

УДК 581.551.464 (262.5)

Л.И. РЯБУШКО, И.И. БАБИЧ, В.И. РЯБУШКО, Л.Л. СМИРНОВА

Ин-т биологии южных морей им. А. О. Ковалевского НАН Украины,
Украина, 99011 Севастополь, пр. Нахимова, 2

СЕДИМЕНТАЦИЯ ФИТОПЛАНКТОНА В БУХТЕ КАЗАЧЬЯ ЧЕРНОГО МОРЯ (УКРАИНА)

Рассмотрена сезонная динамика видового состава, численности и биомассы фитопланктона, осевшего в седиментационные ловушки, установленные с июня 1995 г. по май 1996 г. (время экспозиции 15-20 дней) на глубине 4,5 м на дне бухты Казачья Черного моря. Содержимое ловушек исследовали отдельно для двух фракций: в суспензии осадка на дне ловушки и в воде над осадком. Всего обнаружен 131 таксон микроводорослей, принадлежащих к отделам *Bacillariophyta* (95 таксонов), *Dinophyta* (25), *Chrysophyta* (8), *Cryptophyta* (2), *Cyanophyta* (1). В воде найдено 63 таксона, в суспензии осадка – 89, в обеих фракциях – 21. По числу видов преобладали *Bacillariophyta* (около 73 %), обнаруженные в осадке, и *Dinophyta* (19 %) – в толще воды. В процессе седиментации в структуре фитопланктонного сообщества происходит значительная дифференциация микроводорослей по биотопам обитания: более 40 % встреченных видов остается в толще воды и около 60 % переходит в донный осадок.

Ключевые слова: фитопланктон, седиментация, структура сообщества, Черное море.

Введение

В открытых океанических водах взвешенное вещество, включающее минеральные и органические компоненты, непрерывным потоком поступает из верхних слоев в нижние горизонты и, в конечном итоге, на дно. Накопление осадков часто влияет на состав и распределение донных организмов. Фитопланктон неритических вод в процессе седиментации осаждается на грунт и может частично включаться в состав микрофитобентоса шельфовой зоны моря. В отличие от открытых вод, в прибрежном мелководье между грунтом и водной толщей происходит интенсивный обмен взвешенным и осевшим веществом, вызванный турбулентной диффузией. Поэтому на структуру фитопланктонного сообщества значительное влияние оказывают микроводоросли бентоса, так же как и микрофитобентос находится под постоянным воздействием планктонного поля.

Цель работы – исследовать видовой состав и количественные характеристики фитопланктона прибрежного мелководья при его седиментации на дно моря для оценки дифференциации микроводорослей по двум биотопам – в толще воды и донных осадках. Данная статья является пятым сообщением, выполненным в рамках комплексной программы по исследованию структурных характеристик микрофитобентоса и фитопланктона как единого эколого-флористического комплекса микроводорослей Черного моря (Рябушко и др., 1999, 2000; Смирнова и др., 1999; Рябушко, Рябушко, 2001).

© Л.И. Рябушко, И.И. Бабич, В.И. Рябушко, Л.Л. Смирнова, 2004

Материалы и методы

Исследования проводили в б. Казачья крымского побережья Черного моря в районе расположения вольеров с морскими млекопитающими НИЦ «Государственный Океанариум» МО, НАН Украины и коллекторов экспериментальной фермы по культивированию моллюсков. На дне бухты на глубине 4,5 м устанавливали кассету со стеклянными ловушками объемом 1 л и диаметром входного отверстия 3 см. Пробы отбирали с июня 1995 г. по май 1996 г. Время экспозиции ловушек составляло в 1995 г.: 29 июня – 10 июля; 18 июля – 7 августа; 16 августа – 12 сентября; 27 сентября – 11 октября; 25 октября – 15 ноября; 28 ноября – 12 декабря; 26 декабря – 9 января; в 1996 г.: 5-18 марта; 8 – 18 апреля; 25 апреля – 14 мая. Для анализа состава микроводорослей в ловушках содержимое каждого сосуда разделяли на осадок и жидкость над ним. Пробы фитопланктона концентрировали на воронке обратной фильтрации, используя нуклеопоровые фильтры с диаметром пор 1 мкм (Сорокин, 1979). Обработку проб микроводорослей проводили по методике, описанной в литературе (Рябушко и др., 2000). Одновременно в пробах воды из каждой ловушки определяли концентрацию биогенных элементов: NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , $\text{N}_{\text{орг}}$, PO_4^{3-} , $\text{P}_{\text{орг}}$, Si (Смирнова и др., 1999). Объемы осадка в ловушках измеряли мерным цилиндром. Обработку проб микроводорослей в осадке (суспензии) проводили по методике, описанной ранее (Левин и др., 1991). Всего в ловушках собрано 34 пробы, из них 18 проб суспензии и 16 проб воды. Выполнено 105 гидрохимических анализов воды. Скорость седиментационного потока детрита (V , $\text{мл}\cdot\text{см}^{-2}\cdot\text{сут}^{-1}$) рассчитывали по формуле: $V = F/C$, где F – поток седиментации, $\text{мл}\cdot\text{сут}^{-1}$, C – площадь сечения потока, см^2 . Для учета структурных показателей сообщества микроводорослей использовали индекс сходства, или общности видов Чекановского-Сёренсена (Песенко, 1982).

Результаты

Исследования седиментационного потока в толще воды б. Казачья и гидрохимических характеристик в ловушках показали следующее (табл. 1, рис. 1). Среднегодовая скорость седиментационного потока детрита составляет $0,137 \pm 0,038 \text{ мл}\cdot\text{см}^{-2}\cdot\text{сут}^{-1}$. Минимальный поток приходится на период с апреля по октябрь и определяется климатическими условиями и летней стратификацией вод. Максимальный поток детрита наблюдали с ноября по март, когда происходит переотложение осадочного материала, поднимающегося на мелководье в толщу воды в результате осенне-зимних штормов. В целом, отмечена хорошая обратная корреляция между температурой воды в бухте и скоростью седиментационного потока (см. рис. 1).

Концентрации аммония и нитратов в воде седиментационных ловушек практически не отличались от фоновых значений (Смирнова и др., 1999), за исключением ноября, когда отмечались самые высокие концентрации NH_4^+ и NO_3^- , что можно объяснить обогащением прибрежных вод биогенными элементами после сильного шторма (см. табл. 1). Концентрация нитритов, фосфатов, и особенно кремния, органических соединений азота и фосфора, постоянно выше в ловушках по сравнению с фоном. Это вызвано, возможно, более медленной минерализацией органического вещества в сосудах и спецификой дальнейшего развития фитопланктона после оседания в ловушки.

Таблица 1. Концентрация биогенных элементов в седиментационных ловушках, установленных в бухте Казачья Черного моря

Биогенный элемент	июль 1995 г.	август 1995 г.	сентябрь 1995 г.	ноябрь 1995 г.	апрель 1996 г.
NH_4^+ , мкг N/л	15,5	25,0	18,5	115,0	26,0
NO_2^- , мкг N/л	33,5	8,4	15,5	35,7	21,0
NO_3^- , мкг N/л	25,8	10,5	25,4	74,2	50,7
$\text{N}_{\text{орг}}$, мкг N/л	1440	2800	1500	295	1505
PO_4^{3-} , мкг P/л	Следы	47,0	10,0	80,5	82,5
$\text{P}_{\text{орг}}$, мкг P/л	217,0	173,0	280,0	146,5	112,5
Si, мкг/л	620,0	350,4	340,0	238,0	272,5

Всего за время исследований в воде и осадочной суспензии ловушек обнаружен 131 таксон водорослей, относящихся к отделам *Dinophyta* – 25 видов, принадлежащих к 13 родам; *Bacillariophyta* – 95 видов, разновидностей и форм, 46 родов; *Chrysophyta* – 8 видов, 8 родов; *Cryptophyta* – 2 вида, 2 рода; *Cyanophyta* – 1 вид (табл. 2).

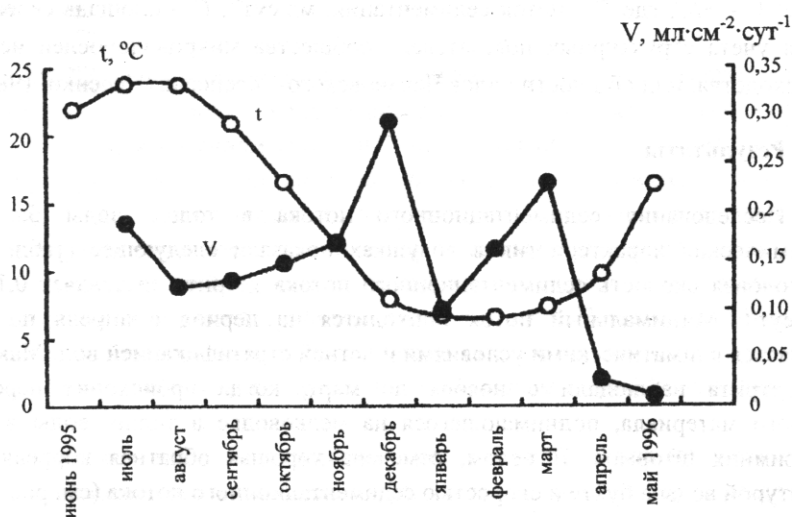


Рис. 1. Сезонная динамика температуры воды (t) и плотности седиментационного потока (V) в бухте Казачья Черного моря.

Динамика состава микроводорослей в седиментационных ловушках определяется в основном не количеством видов оставшихся в толще воды, а тем составом микроводорослей, клетки которых оседают на дно сосуда (см. рис. 2).

Таблица 2. Видовой состав микроводорослей седиментационных ловушек, установленных в бухте Казачья Черного моря

Таксон	Месяц										
	I	III	IV	V	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
DINOPHYTA											
<i>Amphidinium lacustre</i> Stein				+							
<i>Dinophysis caudata</i> Saville-Kent								+			
<i>D. fortii</i> Pav.									+		
<i>Glenodinium lenticula</i> Bergh				+							
<i>G. paululum</i> Lind.			+	+							
<i>G. pilula</i> (Ostf.) Schill.						+				+	
<i>Glenodinium</i> sp.						+					
<i>Gonyaulax minima</i> Matz.			+			+	+				
<i>Gymnodinium simplex</i> (Lohm.) Kof. et Sw.					+	+					
<i>G. spirale</i> (Bergh) Kof. et Sw.				+							
<i>Gymnodinium</i> sp.1						+			+		
<i>Gyrodinium fissum</i> (Lev.) Kof. et Sw.				+							
<i>G. fusiforme</i> Kof. et Sw.			+		+	+	+	+			
<i>G. pingue</i> (Shütt) Kof. et Sw.						+					
<i>Heterocapsa triquetra</i> (Ehr.) Stein				+							
<i>Katodinium glaucum</i> (Lebour) Loeblich				+							
<i>Lingulodinium polyedrum</i> (Stein) Dodge							+				
<i>Oxytoxum longum</i> Schill.				+							
<i>Prorocentrum compressum</i> (Baily) Abe ex Dodge				+							
<i>P. cordatum</i> (Ostf.) Dodge	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
<i>P. lima</i> (Ehr.) Dodge	+					+		+			
<i>P. micans</i> Ehr.		+			+	+	+	+	+		
<i>Protoperidinium mediterraneum</i> (Kof.) Balech		+					+				
<i>Protoperidinium</i> sp.										+	
<i>Scrippsiella trochoidea</i> (Stein) Loeblich III		+						+			
BACILLARIOPHYTA											
<i>Achnanthes brevipes</i> Ag.		*				*					
<i>A. longipes</i> Ag.					*						
<i>Amphora bigibba</i> Grun.						*					
<i>A. caroliniana</i> Giffen				*					*		
<i>A. coffeiformis</i> (Ag.) Kütz.	*	*			*	*	*		*	*	
<i>A. hyalina</i> Kütz.	*	*	*	+	*	*	*		*		
<i>A. inflexa</i> (Bréb.) H.L. Smith		*	*	+	*	+	*	*	*		
<i>A. parvula</i> Pr.-Lavr.	*	*							*	*	
<i>A. proteus</i> Greg.	*			*			*		*		
<i>Ardissonia baculus</i> (Greg.) Grun.	*			*	*		*				
<i>A. crystallina</i> (Ag.) Grun.						+	*				

продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Bacillaria paradoxa</i> Gmel.								*	*	
<i>Berkeleya rutilans</i> (Trent. ex Roth) Grun.	*	*	*	*	*	*	*		*	*
<i>Campylodiscus thuretii</i> Bréb. var. <i>lineolatus</i> Rr.-Lavr.									*	
<i>Chaetoceros affinis</i> Lauder							+			
<i>Ch. compressus</i> Lauder						+				
<i>Ch. diversus</i> Cl.				+		+				
<i>Ch. laciniosus</i> Schütt.				+						
<i>Chaetoceros socialis</i> Lauder		+		+	+		+	+		+
<i>Chaetoceros</i> sp.	*									
<i>Cerataulina pelagica</i> (Cl.) Hendey	+			+			+	+	+	+
<i>Cocconeis costata</i> Greg.	*				*	*	*			
<i>C. scutellum</i> Ehr.	*	*			*	*	*		*	*
<i>Cocconeis</i> sp.		*	*	*			*	*	*	*
<i>Coscinodiscus jonesianus</i> (Grev.) Ostf.	*	+		+	+	+	*	*	*	*
<i>Coscinodiscus</i> sp.		*								
<i>Cyclotella caspia</i> Grun.	*	*				*				
<i>Cyclotella</i> sp.	*			*						*
<i>Cylindrotheca closterium</i> (Ehr.) Reim. et Lewin	*	*	*	+	+	+	*	*	*	+
<i>Cymbella angusta</i> (Greg.) Gusl.		*	*	*	*	*	*	*	*	
<i>C. arcus</i> (Greg.) Gusl.			*		*					
<i>Diatoma tenue</i> Ag.						+				
<i>Diploneis chersonensis</i> (Grun.) Cl.					*					
<i>D. smithii</i> (Bréb.) Cl.		*		*		*				
<i>Diploneis</i> sp.1.									*	
<i>Diploneis</i> sp.2.		*								*
<i>Donkinia</i> sp.				*						
<i>Entomoneis alata</i> (Ehr.) Ehr.					*	+	*			*
<i>E. paludosa</i> (W. Sm.) Reim.	*	*	*	+		*	+		+	
<i>Fallacia forcipata</i> (Grev.) Strickle et Mann					*					
<i>Gomphonema</i> sp.				*						
<i>Grammatophora angulosa</i> Ehr.	*								*	
<i>G. marina</i> (Lyngb.) Kütz.	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Gyrosigma prolongatum</i> (W.Sm.) Grif. et Henf.	*	*	*			*	*			
<i>G. tenuissimum</i> (W.Sm.) Grif. et Henf.	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Haslea subagnita</i> (Pr.-Lavr.) Makar. et Kar.						*				
<i>Hyalodiscus scoticus</i> (Kütz.) Grun.				*						
<i>Leptocylindrus danicus</i> Cl.		+						+		
<i>L. minimus</i> Gran.				+						+
<i>Licmophora abbreviata</i> Ag.	*	+	+	*	+	+	*	*	*	*
<i>L. flabellata</i> Ag.		*	*			*			*	*

продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Lyrella</i> sp.								*	*	*
<i>Mastogloia</i> sp.						*		*		
<i>Navicula ammophila</i> var. <i>intermedia</i> Grun.		*		*						
<i>N. cf. clementis</i> Grun.							*			
<i>N. directa</i> W.Sm.			*	*						
<i>N. distans</i> (W.Sm.) Ralfs							*		*	
<i>N. palpebralis</i> var. <i>semiplena</i> (Greg.) Cl.	*									
<i>N. pennata</i> var. <i>pontica</i> Mer.	+*	+	+	+*	+*	+*	+	+*	+*	+*
<i>N. ramosissima</i> (Ag.) Cl.	*	*		*			*	*	*	
<i>Navicula</i> sp.1.		*								
<i>Navicula</i> sp.2.		*								
<i>Nitzschia constricta</i> (Greg.) Grun.	*	*			*		*	*	*	*
<i>N. hybrida</i> Grun. f. <i>hyalina</i> Pr.-Lavr.	*	*	*	*	*	*			*	*
<i>N. lanceolata</i> W.Sm.		*			*		*			
<i>N. longissima</i> (Bréb.) Ralfs	*	+	+*	+*	*	+*	+*			
<i>N. punctata</i> (W.Sm.) Grun. var. <i>coarctata</i> Grun.							*			
<i>N. rupestris</i> Pr.-Lavr.			*	*						
<i>N. sigma</i> (Kütz.) W.Sm. var. <i>intercedens</i> Grun.									*	*
<i>N. tenuirostris</i> Mer.	+*	+*	+*	+*	+*	+*	+*	+*	*	+*
<i>Nitzschia</i> sp.						*				
<i>Parlibellus delognei</i> (Van Heurck) Cox		*	*		*				*	
<i>Pinnularia</i> sp.						*				
<i>Plagiotropis lepidoptera</i> (Greg.) Reim.								*	*	
<i>Pleurosigma angulatum</i> (Quek.) W.Sm.		*		*					*	
<i>P. elongatum</i> W. Sm.			+*	*	*	+*	*			+
<i>Pleurosigma</i> sp.				*						
<i>Podosira hormoides</i> (Mont.) Kütz.					+					
<i>Proboscia alata</i> (Bright.) Sunström						+	+	+		
<i>Pseudonitzschia delicatissima</i> Cl.	+	+*	+*	+*	+*	+*	+	+*	+*	
<i>P. seriata</i> (Cl.) H. Perag.		+	+*	+	+	+	+			
<i>Pseudosolenia calcar-avis</i> (Schultze) Sunström	*					+*	+*	+*	+*	
<i>Rhabdonema adriaticum</i> Kütz.		*								*
<i>Rhopalodia gibberula</i> (Ehr.) O.Müll.		*				*			*	
<i>Rh. musculus</i> (Kütz.) O.Müll.				*						
<i>Simonsenia</i> sp.		*								
<i>Skeletonema costatum</i> (Grev.) Cl.	+	+*	*	*		*		+*	*	
<i>Striatella delicatula</i> (Kütz.) Grun.		*			*					
<i>S. interrupta</i> (Ehr.) Heib.				+						
<i>S. unipunctata</i> (Lyngb.) Ag.	*	*	*		*		*		*	*
<i>Synedra fasciculata</i> (Ag.) Kütz.		*	*							

окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Talassionema nitzschioides</i> Grun.	+	*	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Thalassiosira</i> sp.									*	
<i>Trachyneis aspera</i> Ehr.		*		*	*	*		*	*	*
<i>Undatella quadrata</i> (Bréb. ex Kütz.) Paddock et Sims		*	*	*		*	*	*	*	
CHRYSTOPHYTA										
<i>Acanthoica acanthos</i> (Schill.) Defl.					+					
<i>Calyptrorphaera oblonga</i> Lohm.							+			
<i>Coccolithus fragilis</i> Lohm.		+	+							+
<i>Dictyocha speculum</i> Ehr.						+				
<i>Emiliania huxleyi</i> (Lohm.) Hay et Mohler	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
<i>Pontosphaera echinofera</i> Schill.					+	+		+		
<i>Rhabdosphaera hispida</i> Lohm.			+	+						
<i>Syracosphaera subsalsa</i> Conrad.				+						
CRYPTOPHYTA										
<i>Cryptomonas erosa</i> Ehr.						*				
<i>Hillea fusiformis</i> Schill.				+						
CYANOPHYTA										
<i>Lyngbya</i> sp.	*				*			*		*
Всего видов микроводорослей в воде	9	16	15	31	17	31	20	18	10	12
Всего видов микроводорослей в осадке	31	40	26	35	35	37	32	22	41	25
Всего видов микроводорослей в ловушках	36	52	35	57	42	56	47	35	46	33
Примечание. + микроводоросли в воде, * микроводоросли в осадке.										

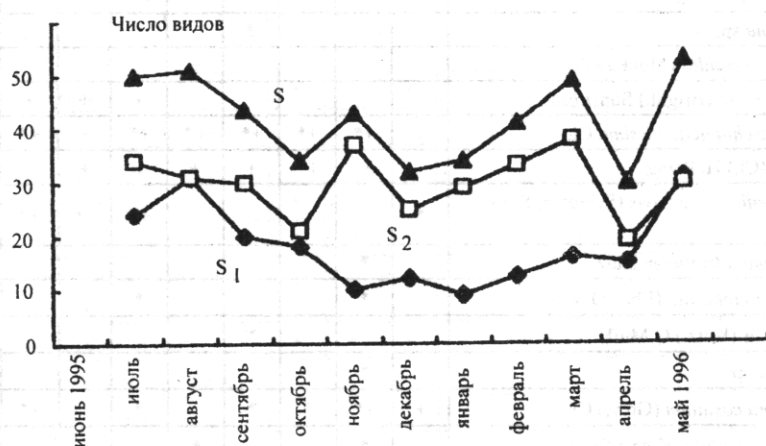


Рис. 2. Динамика числа видов микроводорослей бухты Казачья Черного моря в седиментационных ловушках: S – общее количество, S₁ – в воде, S₂ – в осадке.

В каждой ловушке видовое сходство между составом микроводорослей в толще воды и осадка низкое, т.е. происходит дифференциация клеток водорослей по биотопам. В жидкой фракции ловушек преобладали *Dinophyta*, а в осадке – *Bacillariophyta*. Индекс сходства видового состава Чекановского-Сёренсена (J) между микроводорослями толщи воды и осадка не превышает 0,40 (табл. 3). Наибольшее сходство отмечено в июле-августе ($J = 0,35-0,38$), а наименьшее – в марте ($J = 0,14$).

Таблица 3. Распределение микроводорослей в седиментационных ловушках, установленных в бухте Казачья Черного моря, в двух фракциях: в воде и осадке (количество таксонов: А – по фракциям, В – общее для фракций, С – всего в ловушке; J – индекс сходства)

Период	Фракция	А	В	С	J	Доминанты	
						по плотности	по биомассе
1	2	3	4	5	6	7	8
1995 г. (VII) 29.06.-10.07.	Вода	17	10	42	0,38	<i>Cylindrotheca closterium</i>	<i>Coscinodiscus jonesianus</i>
	Осадок	35				<i>Cylindrotheca closterium</i> , <i>Pseudonitzschia delicatissima</i>	<i>Entomoneis alata</i>
(VIII) 18.07.-7.08.	Вода	31	12	56	0,35	<i>Cylindrotheca closterium</i> , <i>Navicula pennata</i> var. <i>pontica</i>	<i>Proboscia alata</i> , <i>Entomoneis alata</i>
	Осадок	37				<i>Nitzschia tenuirostris</i> , <i>Cylindrotheca closterium</i>	<i>Entomoneis alata</i>
(IX) 16.08.-12.09.	Вода	20	6	47	0,23	<i>Nitzschia tenuirostris</i>	<i>Pseudosolenia calcar-avis</i>
	Осадок	32				<i>N. pennata</i> var. <i>pontica</i> , <i>Nitzschia tenuirostris</i>	<i>Entomoneis alata</i> , <i>Pleurosigma elongatum</i>
(X) 27.09.-11.10.	Вода	18	5	35	0,25	<i>N. pennata</i> var. <i>pontica</i>	<i>Pseudosolenia calcar-avis</i> , <i>Dinophysis caudata</i>
	Осадок	22				<i>Pseudosolenia calcar-avis</i>	<i>Pseudosolenia calcar-avis</i>
(XI) 25.10.-15.11.	Вода	10	5	46	0,20	<i>Navicula pennata</i> var. <i>pontica</i> , <i>Thalassionema</i> <i>nitzschiioides</i>	<i>Dinophysis fortii</i> , <i>Pseudosolenia calcar-avis</i>
	Осадок	41				<i>Skeletonema costatum</i> , <i>Bacillaria socialis</i> var. <i>baltica</i> , <i>Licmophora abbreviata</i>	<i>Plagiotropis lepidoptera</i> , <i>Striatella unipunctata</i> , <i>Pleurosigma angulatum</i>
(XII) 28.11.-12.12.	Вода	12	4	33	0,22	<i>Cylindrotheca closterium</i>	<i>Pleurosigma elongatum</i>
	Осадок	25				<i>Nitzschia hybrida</i> f. <i>hyalina</i>	<i>Nitzschia hybrida</i> f. <i>hyalina</i>
1996 г. (I) 26.12.-9.01.	Вода	9	4	36	0,20	<i>Nitzschia tenuirostris</i>	<i>Cerataulina pelagica</i> , <i>Nitzschia tenuirostris</i>
	Осадок	31				<i>Cylindrotheca closterium</i> , <i>Nitzschia hybrida</i> f. <i>hyalina</i>	<i>N. hybrida</i> f. <i>hyalina</i> , <i>Striatella unipunctata</i>
(III) 5.03.-18.03.	Вода	16	4	52	0,14	<i>Skeletonema costatum</i>	<i>Skeletonema costatum</i> , <i>Licmophora abbreviata</i> , <i>Prorocentrum micans</i>
	Осадок	40				<i>Skeletonema costatum</i> , <i>N. tenuirostris</i> , <i>Cylindrotheca closterium</i> , <i>L. abbreviata</i>	<i>Pleurosigma angulatum</i> , <i>Nitzschia hybrida</i> f. <i>hyalina</i>

Окончание табл. 3

1	2	3	4	5	6	7	8
(IV) 8.04.-18.04.	Вода	15	6	35	0,29	<i>Pseudonitzschia seriata</i>	<i>Pseudonitzschia seriata</i>
	Осадок	26				<i>P. delicatissima</i> , <i>Nitzschia tenuirostris</i> , <i>Cylindrotheca closterium</i>	<i>Nitzschia rupestris</i> , <i>Pleurosigma elongatum</i> , <i>Striatella unipunctata</i>
(V) 25.04.-14.05.	Вода	31	9	57	0,27	<i>Nitzschia tenuirostris</i>	<i>Entomoneis paludosa</i> , <i>Nitzschia longissima</i>
	Осадок	35				<i>N. tenuirostris</i> , <i>Cylindrotheca closterium</i>	<i>N. hybrida</i> f. <i>hyalina</i> , <i>Pleurosigma elongatum</i>

Около десяти видов водорослей относятся к круглогодичным (см. табл. 2). На протяжении года преобладают диатомовые, а в летне-осенний период – динофитовые, золотистые и синезеленые водоросли. Наибольшее число видов диатомовых принадлежит к родам *Nitzschia* Hass. (9 видов и разновидностей) и *Chaetoceros* Ehr. (6 видов). Из динофитовых ведущее место занимают роды *Glenodinium* Ehr. и *Prorocentrum* Ehr. (по 4 вида).

Золотистая водоросль *Emiliania huxleyi* (Lohm.) Hay et Mohler, доминирующая в фитопланктоне Черного моря в летний период (Рябушко и др., 1999, 2000), в ловушках встречалась почти круглый год, но в небольших количествах, а в суспензии – крайне редко (табл. 2, 3).

Больше всего видов микроводорослей отмечено в осадке на дне ловушек, где зарегистрировано 89 таксонов (58,6 % общего количества), а в толще воды – 63 (41,4 %), из них 20 видов и 1 разновидность были общими для двух фракций. Наибольшее количество общих видов (9-12) характерно для ловушек, простоявших в море в летний период, в остальные сезоны общее количество видов колебалось от 4 до 6 (см. табл. 3). Поздневесенний и летний сезоны наиболее богаты видами ($S = 56$ и 57), наименьшее число видов ($S = 33$) отмечено зимой (см. рис. 2). В летние месяцы наибольшее количество общих видов (12) присутствует в воде и осадке.

Однако не все виды, встречающиеся в течение года, как в планктоне, так и в бентосе Черного моря, доминируют в ловушках. Из-за морфологических особенностей лишь немногие виды пennisных диатомей, имеющие толстый панцирь, способны длительное время пребывать в толще воды. Они обычно заселяют различные типы органических и неорганических субстратов. Такие типичные донные формы диатомей родов *Lyrella* Simonsen, *Diploneis* Ehr., *Synedra* Ehr., *Achnanthes* Bory, *Ardissonia* De Notaris и др. оседают в ловушках вследствие вымывания их из грунта при взмучивании воды во время штормов. Отмечено лишь четыре вида *Bacillariophyta*, образующие массовые скопления в осадке либо в воде, либо в обеих фракциях: *Cylindrotheca closterium* (Ehr.) Reim. et Lewin, *Nitzschia tenuirostris* Mer., *Navicula pennata* var. *pontica* Mer. и *Pseudonitzschia delicatissima* Cl. (см. табл. 3). В летний сезон эти водоросли достигают высоких концентраций и доминируют как в планктоне, так и в бентосе Черного моря.

В течение года динамика средних значений плотности и биомассы микроводорослей в ловушках (рис. 3, 4) соответствует характеру изменений количественных показателей фитопланктона б. Казачья (Рябушко и др., 2000). Численность и биомасса водорослей в суспензии ловушек изменялись от $0,45 \cdot 10^3$ до $13,7 \cdot 10^3$ кл·см⁻² и от 1,54 до 30,3 мг·см⁻² соответственно. Эти же значения в воде ловушек варьировали от $0,11 \cdot 10^6$ до $6,63 \cdot 10^6$ кл·л⁻¹ и от 0,28 до 30,4 г·м⁻³.

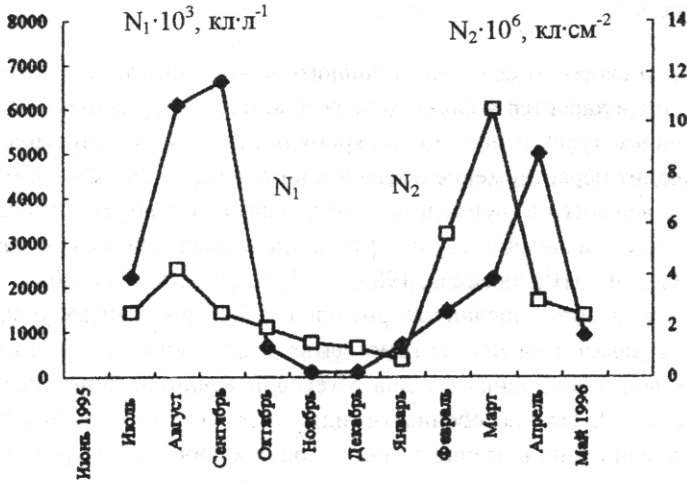


Рис. 3. Динамика численности микроводорослей бухты Казачья Черного моря в седиментационных ловушках: N_1 - в воде, N_2 - в осадке.

Наименьшие величины численности и биомассы микроводорослей отмечены в зимний сезон, а максимальные – весной (с 5 по 18 марта) в суспензии, а летом (с 16 августа по 12 сентября) в водной фракции. В целом, диатомовые водоросли доминируют по численности (11 таксонов) и по биомассе – 19 (см. табл. 3).

Таким образом, количественные характеристики фитопланктона, осевшего в седиментационных ловушках, также показывают, что происходит дифференциация клеток микроводорослей по биотопам обитания.

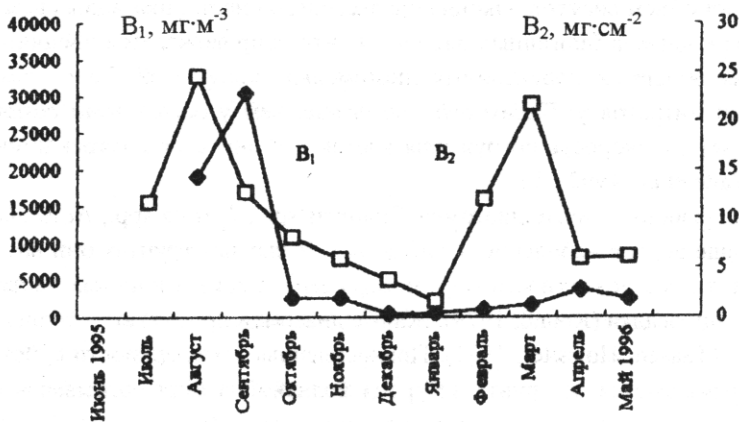


Рис. 4. Динамика биомассы микроводорослей бухты Казачья Черного моря в седиментационных ловушках: B_1 - в воде, B_2 - в осадке.

Обсуждение

Динамика скорости седиментационного потока детрита в б. Казачья имеет выраженный сезонный характер и связана, прежде всего, с нарушением летней стратификации и изменением турбулентности вод во время осенне-зимних штормов, когда на мелководье происходит переотложение осадков и интенсификация обмена между взвешенным и осевшим веществом грунта и водной толщи. В это время (с ноября по март) в бухте отмечен максимальный поток детрита, когда в оседающем веществе преобладают минеральные частицы (Шаловенков, 1983, 1985; Шаловенков, Акимов, 1987; Бобкова, 2000). Кроме того, в морях средних широт при понижении температуры в прибрежном мелководье устанавливается зимняя гомотермия вод и происходит подъем к поверхности глубинных вод, обогащенных у дна регенерированными биогенными элементами (Пропп, Пропп, 1981). Такие особенности гидрологических и гидрохимических условий способствуют увеличению в осенне-зимний период количества детрита в толще воды и усилению седиментационного потока в донные сообщества. Приоритетная роль среди биогенных элементов, обеспечивающих вегетацию водорослей в планктоне, принадлежит неорганическим соединениям азота, фосфора и кремния, поскольку при нехватке этих элементов в море одноклеточные водоросли снижают свою метаболическую активность. Именно в зимний период, вследствие повышения концентрации в воде биогенных элементов, начинают интенсивно развиваться диатомовые водоросли, достигая максимального развития в весенний период как в планктоне, так и в бентосе Черного моря (Рябушко и др., 2000; Рябушко, Рябушко, 2001).

Сопоставление качественного и количественного составов микроводорослей, обнаруженных в ловушках во взвешенном состоянии и в суспензии осадка, показало, что их значения были выше, чем в природном фитопланктоне и микрофитобентосе бухты Казачья (Рябушко и др., 2000). Это связано, вероятно, с более длительным нахождением в ловушках (2-3 недели) микроводорослей, по сравнению с одновременными отборами *in situ* проб фитопланктона и микрофитобентоса, а также с накоплением биогенных элементов вместе со взвешенным и растворенным органическим веществом, попадающим в объем сосудов. Окончание весеннего «цветения» воды связано, обычно, с исчерпанием запасов биогенных элементов, что сопровождается увеличением скорости погружения клеток планктонных диатомовых водорослей. При этом пороговые концентрации нитратов у *Thalassiosira* sp. выше, чем у *Skeletonema costatum* Grev. и *Chaetoceros* spp., а скорость погружения клеток регулируется внутреклеточным пулом нитратов (Waite et al., 1992a, b).

Как правило, донные диатомеи *Diploneis* spp., *Lyrella* spp., *Navicula* spp. встречаются в толще воды в небольших количествах. В рыхлых грунтах они находятся в интерстициали, т.е. на поверхности (или между) зерен песка и илистых частиц, или мигрируют в толщу осадка (Round, 1979). Живые диатомеи проникают в толщу осадка иногда до 16 см (Taasen, Høisæter, 1981). Прикрепленные к поверхности субстрата микроводоросли вымываются из грунта во время волнений в море, отрываясь и попадая в толщу воды вместе со взмученными донными осадками (De Jonge et al., 1981). Многие виды водорослей периодически встречаются как в бентосе, так и в планктоне (см. табл. 2, 3). Из пелагиали происходит постоянный поток водорослей на дно моря, как это было отмечено в микрофитобентосе б. Казачья и северо-западной части Черного моря в районе «Филлофорного поля Зернова» (Рябушко, 1991; Рябушко, Рябушко, 2001). В период массового летнего развития планктонных диатомовых водорослей *Pseudosolenia calcaravis* (Schultze) Sunström, *Pseudonitzschia delicatissima* Cl. и *P. seriata* (Cl.) H. Perag. их

целые клетки, а чаще фрагменты, регулярно регистрировали в бентосных пробах на различных грунтах.

Многие виды микроводорослей при неблагоприятных условиях образуют покоящиеся споры, которые опускаются в более глубокие слои или на дно Черного моря (Морозова-Водяницкая, 1948; Прошкина-Лавренко, 1955). В поверхностном слое илистых грунтов присутствуют покоящиеся споры одиночных и колониальных планктонных диатомовых водорослей, вегетативные клетки бентосных диатомовых, которые мигрируют в различные сезоны года в планктон и обратно (Згуровская, 1977, 1978; Кустенко, 1991). Донные грунты являются как бы "резервуаром для хранения" микроводорослей, таких, например, как *Chaetoceros* Ehr., *Melosira* Ag., *Skeletonema* Grev., *Ditylum* Bail. и др., которые из илов переходят в верхние слои и начинают интенсивно вегетировать в планктоне моря (Згуровская, 1977).

Выводы

1. Существует взаимосвязь микроводорослей планктона и бентоса как компонентов единого эколого-флористического комплекса.

2. Структура микрофитобентоса частично формируется за счет оседания планктонных водорослей на дно, а фитопланктон находится под влиянием микроводорослей бентоса, которые в период штормов в море поднимаются в толщу воды.

3. По числу видов преобладают диатомовые (около 73 %), обнаруженные в осадке, и динофитовые водоросли (19 %) – в толще воды.

4. В процессе седиментации в структуре фитопланктонного сообщества происходят значительные изменения: более 40 % встреченных видов остаются в толще воды и около 60 % переходят в донный осадок.

5. Годовая динамика численности и биомассы микроводорослей в седиментационных ловушках соответствует характеру изменений количественных показателей прибрежного фитопланктона.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Международного научного фонда (ISF, грант № К 27100).

L.I. Riabushko, I.I. Babich, V.I. Riabushko, L.L. Smirnova

A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas, National Academy
of Sciences of Ukraine,
2, Nakhimov Prosp., 99011 Sevastopol, Crimea, Ukraine

SEDIMENTATION OF PHYTOPLANKTON IN KAZACHIA BAY THE BLACK SEA (UKRAINE)

Seasonal dynamics of species composition, number and biomass of phytoplankton has been studied using sediment traps. Traps have been placed at the depth of 4.5 m in Kazachia Bay of the Black Sea during the period of June 1995 to May of 1996 (exposition time 15-20 days). Trap content was investigated in two fractions separately: 1) suspension of sediment on the bottom of the trap; 2) water over the sediment. Totally 131 taxa of microalgae has

been found (*Bacillariophyta* – 95 taxa; *Dinophyta* – 25, *Chrysophyta* – 8, *Cryptophyta* – 2, *Cyanophyta* – 1). In sediment suspension 89 taxa had been found, and 63 taxa in the water, 21 taxa were common for both fractions. In species number dominated *Bacillariophyta* found in sediment (near 73 %) and *Dinophyta* (19 %) from the water fraction. In the course of sedimentation algae of the phytoplankton community differentiate their biotopes: more than 40 % of the species remain in the water, and about 60 % of them pass into bottom sediment.

Key words: phytoplankton, sedimentation, community structure, Black Sea.

Бобкова А.Н. Материал седиментационных ловушек как биологическая система // Гидробиол. журн. – 2000. – 36, № 5. – С. 98-104.

Згуровская Л.Н. Влияние добавок элементов питания на прорастание спор и деление планктонных водорослей из донных грунтов // Океанология. – 1977. – 17, вып. 1. – С. 119-122.

Згуровская Л.Н. Видовой состав и распределение планктонных водорослей в донных илах Черного моря // Там же. – 1978. – 18, вып. 4. – С. 716-719.

Кустенко Н.Г. Влияние стрессовых факторов среды на размножение диатомовых водорослей. – Киев: Наук. думка. – 1991. – 153 с.

Левин В.С., Харламенко В.И., Рябушко Л.И. Распределение бактерий и диатомовых водорослей в поверхностной пленке осадков в бухте Витязь Японского моря. – Экосистемные исследования: прибрежные сообщества залива Петра Великого. – Владивосток: ДВО АН СССР. – 1991. – С. 31-39.

Морозова-Водяницкая Н.В. Фитопланктон Черного моря. Часть 1. Фитопланктон в районе Севастополя и общий обзор фитопланктона Черного моря // Тр. Севастоп. биол. ст. АН СССР. – 1948. – 6. – С. 39-172.

Песенко Ю.А. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. – М.: Наука, 1982. – 287 с.

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

Прошкина-Лавренко А.И. Диатомовые водоросли планктона Черного моря. – М.; Л.: Наука, 1955. – 222 с.

Рябушко Л.И. Микрофитобентос Филлофорного поля Зернова / АН Украины. ИнБЮМ им. А.О. Ковалевского. – Деп. в ВИНТИ, 2.07.91, № 2981-В-91. – Севастополь, 1991. – 28 с.

Рябушко Л.И., Бабич И.И., Рябушко В.И., Смирнова Л.Л. Структура фитопланктонного сообщества бухты Казачья Черного моря (Украина) // Альгология. – 1999. – 9, № 2. – С. 128.

Рябушко Л.И., Бабич И.И., Рябушко В.И., Смирнова Л.Л. Фитопланктон бухты Казачья Черного моря (Украина) // Там же. – 2000. – 10, № 2. – С. 181-192.

Рябушко Л.И., Рябушко В.И. Микрофитобентос бухты Казачья Черного моря (Украина) // Там же. – 2001. – 11, № 1. – С. 70-82.

Смирнова Л.Л., Рябушко В.И., Рябушко Л.И., Бабич И.И. Влияние концентрации биогенных элементов на сообщества микроводорослей прибрежного мелководья Черного моря // Там же. – 1999. – 9, № 3. – С. 32-42.

Сорокин Ю.И. К методике концентрирования проб фитопланктона // Гидробиол. журн. – 1979. – № 15. – С. 71-76.

Шаловенков Н. Н. Оседание детрита и его состав в бухте Черного моря // Экология моря. – 1983. – Вып. 14. – С. 30-32.

Шаловенков Н. Н. Седиментация детрита и донные сообщества Черноморской бухты: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Севастополь, 1985. – 24 с.

Шаловенков Н. Н., Акимов А.И. Хлорофилл «А» и феофитин «А» в оседающем детрите // Экология моря. –

1987. – Вып. 27. – С. 16-18.

De Jonge V.N., Van Den Bergs J., Van Beusekom J.E., Koekenbier J.E.C.A. Influence of currents and waves on the Whirling up of benthic diatoms living on intertidal flats // Hydrobiol. Bull. – 1981. – 15, N 3. – P. 197.

Round F.E. A diatom assemblage living below the surface of intertidal sandflats // Mar. Biol. – 1979. – 54, N 3. – P. 219-223.

Taasen J.P., Høisæter T. The shallow-water soft-bottom benthos in Lindaspollene, Western Norway. – Sarsia, 1981. – 66. – N 4. – P. 293-316.

Waite A., Beinfang P.K., Harison P.J. Spring bloom sedimentation in a subarctic ecosystem. I. Nutrient sensitivity // Mar. Biol. – 1992a. – 114, N 1. – P. 119-129.

Waite A., Beinfang P.K., Harison P.J. Spring bloom sedimentation in a subarctic ecosystem. II. Succession and sedimentation // Mar. Biol. – 1992b. – 114, N 1. – P. 131-138.

Получена 25.03.02

Подписала в печать К.Л. Виноградова

Объединенный Каталог «Пресса России»

продолжает подписку периодических изданий

на 2004 год

Просим авторов и читателей нашего журнала, студентов, аспирантов, ученых, библиотеки научных учреждений и биологические факультеты высших учебных заведений оформить подписку на журнал «Альгология»

Стоимость издания (в руб.) см. в

Объединенном Каталоге «Пресса России»

Индекс 70005