный биотоп водорослей обнаружен в слое воды от поверхности до 30 м, где величины численности и биомассы были максимальными (до 652 тыс. кл./л; 2.7 г/м^3). С глубиной концентрация фитопланктона резко снижалась (на 50-метровой изобате – до 10-20 % от поверхностных величин). Толщина слоя обитания

планктонных водорослей в глубоководной зоне Черного моря распространяется более чем на 150 м, что согласуется с ранее опубликованными данными (Кондратьева, Белогорская 1961; Сеничкина и др., 1991). Обилие планктонных водорослей в прибрежном районе моря в 2-3 раза выше, чем на глубоководных станциях. Интенсивные процессы вертикальной конвекции вод в прибрежных районах моря способствовали более равномерному распределению фитопланктона по вертикали. В верхнем горизонте моря обычно доминировали диатомовые и примнезиевые водоросли, с увеличением глубины в значениях биомассы значительно повышалась роль крупных видов динофитовых водорослей.

5.2 Район Керченского пролива

Величины обилия планктонных водорослей (98 тыс. кл./л), отмеченные в районе Керченского пролива в период 2009-2011 гг. почти в 2 раза превышали значения численности фитопланктона, обнаруженные в это время в открытой СВЧМ. Значения биомассы фитопланктона (0.186 г/м^3) вследствие развития мелких видов водорослей в 1.5 раза уступали величинам исследуемой акватории Черного моря.

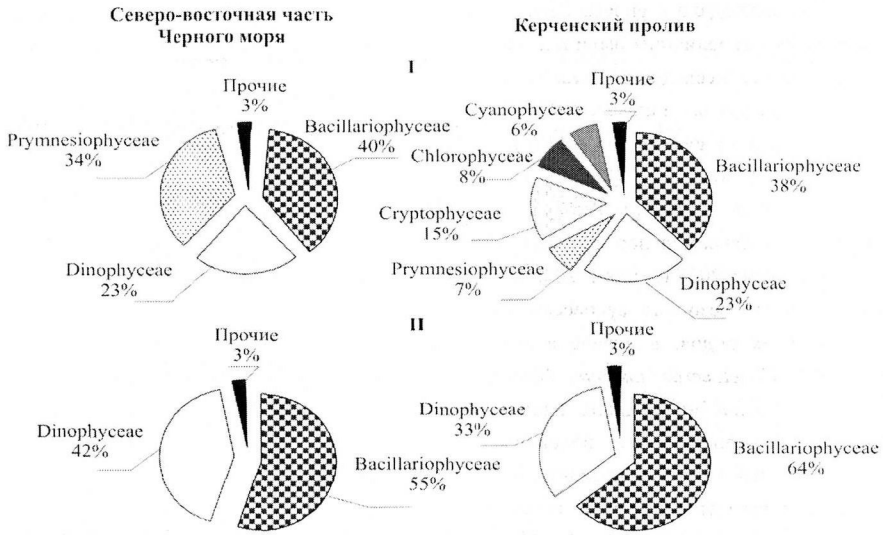

Рис. 2. Процентное соотношение численности (I) и биомассы (II) доминирующих классов планктонных водорослей в открытой СВЧМ и в районе Керченского пролива в 2007-2011 гг.

Диатомовые формировали 38 % численности и 64 % биомассы фитопланктона. Среди них наиболее интенсивно развивались *Skeletonema costatum, Chaetoceros curvisetus, Ditylum brightwellii, Nitzschia tenuirostris, Thalassionema nitzschioides, Pseudosolenia calcar-avis, Cyclotella caspia,* виды родов *Coscinodiscus, Striatella, Gyrosigma.* Динофитовые водоросли

составили 23 % численности и 33 % биомассы фитопланктона. Наиболее многочисленными среди них были *Oxytoxum caudatum, Oxyrrhis marina, Prorocentrum micans, Oblea baculifera, Scrippsiella trochoidea, Akashiwo sanguinea,* виды родов *Gymnodinium* и *Gyrodinium*. У дна возрастало значение видов рода *Prorocentrum,* а также *Gyrodinium fusiforme, Katodinium glaucum*. Основу биомассы повсеместно формировали крупные - *Dinophysis fortii, Protoperidinium divergens, Diplopsalis lenticula, Polykrikos kofoidii*. В значительном количестве в Керченском проливе развивались некоторые виды зеленых (*Binuclearia lauterbornii* и *Monoraphidium contortum*), сине-зеленых (родов *Oscillatoria, Lyngbya, Amphanisomenon* и *Synechocystis*), примнезиевые и криптофитовых водорослей (*Plagioselmis prolonga, Plagioselmis punctata*). Представители этих классов водорослей формировали соответственно 8; 6; 7 и 15 % общей численности фитопланктона.

5.3 Бухты северо-восточной части Черного моря

Руководящими видами в акваториях исследуемых бухт и портов были диатомовые водоросли, которые формировали в среднем 60 (47-78 %) численности и 68 (63-78 %) биомассы фитопланктона (рис.3). Значительная часть численности приходилась на примнезиевые 10 (4-26 %) и сине-зеленые 8 (3-25 %) водоросли, 4 % численности – на эвгленовые водоросли. Динофитовые водоросли формировали 15 % общей численности и 27 (15-34 %) биомассы фитопланктона.

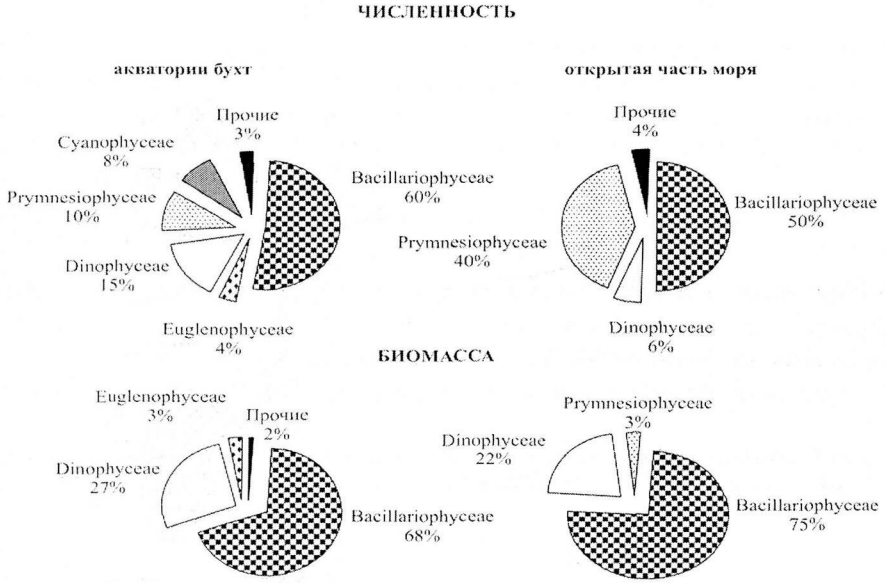

Рис. 3. Вклад отдельных таксономических групп в суммарную численность и биомассу фитопланктона исследуемых бухт и портов и за их пределами в открытой части моря

Руководящими видами за пределами бухт и портов также были диатомовые водоросли - в среднем 50 (30-62 %) численности и 75 (63-80 %) биомассы фитопланктона. Примнезиевые водоросли формировали 40 (25-65 %) общей численности. Доля динофитовых водорослей 22 (19-34 %) в биомассе фитопланктона была сравнима с бухтами.

Доминирующими **по численности** в акваториях исследуемых бухт были средние и мелкоразмерные виды диатомовых водорослей – *Cerataulina pelagica*, *Skeletonema costatum*, *Chaetoceros curvisetus*, *C. affinis*, *C. socialis*, субдоминантными – *Thalassionema nitzschioides*, *Leptocylindrus danicus*, *L. minimus, Proboscia alata*, род *Pseudo-nitzschia* (рис.4). Многие виды этого комплекса отмечены в списке доминантов фитопланктона Севастопольской бухты (Сабурова и др., 2003). Среди динофитовых по численности преобладали мелкоклеточные миксотрофные виды родов *Heterocapsa, Prorocentrum, Gymnodinium*, *Gyrodinium* и *Scrippsiella*. За пределами бухт комплекс доминантов состоял из тех же видов диатомовых и динофитовых водорослей, что и в бухтах за исключением мезосапробных видов *Skeletonema costatum*, родов *Leptocylindrus, Heterocapsa,* повышалась доля *Dactyliosolen fragilissimus*, *Nitzschia tenuirostris,* видов родов *Chaetoceros* (45 % численности класса), представителей рода *Protoperidinium* (12 % численности класса).

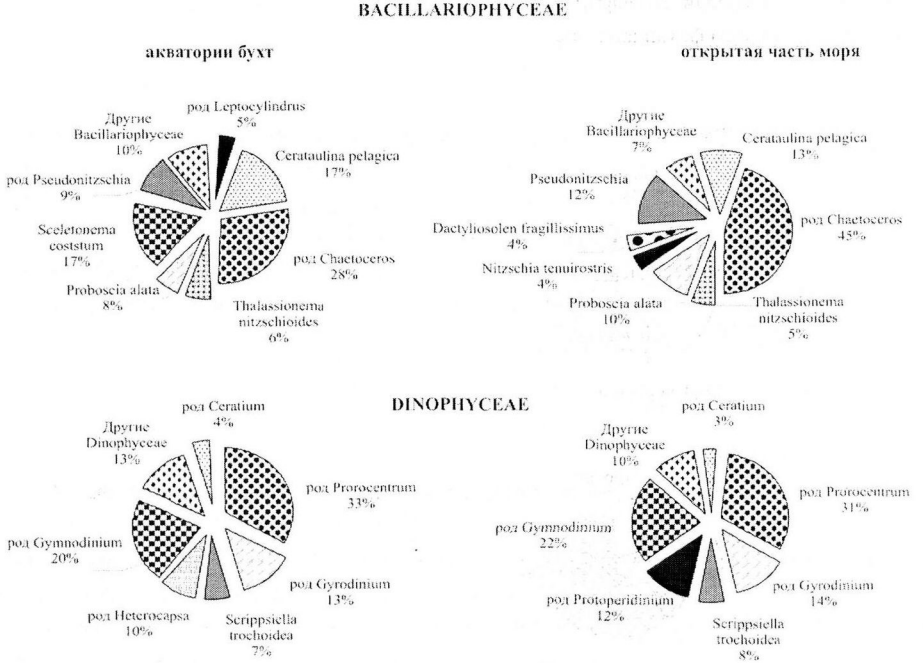

Рис. 4. Вклад отдельных видов в суммарную численность исследуемых бухт и портов и за их пределами в открытой части моря

Основную биомассу среди диатомовых в бухтах и портах формировали *Cerataulina pelagica* (20 % биомассы диатомовых), *Proboscia alata* (28 %), *Pseudosolenia calcar-avis* (14 %), род *Chaetoceros* (18 %), среди динофитовых - крупноклеточные представители рода *Ceratium* (58 % биомассы динофитовых), некрупные виды родов *Scrippsiella* и *Prorocentrum* (6 и 15 %) (рис. 5). В открытой части моря, непосредственно за пределами бухт и портов в формировании биомассы существенно повышалась роль крупных видов диатомовых водорослей *P. calcar-avis* (28 %), *P. alata* (27 %), *D. fragilissimus* (6 %) и динофитовых рода *Protoperidinium* (14 %). Значение более мелких видов: диатомовой *Cerataulina pelagica* (до 10 %) и динофитовых рода *Prorocentrum* (до 11 %) сократилось в 1.5-2 раза.

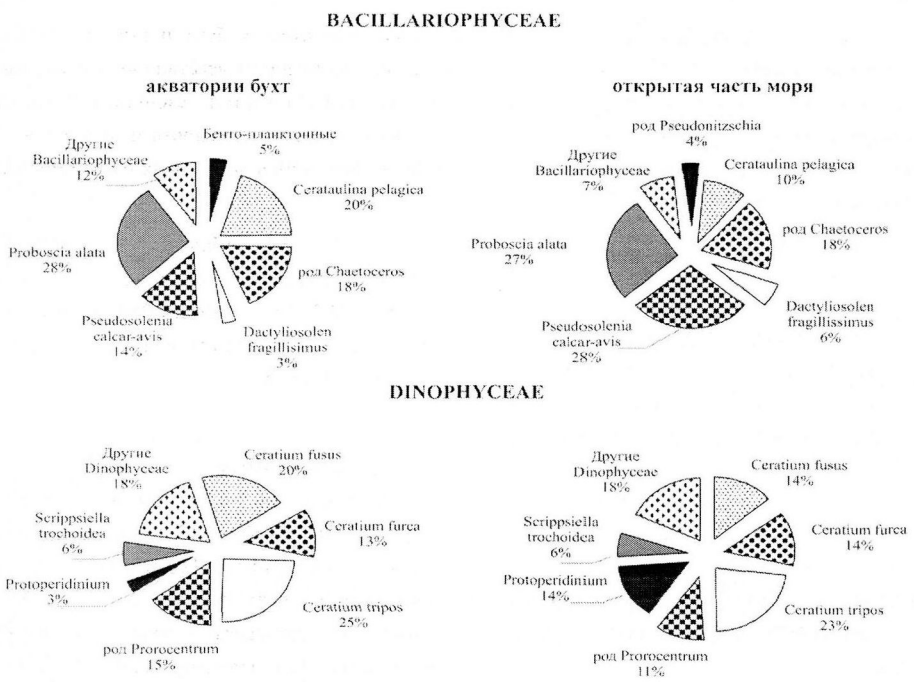

Рис. 5. Вклад отдельных видов в суммарную биомассу фитопланктона бухт и портов и за их пределами в открытой части моря

Проведенные многолетние исследования фитопланктона бухт и портов СВЧМ выявили максимальную плотность планктонных водорослей в акватории Новороссийского порта (510 тыс. кл./л и 1.08 г/м^3). Численность и биомасса в бухтах Анапы (165 тыс. кл./л и 0.52 г/м^3) и Геленджика (204 тыс. кл./л и 0.54 г/м^3.) соответственно были в 2-3 раза ниже. Минимальные величины количественного развития фитопланктона отмечали в акватории порта Туапсе (105 тыс. кл./л и 0.23 г/м^3), они в 5 раз уступали показателям Новороссийского порта. В

открытой части Новороссийской бухты наблюдали сокращение обилия планктонных водорослей по сравнению с портом в 1.7 раз (303 тыс. кл./л), величина биомассы осталась на прежнем уровне (1.07 г/м^3). Значения численности и биомассы фитопланктона за пределами Туапсинского порта по сравнению с портом повысились в 1.2 и 2 раза (120 тыс. кл./л и 0.51 г/м^3). Величины численности и биомассы в открытом море напротив Анапы и Геленджика в 1.5-2 раза превышали показатели, отмеченные непосредственно в акваториях этих бухт. Увеличение численности фитопланктона в открытых районах моря происходило вследствие обильного развития здесь нанопланктонного вида примнезиевых водорослей – *Emiliania huxleyi*, биомассы – за счет доминирования крупных видов диатомовых и динофитовых водорослей.

В многолетнем цикле развития фитопланктона исследуемых бухт и портов обычно отмечали 3-4 пика обилия, которые наблюдались в разные периоды вегетационного сезона: *поздней весной*, вначале или в конце лета и осенью. Общей чертой сезонной сукцессии планктонных альгоценозов являлась значительная межгодовая изменчивость интенсивности пиков численности и биомассы. Вспышки обилия фитопланктона в акваториях бухт и портов обычно были связаны с развитием диатомовых водорослей.

Обращает на себя внимание тенденция заметного снижения обилия альгоценозов за последние (2009 и 2011) годы – в Анапской бухте – в 1.5-3 раза; в Геленджике - в 2 раза, в 2007-2010 гг. – в порту Новороссийск – в 3-4 раза; в 2009-2010 гг. в порту Туапсе – в 2.5-3.5 раза. Тенденция снижения количественных величин фитопланктона в 1.5-3 раза была отмечена также за пределами бухт и портов, в открытой части моря.

5.3.3 Акватория Новороссийской бухты

В результате исследований сезонной динамики количественного развития фитопланктона в Новороссийской бухте в период с февраля по декабрь 2007 г. зафиксированы один пик численности (6.43 млн. кл./л) и два пики биомассы (2.14 и 1.22 г/м^3), связанные с развитием диатомовых водорослей. Весенний пик численности и биомассы образовал мелкоклеточный вид *Skeletonema costatum*, осенний пик биомассы – крупноклеточный *Proboscia alata*. Средние значения численности и биомассы фитопланктона за исследуемый период составили 943 тыс. кл./л и 0.78 г/м^3, максимальные величины количественного развития фитопланктона зарегистрированы в акватории порта и у выхода сточных вод на западном побережье бухты (1.12 млн. кл./л и 0.87 г/м^3). На восточном побережье бухты и в районе рейда эти величины были в 4 и 1.5 раза ниже. Доминировали *Bacillariophyceae*, составившие основу численности (75 %) и биомассы (67 %) фитопланктона. Роль динофитовых водорослей повышалась летом (22 % общей численности и 56 % биомассы фитопланктона) на фоне угасающего «цветения» диатомовых водорослей.

ГЛАВА 6. РОЛЬ ТОКСИЧНЫХ И ИНВАЗИЙНЫХ ВИДОВ В СООБЩЕСТВЕ ФИТОПЛАНКТОНА

6.1 Многолетняя сезонная динамика потенциально токсичных и вредоносных видов планктонных водорослей в Новороссийской бухте

В фитопланктоне Новороссийской бухты в 2005-2007 гг. обнаружено 19 потенциально токсичных и вредных видов планктонных водорослей классов: Dinophyceae (16 видов), Bacillariophyceae (2 вида), Prymnesiophyceae (1 вид) (табл. 4). Среди потенциально токсичных диатомовых водорослей отмечены *Pseudo-nitzschia delicatissima* (комплекс видов), *Pseudo-nitzschia seriata* (комплекс видов). Средняя за период исследований численность видов *Pseudo-nitzschia* в Новороссийской бухте составила 112 тыс. кл./л. Максимальная концентрация рода *Pseudonitzschia* была зарегистрирована в открытой части бухты и на акватории порта весной 2007 г. (до 2.82 млн. кл./л) - 90 % общего количества фитопланктона.

Наиболее многочисленными среди вредных видов динофитовых водорослей были представители рода *Prorocentrum*, пик развития которых (9.2-18.6 тыс. кл./л) отмечали в порту и средней части бухты в весенне-летний период 2006-2007 гг. (рис. 6). Численность представителей родов *Dinophysis* и *Ceratium* в весенне-летний период достигала 2.5 и 6.8 тыс. кл./л, биомасса – 0.03 г/м^3 и 1.2 г/м^3. Величины плотности видов *Dinophysis* были близки к пороговому числу, при котором они способны вызывать у людей диаретическое отравление моллюсками (Hallegraeff et al., 2003). В июне 2006 г. в открытой части бухты была отмечена вспышка численности у *Akashiwo sanguinea* (2.6 тыс. кл./л).

Таблица 4. Потенциально токсичные и вредоносные виды фитопланктона, обнаруженные в Новороссийской бухте.

Классы и виды фитопланктона	
DINOPHYCEAE	**DINOPHYCEAE**
Alexandrium ostenfeldii (Paulsen) Balech et Tangen	*Akashiwo sanguinea* (Hirasaka) G. Hansen et Moestrup
Alexandrium aff tamarense (Lebour) Balech	*Lingulodinium polyedrum* (Stein) Dodge
Ceratium furca (Ehrenberg) Claparède et Lachmann	*Prorocentrum compressum* (Bailey) Abé ex Dodge
Ceratium fusus (Ehrenberg) Dujardin	*Prorocentrum cordatum* (Ostenfeld) Dodge
Ceratium tripos (O.F. Müller) Nitzsch	*Prorocentrum micans* Ehrenberg
Dinophysis acuminata Claparède et Lachmann	
Dinophysis acuta Ehrenberg	**BACILLARIOPHYCEAE**
Dinophysis caudata Saville-Kent	*Pseudo-nitzschia delicatissima* (Cleve) Heiden
Dinophysis fortii Pavillard	*Pseudo-nitzschia seriata (Cleve) H. Peragallo*
Dinophysis rotundata Claparède et Lachmann	**PRYMNESIOPHYCEAE**
Scrippsiella trochoidea (Stein) Loeblich	*Phaeocystis pouchetii* (Hariot) Lagerheim

Среди потенциально токсичных водорослей в открытой части Новороссийской бухты в июле 2004 г развивался *Alexandrium ostenfeldii* (0.2 тыс. кл./л), в августе 2007 г. - *Alexandrium*

aff tamarense (0.12 тыс. кл./л). В период апрель-август 2006 г. в районе порта зарегистрировано развитие нового ихтиотоксичного вида примнезиевых водорослей *Phaeocystis pouchetii* со средней численностью 38 тыс. кл./л, ранее известного из северо-западной части Черного моря (Нестерова, 2001). В другое время эти виды более не встречались. Вероятной причиной биологических инвазий мог стать водяной балласт судов, т.к. ранее эти виды на акватории бухты не встречались, однако были обнаружены в водяном балласте некоторых танкеров, приходивших под погрузку в порт Новороссийск (Yasakova, 2011). В марте 2008 г. на значительной акватории северо-восточного шельфа нами был зарегистрировано небывалое ранее «цветение воды», образованное обильным развитием динофитовой водоросли *Scrippsiella trochoidea* (350 тыс. кл./л и 3.14 г/м^3) (Ясакова, Бердников, 2008). Оценить площадь и основные направления перемещения «цветущих вод» помогли оптические снимки и карты концентрации хлорофилла, полученные с помощью датчиков Terra/MODIS и Aqua/MODIS, любезно предоставленные ИТЦ «Сканекс» и МГИ НАНУ. В связи с тем, что экосистема Черного моря и особенно его прибрежных акваторий была ослаблена в результате глобальной антропогенной гиперэвтрофикации еще в прошлом столетии, угроза вероятного токсичного «цветения» вызывает обоснованную тревогу.

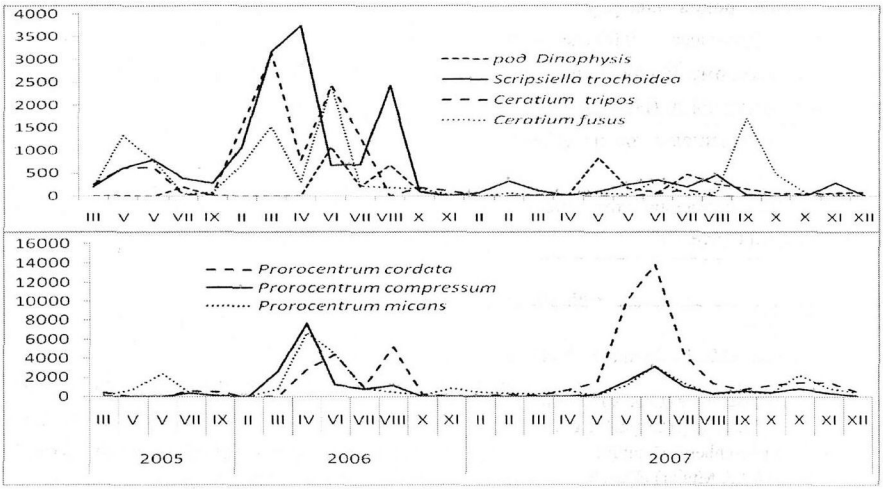

Рис. 6. Динамика численности (кл./л) потенциально токсичных и вредоносных видов динофитовых водорослей в Новороссийской бухте

6.2 Значение инвазийных видов в составе фитопланктона исследуемой акватории Черного моря

В составе фитопланктона СВЧМ в 1998–2010 гг. были обнаружены новые и редкие для региона виды диатомовых *Asterionellopsis glacialis*, *Lioloma pacificum*, *Thalassionema frauenfeldii*, динофитовых *Dinophysis odiosa*, *Alexandrium ostenfeldii*, *Oxytoxum variabile*,

Cochlodinium citron, Gymnodinium stellatum и примнезиевых водорослей *Phaeocystis pouchetii* (Табл. 5). Данные виды с 1940-х гг. были отмечены в северо-западной части Черного моря и прибосфорском районе (Иванов, 1965; Гергиева, 1993; Сеничкина и др., 2001; Сеничева, 2002), за исключением редкого вида *Thalassionema frauenfeldii,* который был указан для северо-восточной части моря (Незлин, Зернова, 1983). Вид *Oxytoxum variabile* (217–325 кл./л) встречался на глубоководных станциях от Новороссийска до Сочи в июне 2008 г. в слое воды от поверхности до 20 м. Вид *Gymnodinium stellatum* (37–223 кл./л) был обнаружен в тот же период времени на Керченском и Сочинском разрезах на горизонте 30–50 м. Редкий для Черного моря океанический, бореальный *Cochlodinium citron* зарегистрирован в октябре 2008 г. на Анапском и Новороссийском разрезах на глубинах от 0 до 30 м. (47–110 кл./л).

Таблица 5. Новые и редкие для региона виды фитопланктона, обнаруженные в бухтах СВЧМ.

Класс водорослей / район исследований	Новороссийск		Туапсе		Анапа		Геленджик	
	I	II	I	II	I	II	I	II
Bacillariophyceae: *Thalassionema frauenfeldii* (Grun) Hallegraef	√	√	√	√	√	√	√	√
Lioloma pacificum (Capp) Hasle	√	√	√	√	√	√	–	–
Asterionellopsis glacialis (Castr.) Round.	√	√	–	–	–	–	–	–
Dinophyceae : *Alexandrium ostenfeldii* (Pauls.) Balech et Tangen.	–	√	–	–	–	–	–	–
Alexandrium aff. tamarense (Lebour) Balech.	–	√	–	–	–	–	–	–
Dinophysis odiosa (Pavillard) Tai & Scogsberg	–	√	–	–	–	–	–	–
Prymnesiophyceae : *Phaeocystis pouchetii* (Hariot) Lagerheim	√	–	–	–	–	–	–	–
Всего:	4	6	3	2	2	2	1	1

Примечание: I – район бухты или порта, II – за пределами бухты или порта

Общим для всех исследуемых бухт был *Thalassionema frauenfeldii* – вид, развивавшийся со средней численностью от 0.5 до 142 тыс. кл./л в период с марта 2005 г. по ноябрь 2006 г. (Рис. 7). Вспышка численности вида в районе Туапсе и Новороссийска (93 и 142 тыс. кл./л) пришлась на июль 2006 г. В значительном количестве в районе Новороссийского порта развивались диатомовая *A. glacialis* и примнезиевая водоросли *P. pouchetii* (соответственно до 52 и 56 тыс. кл./л). В октябре 2006 г. в Новороссийской бухте был отмечен еще один вселенец *L. pacificum* (со средней численностью 2 тыс. кл./л), развитие которого в бухтах Туапсе и в Анапы было на порядок ниже. В дальнейшем виды более не встречались. В открытой части Новороссийской бухты в 2004 г. в небольшом количестве были зафиксированы виды рода *Alexandrium* (0.2 тыс. кл./л). Их появление можно рассматривать как пример биологической инвазии посредством водяного балласта, т.к. ранее эти виды на акватории бухты не

встречались, но были отмечены в балластных водах некоторых танкеров. Вид *Dinophysis odiosa* (0.3 тыс. кл./л) был обнаружен в Новороссийской бухте в 2008 г.

Новые виды динофитовых развивались в небольшом количестве (до 0.3 тыс. кл./л) и потенциально не могли создавать конкурентных отношений с видами аборигенами. Тогда как обильное развитие (до 160 тыс. кл./л) новых видов диатомовых и примнезиевых водорослей могло отразиться на состоянии планктонных фитоценозах исследуемых бухт. Надо отметить, что большинство из перечисленных видов (кроме *Asterionellopsis glacialis*, род *Alexandrium*) не образовали устойчивой популяции: в последующие годы их численность резко сокращалась, и они полностью выпадали из состава фитопланктона. Вероятно, их развитие сдерживалось неблагоприятными условиями среды и конкурентными взаимоотношения с аборигенными видами. Обнаружение форм чужеродной флоры (*Rhizosolenia setigera*, *R. styliformis*, *Lithodesmium undulatum*, *Odontella sinensis*) в балластных водах некоторых танкеров, заходивших под погрузку в порт Новороссийск, и новых видов планктонных водорослей в районах интенсивного сброса балласта дает возможность предположить, что одним из путей расширения биологического разнообразия фитопланктона Черного моря является коммерческое судоходство.

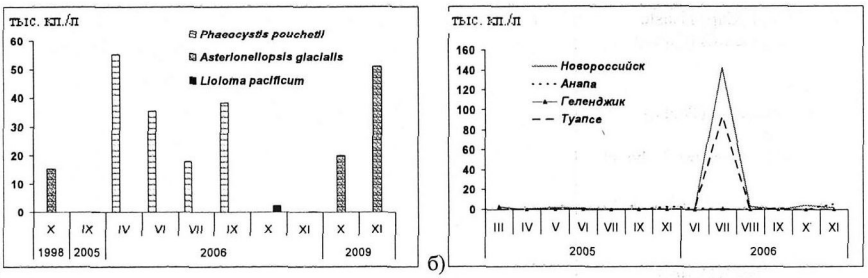

Рис. 7. Динамика численности а) новых видов водорослей в Новороссийской бухте, б) *Thalassionema frauenfeldii* в бухтах северо-восточной части Черного моря.

ГЛАВА 7. АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ РАЗВИТИЯ ФИТОПЛАНКТА В БУХТАХ И ОТКРЫТЫХ АКВАТОРИЯХ ЧЕРНОГО МОРЯ И ИХ СВЯЗЬ С ГИДРОЛОГИЧЕСКИМИ И ГИДРОХИМИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ МОРСКОЙ СРЕДЫ

В результате проведенных многолетних исследований развития планктонного фитоценоза в северо-восточной части Черного моря было выявлено влияние на его качественный состав, уровень количественного развития, горизонтальное и вертикальное распределение в море таких гидрологических факторов морской среды *речной сток, биохимические механизмы, физико-динамические процессы и антропогенное воздействие.* Под воздействием этих факторов установились следующие значительные отличия количественных и качественных характеристик планктонных водорослей, вегетирующих внутри исследуемых бухт и в открытой части Черного моря.

Вследствие некоторого *опреснения* разнообразие фитопланктона в бухтах отличалось от открытой части моря обилием неритических видов диатомовых (28) и динофитовых водорослей (11 видов). В то же время только в планктоне мористой части было отмечено развитие преимущественно морских и океанических видов динофитовых (21), диатомовых (1), кокколитофорид (2) и хаптофитовых водорослей (1 вид). В бухтах, в особенности в *зонах распреснения* морских вод береговым стоком и в районе Керченского пролива наблюдали обильное развитие солоноватоводных видов сине-зеленых водорослей родов *Lyngbia, Oscillatoria, Anabaena, Aphanizomenon, Merismopedia;* зеленых родов *Scenedesmus, Ankistrodesmus, Binuclearia, Monoraphidium* и криптофитовых водорослей *Plagioselmis prolonga, P. punctata*. Вследствие *высокой гидродинамической активности* и *небольших глубин* в шельфовой зоне моря широкое распространение получили облигатные формы планктона – литоральные диатомовые водоросли родов *Amphora, Amphiprora, Achnanthes, Actinocyclus, Biddulphia, Cocconeis, Coscinodiscus, Licmophora, Grammatophora, Pleurosigma, Striatella, Synedra.*

Антропогенное эвтрофирование прибрежной полосы моря приводит к увеличению обилия фитопланктона, доминированию одного-двух видов планктонных водорослей и снижению видового разнообразия (в период «цветения» воды в Новороссийской бухте индекс видового разнообразия снижался до минимальных значений – H=0.6-0.8). Обильное развитие фитопланктона в акватории Новороссийского порта в течение большей части вегетационного сезона – показатель *антропогенной сукцессии*, которая происходит в данном районе моря вследствие высокой биогенной насыщенности вод (PO_4 - 17; NH_4 - 59; NO_2 - 3.05; SiO_3 – 407 мкг/л) и затрудненного водообмена с открытым морем (Ежегодник Росгидромета, 2007-2011). Значения численности и биомассы фитопланктона, зарегистрированные в Новороссийском порту (510 тыс. кл./л и 1.08 г/м^3), в 2-3 раза превышали величины, отмеченные в акваториях бухт Анапы и Геленджика, где концентрации основных биогенных элементов были в 1.3-1.5 раза ниже. Несмотря на высокий уровень биогенной насыщенности вод (на уровне Новороссийского порта), значения численности и биомассы планктонных водорослей в акватории порта Туапсе в 4-5 раз уступали показателям порта Новороссийск. На снижении количественных характеристик, вероятно, сказалось ингибирующее влияние нефтепродуктов (0.15 мг/л), концентрация которых здесь в 3 раза превышала значения, выявленные в акваториях других бухт. Величины численности и биомассы планктонных водорослей в открытом районе моря в 3 -5 раз, а концентрации основных биогенных элементов – более чем в 3 раза уступали таковым значениям, отмеченным в акваториях исследуемых бухт. В шельфовой зоне открытой СВЧМ обилие фитопланктона было в 2-3 раза выше, чем в глубоководном районе моря (в слое 0-50 м). При этом величины биогенной насыщенности прибрежных вод, подверженных воздействию *берегового стока* и *сгонно-нагонных процессов* более чем в 5 раз превышали значения, отмеченные в это время на глубоководных станциях (Филатова, 2010; 2012).

В условиях хронического загрязнения бухт и особенно портовых акваторий сложился особый комплекс планктонных водорослей, устойчивых к загрязнению с преобладанием мелких и мезосапробных видов диатомовых: *Skeletonema costatum, Leptocylindrus minimus, L. danicus, Cerataulina pelagica, Thalassionema nitzschioides,* миксотрофных динофитовых родов: *Glenodinium, Gymnodinium, Gyrodinium, Prorocentrum* и *Scrippsiella.* В прибрежных районах, подверженных влиянию сточных вод существенно возросла роль эвгленовой *Eutreptia lanowii* и сине-зеленых водорослей родов *Lyngbya и Oscillatoria* – индикаторов органического загрязнения, по интенсивности развития которых можно судить о степени сапробности водоема. Обилие этих водорослей, которые в акваториях бухт и портов формировали 12 % общей численности фитопланктона, значительно (в 7-368 раз) снижалось на фоновых станциях.

В открытой части моря, несмотря на сходство комплекса доминирующих видов планктонных водорослей, снижалась роль мезосапробных видов диатомовых водорослей родов *Skeletonema* и *Leptocylindrus*, повышалось значение примнезиевой – *Emiliania huxleyi*, составляющей в весенне-летний период до 74 % общей численности. Этот вид избегает высокоэвтрофные акватории моря и может служить надежным индикатором условно чистых морских вод. В последние годы численность *E. huxleyi* в открытых районах моря ежегодно достигает уровня «цветения» и отмечается тенденция к усилению ее развития, что подтверждают спутниковые наблюдения (Cokacar et al., 2001; Burenkov et al., 2006; Ясакова, Станичный, 2012). Снижение уровня эвтрофикации вод, климатические особенности последних лет (аномально жаркое лето – начало осени), повышение температуры ВКС внесли заметные изменения в состав лидирующего комплекса видов, который в последние годы происходит в рамках системы «диатомовые-кокколитофориды» (Паутова и др., 2007; Mikaelyan et al., 2011, 2013).

Исследования вертикальной структуры фитопланктона показали, что максимальное обилие фитопланктона как в прибрежной, так и в глубоководной части моря, отмечается в ВКС. Под слоем ТК количественные величины развития фитопланктона были резко снижены, что, вероятно, связано с недостаточной *биогенной насыщенностью вод* и *плохой освещенностью*. На глубине 100-150 м значения численности и биомассы уступали величинам в слое ВКС соответственно в 18 и 48 раз. В верхнем горизонте моря обычно доминировали диатомовые и примнезиевые водоросли, максимум численности которых отмечали в слое ТК в начале теплого сезона и в зоне ВКС в период установления резкого СТК. Выделен комплекс тенелюбивых видов диатомовых водорослей – *Cerataulina pelagica, Nitzschia tenuirostris, Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima, Proboscia alata,* максимальное развитие которых (до 40 % общей численности) в некоторые сезоны года отмечали над или под ТК. С увеличением глубины в общих значениях биомассы (до 67-95 %) повышалась роль миксо- и гетеротрофных видов динофитовых водорослей – *Scrippsiella trochoidea, Ensiculifera carinata, Katodinium glaucum, Polykrikos cofoidii, Torodinium robustrum, Ceratium tripos, C. furca, Protoperidinium*

divergens, P. depressum и *Pronoctiluca pelagica*, максимум биомассы которых был привязан к слою ТК.

Причиной интенсивного развития динофитовой водоросли *Scrippsiella trochoidea*, наблюдавшегося в открытой части Новороссийской бухты в марте 2008 г., по-видимому, было значительное количество *почвенной взвеси* и *пресных вод*, поступивших с территориальным стоком в морскую среду в результате продолжительных проливных дождей, прошедших по фронту черноморского побережья Кавказа и интенсивного таяния снегов. Как известно, динофитовые водоросли требовательны к повышенному содержанию в воде РОВ, при наличие которых способны переходить на миксо- и гетеротрофный рост (Киселев, 1950). В условиях культуры их рост поддерживается почвенной вытяжкой (Кабанова, 1961). Распреснение морских вод – одна из причин развития «красных приливов» в прибрежной полосе моря (Макаревич, Дружкова, 2010). Анализ временной и пространственной динамики прибрежных вод, выполненный с помощью оптических снимков Terra/MODIS и карт концентраций хлорофилла Aqua/MODIS, показал, что *Основное Черноморское течение* играло ведущую роль в распространении пятна «цветущих» вод.

ВЫВОДЫ:

1. В северо-восточной части Черного моря обнаружено 210 видов планктонных водорослей, принадлежащих к классам: Bacillariophyceae (78 видов), Dinophyceae (96 видов), Prymnesiophyceae, Cryptophyceae, Chrysophyceae, Dictyochophyceae, Euglenophyceae, Chlorophyceae, Haptophyceae, Prasinophyceae, Cyanophyceae. Общность видового состава исследуемых бухт и открытой северо-восточной части моря составила 75 %.

2. Разнообразие диатомовых водорослей в акватории бухт на 27 видов выше, чем в открытой части моря, преимущественно вследствие присутствия в планктоне неритических видов рода *Chaetoceros* (8 видов) и временно планктонных родов *Amphiprora, Achnanthes, Actinocyclus, Biddulphia, Coscinodiscus, Grammatophora, Licmophora, Navicula, Synedra* и *Surirella* (16 видов). Значительное количество морских и океанических видов динофитовых водорослей (21) развивались только в открытой части моря, в то время как преимущественно неритические динофитовые водоросли (11) встречались исключительно в планктоне бухт.

3. Максимальные значения численности и биомассы были отмечены в Новороссийском порту (510 тыс. кл./л 1.08 г/м^3), в акваториях бухт Анапы, Геленджика и Туапсе эти величины были в 2-5 раза ниже; непосредственно за их пределами величины численности и биомассы были в 1.5-2 раза выше, чем в бухтах. Минимальные количественные величины развития фитопланктона были выявлены в открытой СВЧМ (54 тыс. кл./л и 0.28 г/м^3) и в районе Керченского пролива (98 тыс. кл./л и 0.186 г/м^3). Прослеживается взаимосвязь между количественными показателями развития фитопланктона и биогенной насыщенностью вод.

4. В бухтах сложился особый комплекс планктонных водорослей, устойчивых к загрязнению, с преобладанием мелких и мезосапробных видов диатомовых: *Skeletonema costatum*, *Leptocylindrus minimus*, *L. danicus*, *Cerataulina pelagica*, *Thalassionema nitzschioides*, родов *Chaetoceros*, *Pseudonitzschia*, миксотрофных динофитовых родов: *Heterocapsa*, *Gymnodinium*, *Gyrodinium*, *Prorocentrum*, *Scrippsiella*, полисапробных эвгленовой *Eutreptia lanowii* и сине-зеленых водорослей родов *Lyngbya* и *Oscillatoria* – индикаторов органического загрязнения. В открытой части моря отмечено обильное развитие примнезиевой – *Emiliania huxleyi* (34-40 % общей численности фитопланктона), крупных видов диатомовых – *Proboscia alata*, *Pseudosolenia calcar-avis* и динофитовых водорослей рода *Protoperidinium* (в сумме 45 % общей биомассы).

5. В многолетней динамике фитопланктона в бухтах и непосредственно за их пределами в период 2007–2011 гг. выявлено уменьшение количественных характеристик в 2-4 раза по сравнению с 2004–2006 гг., минимальные значения биомассы в более мористом районе отмечали в 2009 г. и 2011 г.

6. Максимальное обилие фитопланктона (преимущественно диатомовых и примнезиевых водорослей) как в прибрежной, так и в глубоководной части моря отмечали в слое ТК в начале теплого сезона и в зоне ВКС в период установления резкого СТК. Максимум биомассы динофитовых водорослей был привязан к слою ТК. Под ТК количество фитопланктона сократилось в 5-10 раз в глубоководной зоне и в 2-3 раза – в шельфовой зоне моря.

7. В составе фитопланктона Новороссийской бухты обнаружено 19 видов потенциально токсичных и вредоносных водорослей с численностью до 3 млн. кл./л. Основными были диатомовые (род *Pseudo-nitzschia*), динофитовые (роды *Alexandrium*, *Prorocentrum*, *Dinophysis*, *Scrippsiella*, *Ceratium*, *Lingulodinium*, *Akashiwo*) и примнезиевые (род *Phaeocystis*) водоросли. Период повышенного риска, связанный с обильным развитием этих видов, приходился на теплое время года (апрель-август).

8. В составе фитопланктона северо-восточной части Черного моря в 1998–2010 гг. были зарегистрированы новые виды диатомовых: *Asterionellopsis glacialis*, *Lioloma pacificum*, динофитовых: *Dinophysis odiosa*, *Alexandrium ostenfeldii*, примнезиевых водорослей *Phaeocystis pouchetii*, ранее распространенные исключительно в северо-западной части Черного моря и прибосфорском районе, причиной распространения этих видов мог быть судовой балласт.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК:

Ясакова О.Н. Некоторые результаты экологического мониторинга морской среды в северо-восточной части Черного моря с использованием спутниковых информационных систем // Безопасность в техносфере. – 2010. – 1 (22). – С. 3-7.

Ясакова О.Н., Селифонова Ж.П. Новый компактный замыкатель для вертикальных замыкающихся мезопланктонных сетей // Океанология, – 2007. Т. 47. – № 4. – С. 631-632.

Селифонова Ж.П., Ясакова О.Н. Вертикальная структура фито- и зоопланктона в северо-восточной части Черного моря (район Геленджика) // Бюллетень МОИП. Отд. Биол. – 2012. Т.117. – № 3-4. – С. 31-38.

Ясакова О.Н. Сезонная динамика потенциально токсичных и вредных видов планктонных водорослей в Новороссийской бухте, Черное море // Биология моря. 2013. Т. 39, – № 2, – С. 98–105.

Ясакова О.Н. Современное состояние фитопланктона в бухтах Анапа и Геленджик, Черное море. Вестник ЮНЦ РАН. – 2014. №1

Статьи в других изданиях:

Ясакова О.Н., Селифонова Ж.П. Видовой состав и количественное распределение фитопланктона в бухтах северо-восточного шельфа Черного моря // Экосистемные исследования Азовского, Черного, Каспийского морей и их побережий. Изд-во ММБИ КНЦ РАН. Апатиты. – 2006. – Т.8. – С. 81-90.

Ясакова О.Н. Планктон портовой акватории Новороссийской бухты Черного моря в условиях антропогенного эвтрофирования вод. Фитопланктон // Экосистемные исследования Азовского, Черного, Каспийского морей и их побережий. Изд-во ММБИ КНЦ РАН. – Т.9 Апатиты, – 2007. – С. 95-101.

Ясакова О.Н., Бердников В.С. Необычное цветение воды в результате развития динофитовой водоросли *Scrippsiella trochoidea* (Stein) Balech. в акватории Новороссийской бухты Черного моря в марте 2008 года // Морской экологический журнал, Севастополь, Украина. – 2008. – Т.VII, № 4. – С. 98.

Ясакова О.Н., Бердников В.С. Мониторинг «красных приливов» в Черном море // Земля из космоса. Наиболее эффективные решения. – 2009. – Вып.3. – С.12-14.

Ясакова О.Н. Новые виды в составе фитопланктона северо-восточной части Черного моря // Российский журнал биологических инвазий. – 2010. – №4. – С. 90-97. (Yasakova O. N. New Species of Phytoplankton in the Northeastern Part of the Black Sea *ISSN 2075_1117, Russian Journal of Biological Invasions, 2011, Vol. 2, No. 1, – pp. 65–69.*).

Ясакова О.Н., Кренева Е.В. «Красный прилив» в порту Новороссийск, вызванный *Heterocapsa rotundata* (Dinophyceae, Heterocapsaceae) и *Myrionecta rubra*, *Mesodinium pulex* (Ciliophora, Litostomatea) в июле 2011 года // Морской экологический журнал, Севастополь, Украина. – 2012. – Т.XX, № 2. – С. 9.

Ясакова О.Н., Станичный С.В. Аномальное цветение *Emiliania huxleyi* (Prymnesiophyceae) в 2012 году в Черном море // Морской экологический журнал, Севастополь, Украина. – 2012. – Т.XI, № 4. – С. 54.

Ясакова О.Н., Бердников В.С. Цветение воды в Черном море в 2012 г. // Земля из космоса. Наиболее эффективные решения. – 2012. – Вып.14. – С.34-37.

Селифонова Ж.П., Ясакова О.Н. Фитопланктон акваторий портовых городов северо-восточного шельфа Черного моря // Морской экологический журнал, Севастополь, Украина. – 2012. – Т.XI, № 4. – С. 67-77.

Ясакова О.Н. Сезонная динамика фитопланктона Новороссийской бухты в 2007 г. // Морской экологический журнал, Севастополь, Украина. – 2013. – Т. XII, № 1. – С. 92-102.

Материалы и тезисы конференций:

Ясакова О.Н. Воздействие антропогенного эвтрофирования вод на состояние планктонного альгоценоза Новороссийской бухты // «Морские прибрежные экосистемы. Водоросли, беспозвоночные и продукты их переработки»: тез. Третьей межд. Конференции (г. Владивосток 8-10 сентября 2008г.). Владивосток: Изд-во Госкомрыболовство России, ФГУП «ТИНРО-Центр», ФГУП «ВНИРО». – 2008. – С. 221-222.

Ясакова О.Н. Токсичные и инвазионные виды в составе фитопланктона Новороссийской бухты // Естественные и инвазийные процессы формирования биоразнообразия водных и наземных экосистем: тез. докл. межд. научной конференции (г.Ростов-на-Дону 5-8 июня 2007г.). Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ, – 2007. – С. 345-346.

Ясакова О.Н., Бердников В.С., Затягалова В.В. Экологический мониторинг морской среды с использованием спутниковых информационных систем // Лазерно-информационные технологии в медицине, биологии и геоэкологии: тезисы докл. Междунар. конф. (Абрау-Дюрсо, 8 - 12 сент. 2009 г.). Абрау-Дюрсо, – 2009. – С. 140-142.

Ясакова О.Н. Таксономический состав и количественное развитие динофитовых водорослей в северо-восточной части Черного моря в 2008 году // Материалы международной научной конференции «Изучение и освоение морских и наземных экосистем в условиях арктического и аридного климата». (Ростов-на-Дону, 6-10 июня 2011 г.) Изд-во: ЮНЦ РАН. – 2011. – С.364-367.

Ясакова О.Н. Многолетняя динамика количественного развития Euglenophyceae в порту Туапсе // Актуальные проблемы современной альгологии: материалы IV Международной конференции (Киев, 23-25 мая 2012). Киев, – 2012. – С. 345-346.

Ясакова О.Н. Развитие фитопланктона в открытой северо-восточной части Черного моря в весенне-осенний период 2008 г. // Материалы Международной конференции МСОИ ИО РАН (Москва, 14-16 мая 2013 г.). Москва. – 2013. – С. 167-171.

Ясакова О.Н., Часовников В.К. Современное состояние фитопланктона Новороссийского порта в условиях антропогенного эвтрофирования вод // Материалы Международной конференции МСОИ ИО РАН (Москва, 14-16 мая 2013 г.). Москва. – 2013. – С. 171-175.

Yasakova O. N. The New Species of Phytoplankton in the Northeastern Part of the Black Sea// abstract of The III International Symposium (October 5-9th 2010, Borok – Myshkin, Yaroslavl District, Russia) Borok – Yaroslavl. – 2010. – P. 99

Yasakova O. Development of Potentially Toxic Phytoplankton Species in Coastal Zone of the North-Eastern Part of the Black Sea // 14th International Conference on Harmful Algae. Abstract Book. Hersonissos-Crete, Greece, 1-5 November –2010. – P. 152.

Yasakova O.N. Marine Results of Research of Phytoplankton in Novorossiysk Port Area //3rd Bi-annual BS Scientific Conference and UP-GRADE BS-SCENE Project Joint Conference, Odessa, Ukraine, 1-4 November 2011. – P. 74-75.

Matishov G.G., Berdnikov C.V., Berdnikov V.C., Yasakova O.N. Results of the Complex Port Control of Ballast Water in Port Novorossiysk //3rd Bi-annual BS Scientific Conference and UP-GRADE BS-SCENE Project Joint Conference, Odessa, Ukraine, 1-4 November 2011. – P. 49-50.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ФГУ – Федеральное Государственное Управление

СВЧМ – северо-восточная часть Черного моря

ВКС – верхний квазиоднородный слой

СТК – сезонный термоклин

ТК - термоклин

Автореферат

ЯСАКОВА Ольга Николаевна

ФИТОПЛАНКТОН СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ

Подписано в печать 10.11.2013 Формат 60x84 1/16.
Бумага тип №1. Печать трафаретная. Ул.-изд. л. 1,5.
Тираж 100 экз. Заказ № 214.
353900, г. Новороссийск, ул. Набережная им. Адмирала Серебрякова, 5
Типография «Комильфо», тел. 8 (8617) 64 14 14