

УДК 582.26/27:551.464 (262.5)

Л. Л. СМЕРНОВА, В. И. РЯБУШКО, Л. И. РЯБУШКО, И. И. БАБИЧ

Ин-т биологии южных морей им. А. О. Ковалевского НАН Украины,
Украина, 335000 Севастополь, пр-т Нахимова, 2

ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА СООБЩЕСТВА МИКРОВОДОРОСЛЕЙ ПРИБРЕЖНОГО МЕЛКОВОДЬЯ ЧЕРНОГО МОРЯ

Исследована годовая динамика численности, биомассы микроводорослей и содержание в морской воде $\text{N}_{\text{общ}}$, $\text{N}_{\text{орг}}$, NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , $\text{P}_{\text{общ}}$, $\text{P}_{\text{орг}}$, PO_4^{3-} , Si в районе расположения вольеров с морскими млекопитающими и мидийных коллекторов в бухте Казачья Черного моря на глубине 0,5–4,5 м. В результате разложения накапливающегося в воде органического вещества концентрация аммонийного азота достигала 4,0–6,0 мкг·ат/л, ортофосфатов – 0,1–0,7 мкг·ат/л. В фитопланктоне обнаружено 88, в микрофитобентосе (на раковинах мидий *Mytilus galloprovincialis* L.) – около 100 таксонов микроводорослей. Весной наблюдалась массовая вегетация микроводорослей в обоих биотопах. Для фитопланктона характерен второй, летний пик "цветения". Обогащение прибрежного мелководья метаболитами животных благотворно влияет на развитие фитопланктона и микрофитобентоса. Резкое изменение соотношения атомных эквивалентов Si : N : P приводит к весенней и осенней перестройке структуры сообществ микроводорослей и в наибольшей степени лимитирует развитие микрофитобентоса, состоящего в основном из диатомовых водорослей.

Ключевые слова: биогенные элементы, микроводоросли, Черное море.

Введение

Поверхностные воды контактных зон море-суша под влиянием максимальной антропогенной нагрузки зачастую становятся наиболее продуктивными и определяют экологическое состояние прибрежных морских экосистем. Ветро-волновые процессы на мелководье оказывают большое влияние на гидрохимические и биологические процессы, накопление, перераспределение и перенесение продуктов синтеза и разложения органического вещества (ОВ) (Шульгина и др., 1978). В процессе жизнедеятельности фитопланктон ассимилирует аммонийный, нитритный, нитратный азот, мочевины и другие органические соединения, фосфаты, кремний и его соединения (Sullivan, Volcani, 1981; Glibert et al., 1982 a,b; Paasche, Kristiansen, 1982; Воронков, Кузнецов, 1984; Dortch, Conway, 1984; Probyn, 1985; Kmet, 1987; Van Wambeke, Bianchi, 1990; Bodeanu, 1993). На шельфе, особенно в прибрежных, мелководных участках моря, важную роль в продукционных процессах играет микрофитобентос (Основы ..., 1979; Бондарчук, 1980; Plante-Cuny, 1980; Bodeanu, 1993). Однако исследования влияния высоких концентраций биогенных соединений азота и фосфора антропогенного происхождения, а также растворенного кремния, постоянно присутствующих в воде в течение года, на продукционные характеристики фитопланктона и микрофитобентоса не проводилось.

Нами исследованы структурные характеристики микрофитобентоса и фитопланктона как единого эколого-флористического комплекса микроводорослей Черного моря. Задача данной работы – изучение годовой динамики содержания основных биогенных соединений в прибрежной зоне активного разложения органического вещества и выяснение влияния сложившихся гидрохимических условий на показатели численности и биомассы микроводорослей планктона и бентоса.

Материалы и методы

Исследования проводили в бухте Казачья Крымского побережья Черного моря в районе расположения вольеров с морскими млекопитающими Государственного океанариума Украины и коллекторов фермы по культивированию моллюсков. На двух стационарных станциях с мая 1995 г. по июнь 1996 г. ежемесячно синхронно отбирали пробы фитопланктона, микрофитобентоса и проводили фоновые измерения гидрохимических характеристик воды на глубине 0,5; 2,5; 4,5 м от поверхности моря. В дни отбора проб отмечали ветро-волновые процессы в бухте (штиль, волнение 3 балла, шторм) как основного фактора взмучивания осадка и дополнительного поступления в толщу воды органических веществ и продуктов их деструкции.

Воду со всех горизонтов отбирали специальным пробоотборником, определяли рН, растворенный кислород, БПК₅, взвешенное вещество (ВВ), температуру (Унифицированные ..., 1973). Фитопланктон отделяли на нуклеопоровых фильтрах (диаметр пор 1,0 мкм) методом обратной фильтрации. Микрофитобентос изучали на раковинах мидий *Mytilus galloprovincialis* L., обитающих на сваях на указанной выше глубине. Обработку проб фитопланктона и микрофитобентоса проводили по методикам, описанным ранее (Сорокин, 1979; Рябушко, 1990). Всего собрано 211 проб.

В фильтрате после отделения фитопланктона определяли концентрацию фосфатов, аммония, нитратов, нитритов, кремния (Методы ..., 1978) и органических соединений фосфора и азота (Унифицированные ..., 1973) в 5 параллельных пробах для каждого горизонта. В таблицах и на рисунках приведены усредненные значения для каждой экспериментальной серии на основании 576 гидрохимических измерений.

Результаты

Вода в исследуемой акватории обогащена органическими и неорганическими соединениями азота и фосфора (рис. 1-4). В результате жизнедеятельности млекопитающих – сивучей, морских котиков и дельфинов, а также культивируемых мидий, в воде накапливаются органические азот- и фосфорсодержащие соединения, образующие характерный осадочный комплекс. Аномально высокие для лета концентрации биогенных элементов отмечены в июле. Это связано с размещением в конце июня в вольерах, расположенных поблизости от места отбора проб, 15 дельфинов, экскременты которых начали поступать в бухту в значительном количестве. Один дельфин (по данным экспериментальных работ в закрытом бассейне) экскретирует в среднем 2-7 кг ВВ/сут, состоящего на 40-65 % из ОВ. Деструкция органических соединений приводит к обогащению вод биогенными элементами в виде неорганических форм азота и фосфора (рис. 2-4). Постоянные перемещения дельфинов, а также ветро-волновые явления в бухте, также способствуют насыщению водной толщи соединениями N и P вокруг вольеров (табл. 1).

С появлением в вольерах значительного количества дельфинов NH_4^+ в воде присутствовал постоянно (см. рис. 3). Седиментация ОВ в виде пеллет и взвеси обогащает донные сообщества бухты органическим веществом, особенно вокруг мест расположения вольеров с морскими млекопитающими. Биотурбация и взмучивание осадка на мелководье во время штормов влияет на вертикальное распределение NH_4^+ в толще воды. Так, после сильного декабрьского шторма резко возросло количество общего и неорганического азота и, соответственно, БПК₅ (см. табл. 1). Аммонификация растворенного ОВ происходила на всех горизонтах, максимальное количество NH_4^+ отмечено весной и осенью (см. рис. 3). Активному процессу нитрификации способствовало достаточное насыщение воды кислородом, высокие значения БПК₅, оптимальные зна-

чения рН и постоянный приток ОВ на протяжении всего года (см. табл. 1). Окисление NH_4^+ происходило быстрее в поверхностном слое, где во все сезоны года отношение было $\text{NH}_4^+ : \text{NO}_3^- = 1 : 1$. С увеличением глубины формировались более восстановительные условия и отмечалось отношение $\text{NH}_4^+ : \text{NO}_3^- = 2 : 1$.

Одновременно с NO_3^- в воде постоянно присутствовал промежуточный продукт окисления NH_4^+ – нитриты. Быстрое накопление NO_2^- сопровождалось максимальным

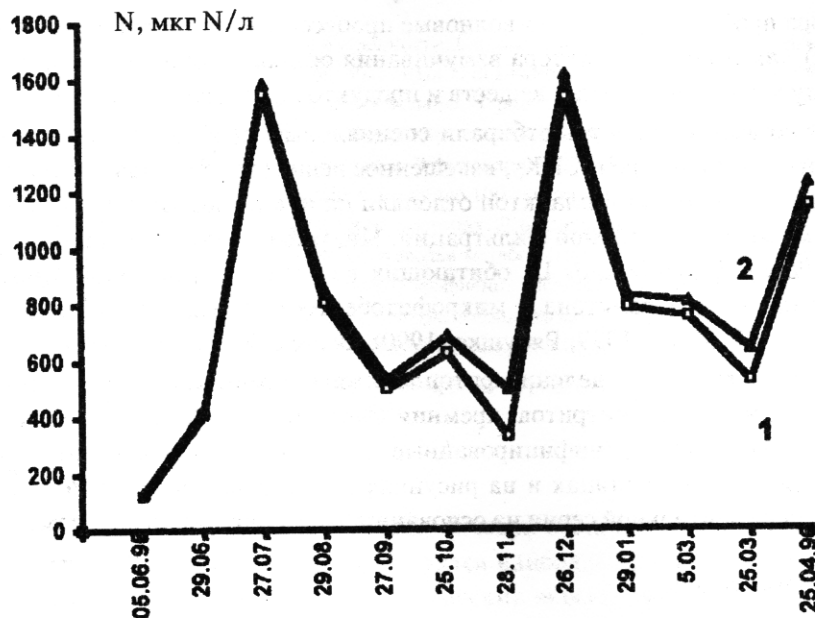


Рис. 1. Сезонная динамика концентраций растворенных в воде органического (1) и общего (2) азота.

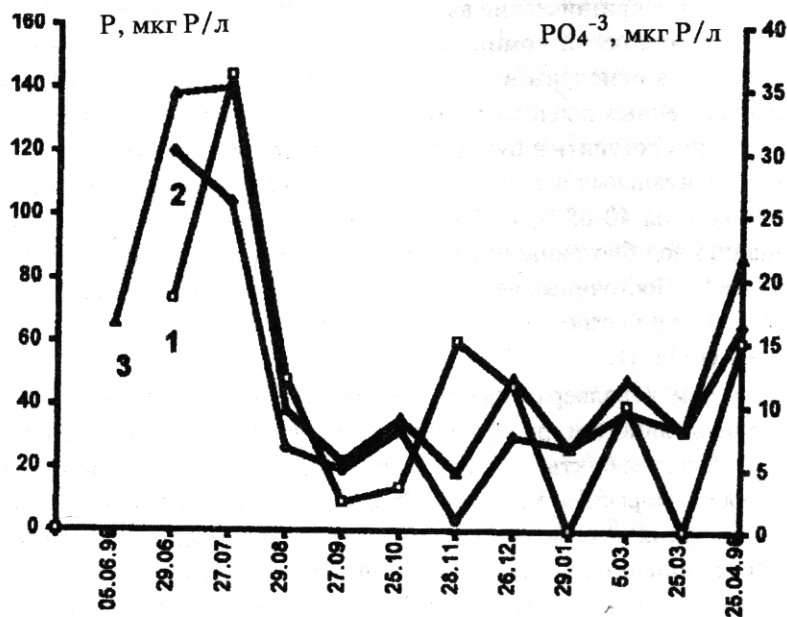


Рис. 2. Сезонная динамика концентраций растворенных в воде ортофосфата (1), органического (2) и общего (3) фосфора.

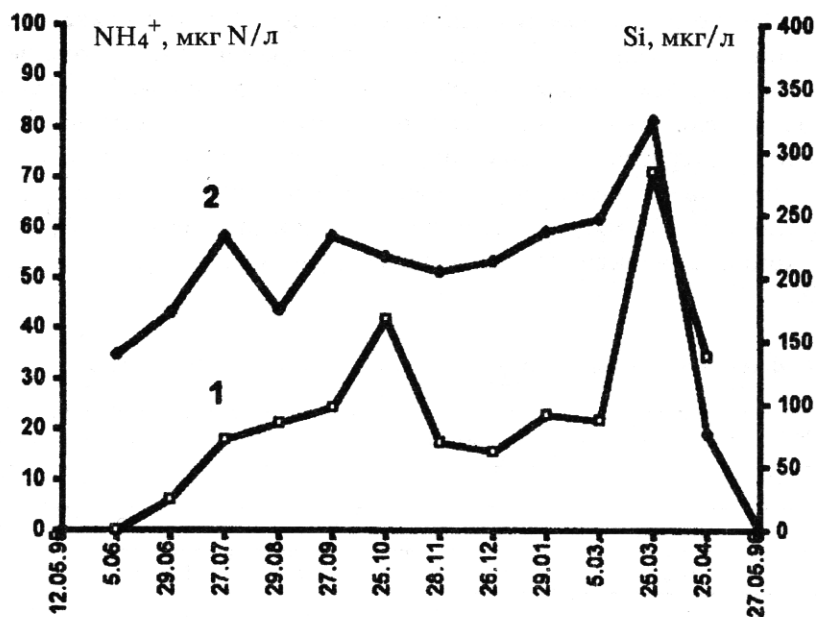


Рис. 3. Сезонная динамика концентраций растворенных в воде аммония (1) и кремния (2).

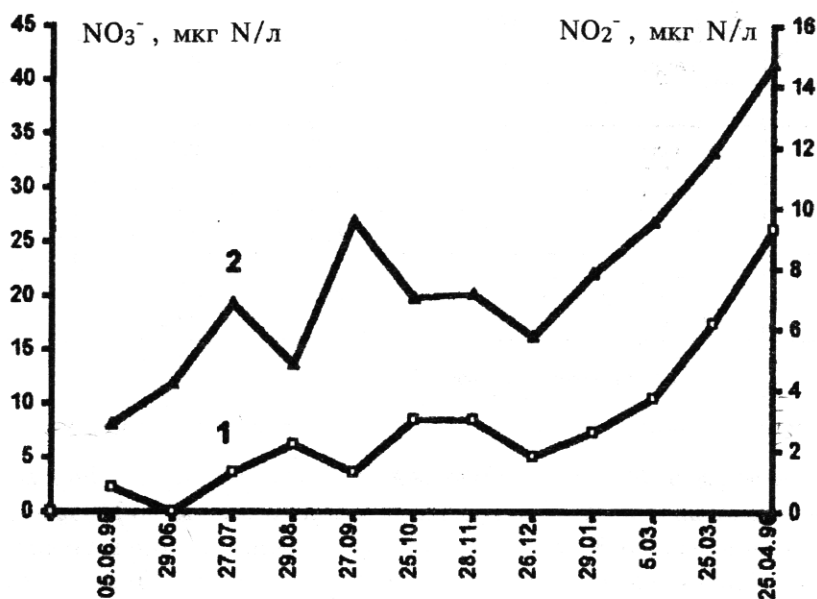


Рис. 4. Сезонная динамика концентраций растворенных в воде нитритов (1) и нитратов (2).

окислением NH_4^+ , особенно в весенний и осенний периоды (рис. 3, 4). Окисление NO_2^- до NO_3^- на протяжении года проходило примерно с одинаковой скоростью, что видно по характеру изменений кривых на рис. 4. В весенний период концентрации всех неорганических форм азота достигали максимальных значений. Как и для NH_4^+ , концентрация фосфатов возрастала с глубиной, достигая в придонном горизонте 2,5–3,0 мкг•ат P/л в июле и ноябре. Количество $\text{P}_{\text{орг}}$ в то же время уменьшалось от поверхности к придонному слою от 4,5 до 1,5 мкг•ат P/л. Видимо, деструкция ОВ, сопровождающаяся отщеплением неорганических соединений фосфора, наиболее активна в

придонных слоях воды и на поверхности донного осадка. Сезонная динамика концентраций неорганического кремния совпадала с характером изменений количества NH_4^+ (см. рис. 3). Практически стабильное содержание Si в морской воде сохранялось в течение всего года, что, по-видимому, связано с относительно равномерным растворением кремнистого материала, постоянно присутствующего в толще воды. Исключением является возрастание концентрации кремния в марте-апреле в подповерхностном и придонном слоях до 350 мкг/л с последующим снижением его содержания почти до аналитического нуля во всей водной толще во время массовой вегетации диатомовых водорослей.

Таблица 1. Физико-химические характеристики воды бухты Казачья Черного моря

Время отбора проб воды	Состояние моря	Температура, °C	pH	O ₂ *, мг/л	БПК ₅ *, мг O ₂ /л
1995 г.					
Июнь	Штиль	22,8	7,95	7,46 ± 0,3	2,15 ± 0,16
Июль	Шторм	23,5	8,09	5,58 ± 0,1	3,24 ± 0,24
Август	3 балла	23,5	8,26	6,62 ± 0,2	3,71 ± 0,2
Сентябрь	Штиль	19,0	8,16	5,38 ± 0,1	2,59 ± 0,12
Октябрь	Штиль	15,0	8,19	6,04 ± 0,2	2,05 ± 0,06
Ноябрь	Штиль	12,0	8,19	7,90 ± 0,3	3,28 ± 0,04
Декабрь	Шторм	9,2	8,02	9,60 ± 0,4	4,74 ± 0,26
1996 г.					
Январь	3 балла	6,9	8,24	9,83 ± 0,4	3,94 ± 0,2
Февраль	Штиль	6,8	8,17	11,59 ± 1,0	2,43 ± 0,12
Март	Штиль	7,7	8,26	10,05 ± 0,7	1,70 ± 0,04
Апрель	3 балла	10,5	8,20	9,62 ± 0,7	2,58 ± 0,2
Май	Штиль	18,7	8,00	8,06 ± 0,5	3,64 ± 0,12
* – Доверительный интервал для уровня значимости 0,95.					

Микроводоросли бухты представлены диатомовыми, перидиниевыми, золотистыми, синезелеными и другими микрофитами. Всего обнаружено 170 видов и внутривидовых таксонов, из них 88 – в планктоне. В фитопланктоне преобладали микрофиты отделов: *Dinophyta* (42 вида), *Bacillariophyta* (35), *Chrysophyta* (10) и *Cryptophyta* (1). В различные сезоны года по численности и биомассе доминировало 24 вида, относящихся к родам: *Ceratium* Schrank, *Scrippsiella* Balech ex Loeblich, *Gymnodinium* Stein, *Prorocentrum* Ehr., *Chaetoceros* Ehr., *Cerataulina* H. Perag, *Nitzschia* Hass., *Navicula* Bory, *Rhizosolenia* (Ehr.) Bright., *Skeletonema* Grev., *Thalassionema* Grun., *Emiliania* Reinh?. Круглогодично доминировали диатомовые, а в весенне-осенний период – динофлагелляты и золотистые водоросли.

Микрофитобентос представлен в основном отделом *Bacillariophyta* с доминированием пennisных диатомовых, хотя в летне-осенний период встречались *Cyanophyta*. В течение года обнаружено около 100 видов и внутривидовых таксонов диатомовых водорослей, из которых 19 видов доминировали – это представители родов *Amphora*

Ehr., *Berkeleya* Grev., *Cocconeis* Ehr., *Cylindrotheca* Rabh., *Falcula* Voight, *Gomphonema* Ehr., *Gyrosigma* Hass., *Licmophora* Ag., *Navicula*, *Nitzschia* Hass., *Synedra* Ehr. Наибольшее число видов микроводорослей найдено в планктоне в августе (50 видов), а в бентосе – в апреле (60).

В весенний период (конец февраля-апрель) плотность клеток микроводорослей достигала максимальных значений в обоих биотопах (рис. 5, 6). Однако биомасса фитопланктона была не очень велика из-за доминирования *Bacillariophyta* мелких размеров (представители родов *Licmophora*, *Nitzschia*, *Skeletonema*). Максимум численности и биомассы фитопланктона отмечен в марте ($3,9 \cdot 10^6$ кл/л) и августе ($7,9 \cdot 10^3$ мг/м³) за счет развития *Nitzschia seriata* Cl. (март-май), *Chaetoceros curvisetus* Cl. (начало июня), *Rhizosolenia calcar-avis* M. Shultze (июль-сентябрь, ноябрь) (см. рис. 5). Наибольший поток детрита из толщи воды в грунт отмечен в марте во время зимне-весеннего "цветения" фитопланктона при массовой вегетации *Bacillariophyta*. В июле-октябре на фоне низкой численности клеток основной вклад в биомассу фитопланктона вносили крупные водоросли рода *Rhizosolenia*.

В отличие от фитопланктона, имеющего два пика "цветения" – весенний и летний, максимальное развитие микрофитобентоса наблюдалось при минимальной зимне-весенней температуре воды (см. рис. 6). Наибольшие значения численности

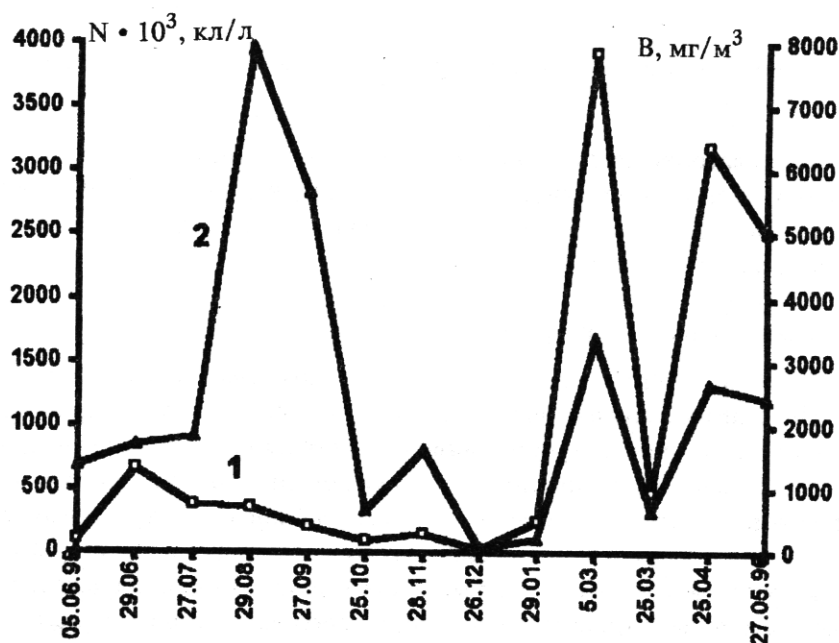


Рис. 5. Сезонная динамика плотности (1) и биомассы (2) фитопланктона.

($488,3 \cdot 10^3$ кл/см²) и биомассы (1,64 мг/см²) фитообрастаний отмечены в конце марта за счет развития *Nitzschia hybrida* Grun. f. *hyalina* Pr.-Lavr. и *Gyrosigma tenuissima* (W.Sm.) Griffith et Henfrey, которые встречаются в микрофитобентосе б. Казачья круглый год. В конце июня, когда антропогенное воздействие на воды бухты усилилось и концентрации органических соединений азота и фосфора резко увеличились (см. рис. 1, 2), возросла биомасса микроводорослей (рис. 5, 6) и макрофитов родов *Cladophora* Kütz., *Ectocarpus* Lyngb., *Enteromorpha* Link., *Ceramium* Roth, *Ulva* L. В дальнейшем биота адаптировалась к дополнительной нагрузке и концентрации биогенных элементов стабилизировались на более низком уровне.

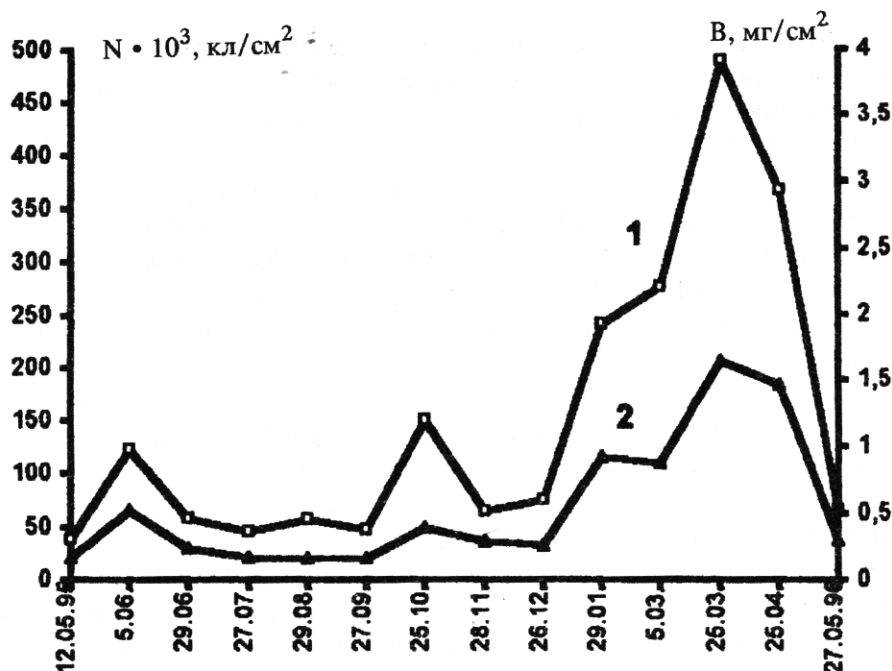


Рис. 6. Сезонная динамика плотности (1) и биомассы (2) микрофитобентоса.

Для вод акватории рассчитаны атомарные отношения кремний : азот : фосфор, где азот представлен пулом неорганических соединений (табл. 2). Соотношения Si : N : P отличаются нестабильностью, особенно в период после "цветения" диатомовых водорослей как в планктоне, так и в бентосе.

Обсуждение результатов

Повышенная продуктивность неритических морских экосистем, по сравнению с пелагическими, в значительной степени вызвана ускоренной циркуляцией биогенных элементов, в том числе регенерацией их на границе раздела дно - вода (Пропп, Пропп, 1981). В умеренных широтах сезонные изменения гидрологических и гидрохимических параметров среды оказывают заметное влияние на биоту исследуемых акваторий. Зимой, вслед за понижением температуры в верхних отделах шельфа, устанавливается гомотермия вод и из-за конвективной турбулентности происходит подъем к поверхности глубинных вод, обогащенных у дна регенерированными биогенными элементами. Поэтому в прибрежном мелководье устанавливаются благоприятные условия для массовой вегетации как фитопланктона, так и микрофитобентоса.

Зимний комплекс диатомового сообщества бентоса Черного моря начинает формироваться в конце декабря на фоне низких температур, снижения солнечной радиации, а также в период ослабленной пищевой активности беспозвоночных, что отражается на продукционных показателях микроводорослей (Рябушко, 1993, 1994). Весенний комплекс характеризуется расцветом диатомовой флоры после зимнего обогащения придонных вод биогенными элементами (см. рис. 6). Вспышка численности диатомовых водорослей, достигающая максимума в марте-апреле, приводит к уменьшению содержания в воде аммонийного азота, фосфора и, особенно, кремния (см. рис. 2, 3).

Годовая динамика развития микроводорослей на моллюсках и макрофитах в б. Казачья имеет сходные тенденции (Рябушко, 1993). Однако из-за антропогенного пресса

Таблица 2. Годовая динамика соотношений азота, фосфора и кремния в воде бухты Казачья Черного моря

Месяц, год	Отношения атомных эквивалентов			
	Si : N* : P	N* : P	Si : N*	P : Si
1995 г.				
Июнь	1,0 : 3,9 : 2,6	1,5 : 1,0	1,0 : 3,9	1,0 : 0,4
Июль	1,0 : 3,9 : 2,1	1,9 : 1,0	1,0 : 3,9	1,0 : 0,5
Август	1,0 : 5,2 : 1,6	3,2 : 1,0	1,0 : 5,2	1,0 : 0,6
Сентябрь	3,1 : 25,6 : 1,0	25,6 : 1,0	1,0 : 8,3	1,0 : 3,1
Октябрь	2,4 : 18,7 : 1,0	18,7 : 1,0	1,0 : 7,6	1,0 : 2,4
Ноябрь	1,0 : 6,5 : 2,1	3,1 : 1,0	1,0 : 6,5	1,0 : 0,5
Декабрь	1,0 : 4,3 : 1,5	2,9 : 1,0	1,0 : 4,3	1,0 : 0,7
1996 г.				
Январь	2,2 : 11,9 : 1,0	11,9 : 1,0	1,0 : 5,7	1,0 : 2,2
Февраль	1,2 : 5,3 : 1,0	5,3 : 1,0	1,0 : 4,5	1,0 : 1,2
Март	12,3 : 89,6 : 1,0	89,6 : 1,0	1,0 : 7,3	1,0 : 12,3
Апрель	1,0 : 3,6 : 4,8	6,6 : 1,0	1,0 : 31,6	1,0 : 0,2
Май	1,0 : 9,9 : 6,5	1,5 : 1,0	1,0 : 9,9	1,0 : 0,2
N* – пул неорганических соединений азота.				

количество видов, плотность и биомасса диатомовых водорослей на раковинах моллюсков в 1,5–2 раза выше, чем в эпифитоне макрофитов, пробы которых отбирали на значительном расстоянии от вольеров с млекопитающими и коллекторов фермы по культивированию моллюсков. Дополнительное стабильное поступление в бухту органических соединений азота и фосфора, а также постоянная трансформации ОВ в прибрежном мелководье, обеспечивающая насыщение толщи воды биогенными соединениями в течение года, благотворно влияет на видовой состав микроводорослей и количественные показатели фитопланктона и микрофитобентоса.

Следует отметить значительное влияние трофического фактора на количественный и качественный состав фитопланктона. Так, спектр питания культивируемых на Черном море моллюсков-фильтраторов ограничен в основном микроводорослями размером менее 50 мкм (Биология ..., 1989). Поэтому мидии при высокой пищевой активности в летний период отфильтровывают из воды мелкие клетки водорослей и "цветение" фитопланктона в б. Казачья (см. рис. 6) происходит на фоне общей низкой численности клеток за счет вегетации крупных диатомей рода *Rhizosolenia*.

Концентрации NH_4^+ , NO_3^- , PO_4^{3-} в местах отбора проб в 2–5 раз превышают средние значения, характерные для других прибрежных районов Черного моря с различной антропогенной нагрузкой (Шульгина и др., 1978; Куфтаркова и др., 1990; Финкельштейн, Проненко, 1991), а в сравнении с открытым морем эти показатели на 1–2 порядка выше (Планктон ..., 1993). Однако количество кремния в бухте в несколько раз ниже, чем в верхнем 25-метровом слое вод шельфа (Основы ..., 1979). Таким образом, метаболиты млекопитающих и культивируемых мидий оказывают значительное влияние на химический состав прибрежного мелководья б. Казачья. Почти синхронное изменение на протяжении года концентраций Si и NH_4^+ в воде (см. рис. 3)

связано, возможно, со сходным механизмом регенерации этих неорганических соединений при деструкционных процессах, определяемых концентрацией растворенного кислорода (Сапожников, 1995).

О скорости распада органического вещества в море можно судить по динамике и соотношению органической и минеральной форм фосфора (Шульгина и др., 1978). Так, уменьшение органической компоненты фосфора часто сопровождается увеличением количества фосфатов в воде. Ассимиляция биогенных соединений микроводорослями происходит в определенных пропорциях. Соотношения Si : N : P для исследуемой акватории сильно варьируют и отличаются от значений, характерных для открытых морских и океанических вод (Атлантический океан – 16 : 16 : 1, Северное море – 7,2 : 14,7 : 1,2) (Сапожников, 1995). В результате ветро-волновых процессов, перемешивающих толщу воды и обогащающих ее фосфатами, увеличивается доля фосфора в соотношениях атомных эквивалентов Si : N : P (см. табл. 1, 2). После каждого шторма необходимо некоторое время, чтобы кремний регенерировался из взмученного осадка как биогенный элемент, поэтому повышение доли кремния в указанных соотношениях происходит медленнее, чем для азота и фосфора.

Анализ соотношений неорганических форм Si, N и P (см. табл. 2) позволяет предположить, что лимитирующими элементами, ограничивающими рост биомассы, плотности и, возможно, влияющими на видовой состав микроводорослей, являются в основном неорганические соли азота и кремния. Соотношения N : P, за исключением ряда месяцев (сентябрь, октябрь, январь-март), характеризуются значениями от 1,5 до 6 (см. табл. 2), означающими азотное лимитирование развития фитопланктона (Smith, 1984). В другие месяцы микроводоросли не испытывали недостатка в азотном и фосфорном питании. Когда в воде одновременно присутствуют NO_3^- и NH_4^+ , микроводоросли обычно более интенсивно поглощают аммонийный азот (Maestini et al., 1982; Kmet, 1987). Нарастание биомассы микроводорослей в наибольшей степени ограничивается доступностью NH_4^+ , а роль органического и нитратного азота при этом значительно меньше. Содержание кремния достигает к весеннему вегетационному периоду достаточных значений для быстрого нарастания биомассы микрофитов за счет интенсивного развития диатомовых водорослей. Однако дальнейшее снижение концентрации растворенного в воде кремния приводит к резкому изменению в соотношении Si : N : P, которое становится меньше 1 (табл. 2), что приводит к весенней и осенней перестройке структуры сообщества микроводорослей и в наибольшей степени лимитирует количественный рост и развитие микрофитобентоса, состоящего в основном из диатомовых водорослей.

Выводы

1. Метаболиты морских млекопитающих и культивируемых мидий существенно влияют на химический состав воды б. Казачья. Содержание в ней минеральных форм азота и фосфора в 2-5 раз выше, чем в других районах побережья и на 1-2 порядка превышает фоновые концентрации биогенных элементов открытых вод Черного моря.

2. Обогащение прибрежного мелководья растворенным органическим веществом благотворно влияет на видовой состав и количественные показатели фитопланктона и микрофитобентоса. Флора б. Казачья представлена 170 видами и внутривидовыми таксонами диатомовых, динофитовых, золотистых и синезеленых микроводорослей. Круглогодично доминируют диатомовые, а в теплые периоды года – динофлагелляты и золотистые водоросли. Фитопланктон имеет два максимума "цветения" – весенний и

летний, а микрофитобентос – весенний. Преобладание диатомовой флоры как в бентосе, так и в планктоне, наблюдается в период зимнего обогащения вод биогенными элементами и достигает максимума в марте–апреле.

3. Моллюски-фильтраторы оказывают влияние на качественный и количественный состав фитопланктона, отфильтровывая из воды мелкие клетки. Летнее "цветение" фитопланктона в б. Казачья происходит за счет вегетации крупных представителей рода *Rhizosolenia*, не входящих в спектр питания мидий, на фоне общей низкой численности микроводорослей.

4. Вспышка численности диатомовых водорослей во время весеннего "цветения" происходит на фоне снижения концентраций аммонийного азота, фосфатов и, особенно, кремния. Уменьшение в воде содержания кремния и азота резко меняет соотношения атомных эквивалентов Si : N : P и приводит к весенней и осенней перестройке структуры сообществ микроводорослей, что в наибольшей степени лимитирует количественный рост и развитие микрофитобентоса.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при финансовой поддержке Международного научного фонда (ISF, грант № К 27100). Авторы также выражают благодарность М. В. Кириковой за ценные замечания, сделанные при подготовке рукописи статьи.

L.L. Smirnova, V.I. Ryabushko, L.I. Ryabushko, I.I. Babich

A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas, National Academy of Sciences of Ukraine, 2, Nakhimov Prosp., Sevastopol, 335011, Crimea, Ukraine

THE INFLUENCE OF THE CONTENT OF NUTRIENTS ON MICROALGAE COMMUNITIES OF COASTAL SHALLOWS OF THE BLACK SEA

The study focused on annual dynamics of the abundance and biomass of microalgae and the content in shallow water of the Black Sea of N total, N_{org} , NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , P_{total} , P_{org} , PO_4^{3-} , Si. The observations and measurements were made at two sites of Kazachya Bay (down to 4.5 m depth) where enclosures for marine mammals and mussel collectors *Mytilus galloprovincialis* L. were placed. The authors found 88 taxa of phytoplankton and 100 of microphytobenthos. In spring, microalgae developed peak abundance in the both biotopes. The second peak was observed in phytoplankton in summer. The continuous input of organic matter into the near-shore shallows that is owing to the vital activity of animals kept in the enclosures and from the cultivated mussels, foster species richness and quantitative characteristics of local phytoplankton and microphytobenthos. The decrease of silicon and nitrogen content brings about a drastic shift in the ratio between Si:N:P atomic equivalents and triggers seasonal (spring and autumn) change in the structure of microalgae communities that, in turn, is the main factor inhibiting development and abundance of microphytobenthos in which diatoms prevail.

Key words: *microalgae communities, hydrochemical characteristics, the Black Sea.*

Биология культивируемых мидий / Под ред. В. Н. Иванова и др. – Киев: Наук. думка, 1989. – 100 с.

Бондарчук Л. Л. Некоторые данные по фотосинтезу бентосных диатомей Белого моря // Донная флора и продукция краевых морей СССР. – М.: Наука, 1980. – С. 108–118.

Воронков М. Г., Кузнецов И. Г. Кремний в живой природе. – Новосибирск: Наука, Сибир. отд-ние, 1984. – 156 с.

Куфтаркова Е. А., Ковригина Н. П., Бобко Н. И. Оценка гидрохимических условий бухты Ласпи – района культивирования мидий // Эколог. моря. – 1990. – Вып. 36. – С. 1–7.

Методы гидрохимических исследований океана / Под ред. О. К. Бордовского, В. Н. Иванкова. – М.: Наука, 1978. – 271 с.

Основы биологической продуктивности Черного моря / Под ред. В. Н. Грезе. – Киев: Наук. думка, 1979. – 391 с.

Планктон Черного моря / Под ред. А. В. Ковалева и др. – Киев: Наук. думка, 1993. – 276 с.

Пропл М. В., Пропл Л. Н. Гидрохимические основы процесса первичного продуцирования в прибрежном районе Японского моря // Биол. моря. – 1981. – № 1. – С. 29–38.

- Рябушко Л. И. Видовой состав, сезонная динамика плотности и биомассы диатомовых водорослей твердых грунтов верхней сублиторали залива Восток Японского моря // Биол. моря. – 1990. – № 5. – С. 3-11.
- Рябушко Л. И. Структура сообщества Bacillariophyta эпифитона *Gracilaria verrucosa* (Huds.) Papenf. из Черного моря // Альгология. – 1993. – 3, № 3. – С. 42-49.
- Рябушко Л. И. Диатомовые водоросли микрофитобентоса твердых грунтов прибрежных районов Севастопольской бухты (Черное море) // Там же. – 1994. – 4, № 2. – С. 15-21.
- Сапожников В. В. Гидрохимические основы биологической продуктивности Мирового океана // Химия морей и океанов. – М.: Наука, 1995. – С. 61-74.
- Сорокин Ю. И. К методике концентрирования проб фитопланктона // Гидробиол. журн. – 1979. – № 15. – С. 71-76.
- Унифицированные методы анализа вод / Под ред. Ю. Ю. Лурье. – М.: Химия, 1973. – 376 с.
- Финкельштейн С. М., Проненко С. М. Тенденция многолетних изменений концентрации фосфатов в западной части Черного моря // Экол. моря. – 1991. – Вып. 39. – С. 1-4.
- Шульгина Е. Ф., Куракова Л. В., Куфтаркова Е. А. Химизм вод шельфовой зоны Черного моря при антропогенном воздействии. – Киев: Наук. думка, 1978. – 121 с.
- Bodeanu N. Microalgal blooms in the Romanian area of the Black Sea and contemporary eutrophication conditions // Toxic phytoplankton blooms in the sea / Proc. 5th Intern. Conf. on Toxic Marine Phytoplankton (Eds. T. J. Smayda and Y. Shimizu). – Elsevier Sci. Publ., 1993. – P. 203-209.
- Dortch Q., Conway H. L. Interaction between nitrate and ammonium uptake: variation with growth rate, nitrogen source and species // Marin. Biol. – 1984. – 79, N 2. – P. 151-164.
- Glibert P. M., Biggs D. C., Mc Carthy J. J. Utilisation of ammonium and nitrate during austral summer in the Scotia Sea // Deep. Sea Res. – 1982a. – A 29, N 7. – P. 837-850.
- Glibert P. M., Goldman J. C., Carpenter E. J. Seasonal variations in the utilization of ammonium and nitrate by phytoplankton in Vineyard, Massachusetts USA // Marin. Biol. – 1982b. – 70, N 33. – P. 237-249.
- Kmet T. Why phytoplankton prefers ammonium to nitrate – explanation by mathematical model // Biologia (CSSR). – 1987. – 42, N 7. – P. 687-693.
- Maestini S. Y., Robert J.-M., Fruguet A. Simultaneous uptake of ammonium and nitrate by oyster-pond algae // Marin. Biol. Lett. – 1982. – 3, N 3. – P. 143-153.
- Paasche E., Kristiansen S. Nitrogen nutrition of the phytoplankton in the Oslofjord // Estuarine, Coast. and Shelf Sci. – 1982. – 14, N 3. – P. 237-249.
- Plante-Cuny M. R. Microphytobenthos de substrats meubles, chlorophylle "a" et production primaire // Production primaire et secondaire colloque Franco-Sovietique (Marseille). – 1980. – 4, N 10. – P. 153-170.
- Probyn J. A. Nitrogen uptake by size – fractionated phytoplankton populations in the southern Benguela upwelling system // Marin. Ecol. Progr. Ser. – 1985. – 22, N 3. – P. 249-258.
- Smith S. V. Phosphorus versus nitrogen limitation in the marine environment // Limnol. and Oceanogr. – 1984. – 29, N 6. – P. 1149-1160.
- Sullivan C. W., Volcani B. E. Silicon in the Cellular Metabolism of Diatoms // Silicon and Siliceous Struct. Biol. Syst. – New York, etc., 1981. – С. 15-42.
- Van Wambeke F., Bianchi M. A. Effect of organic nitrogen enrichments on marine planktonic networks and heterotrophic bacterial potential // Marin. Ecol. Progr. Ser. – 1990. – 63, N 1. – P. 17-25.

Получена 26.05.98
Подписала в печать Л. А. Сиренко