

УДК 545

А.А. БЕГУН

Ин-т биологии моря ДВО РАН.

690041 Владивосток, ул. Пальчевского, 17, Россия

### ЛЕТНЕ-ОСЕННИЙ ФИТОПЛАНКТОН БУХТЫ ЗОЛОТОЙ РОГ (ЯПОНСКОЕ МОРЕ) В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Изучены качественный и количественный состав фитопланктона бухты Золотой Рог (импактный район) и бухты Рында (фоновый район) (Японское море) в летне-осенний период 2000 г. Обнаружено 76 видов и внутривидовых таксонов микроводорослей. Отмечен высокий уровень сходства видовых списков фитопланктона бухт Рында и Золотой Рог (коэффициент Серенсена-Чекановского равен 0,83). В б. Рында максимальная плотность фитопланктона зарегистрирована в октябре (8,7 млн кл/л), доминировала диатомовая водоросль *Skeletonema costatum* (Grev.) Cl. (91,7 %). В б. Золотой Рог максимум плотности фитопланктона отмечен в районе 44 причала в июне (1,7 млн кл/л), доминировали «мелкие жгутиковые» водоросли (45,5 %). Преобладание жгутикового сообщества микроводорослей над диатомовым прослеживалось в летне-осенний период в б. Золотой Рог (20-78 % в районе 42 причала и 24-82 % в районе 44 причала). Эвгленовые (*Eutreptiella gymnastica* Thronsdén) и зеленые (*Pyramimonas* sp.) водоросли достигали максимальной плотности в районе 44 причала (388 и 387 тыс. кл/л соответственно), что свидетельствует о высоком уровне органического загрязнения бухты. В целом плотность доминирующих и субдоминирующих видов среди жгутиковых водорослей увеличивается в последовательности б. Рында → 42 причал → 44 причал. Максимальное снижение индекса видового разнообразия Шеннона (0,2 и 0,7 инф. бит соответственно) отмечено в б. Рында в августе и октябре, оно было сопряжено с «цветением» воды, обусловленным развитием диатомовой водоросли *S. costatum*. Сравнение результатов наблюдений за фитопланктоном фонового и импактного районов, показало, что в период исследования б. Золотой Рог (особенно ее кутовая часть) была в значительной степени подвержена антропогенному воздействию, включающему эвтрофирование и термальное загрязнение.

*Ключевые слова:* бухта Золотой Рог, фитопланктон, микроводоросли, плотность, антропогенное загрязнение, эвгленовые, *Skeletonema costatum*.

#### Введение

Оценка усиливающегося антропогенного воздействия на морские экосистемы в настоящее время весьма актуальна. Повышение антропогенной нагрузки и связанное с ним увеличение загрязнения морской среды нарушают специфику биологических процессов, изменяют характер взаимодействия гидробионтов с биотопами. Одной из наиболее напряженных акваторий залива Петра Великого Японского моря по различным видам антропогенного прессинга является бухта Золотой Рог, расположенная в прибрежной зоне г. Владивостока (Огородникова и др., 1997; Ващенко, 2000; Огородникова, 2001). В этой бухте прослеживается наиболее интенсивное антропогенное загрязнение с преобладанием химического, нефтяного и термального типов (Корякова и др., 2002, 2003). Максимальное количество биогенных элементов наблюдается

в кутовой части б. Золотой Рог благодаря влиянию сточных вод р. Объяснения. Здесь же отмечается сероводородное загрязнение донных осадков. Многочисленный флот также вносит существенный вклад в загрязнение вод (Ежегодник, 1990). Для этой акватории зарегистрирован рекорд превышения ПДК загрязнителей различного происхождения (41 %), на порядок превосходящий соответствующий показатель даже для наиболее загрязненных заливов Амурский (5,9) и Находка (4,4) (Огородникова, 2001).

Фитопланктон является наиболее чувствительным к загрязнению компонентом любых водных экосистем. Мониторинг фитопланктона в значительной степени помогает выявить биологические последствия антропогенного загрязнения. На акваториях, подверженных существенному антропогенному воздействию, нередко прослеживаются более или менее выраженные изменения качественного и количественного состава микроводорослей. Подобные изменения подробно описаны для фитопланктона Амурского залива Японского моря по материалам девяностых годов прошлого столетия (Стоник, Орлова, 1998; Стоник, 1999). Однако специальные исследования влияния антропогенного загрязнения на фитопланктон б. Золотой Рог до настоящего времени не проводились.

Цель настоящей работы – мониторинг за видовым составом и сезонной динамикой фитопланктона в импактном районе – б. Золотой Рог. В качестве фонового района использована б. Рында, расположенная в открытой части Амурского залива (о. Русский). Эта бухта является одной из относительно чистых акваторий в заливе Петра Великого, ее воды по основным гидрохимическим показателям соответствуют открытым водам Японского моря (Корякова и др., 2002). Исследование фитопланктона проводилось в составе комплексного эксперимента по изучению морской биоты в условиях антропогенного загрязнения, организованного научным коллективом Лабораторий экологии шельфовых сообществ ИБМ ДВО РАН и морской коррозии Ин-та химии ДВО РАН.

### Материалы и методы

Материалом для исследования послужили результаты батометрических планктонных съемок, выполненных нами в б. Рында (Амурский залив) с первой половины июня по вторую половину октября 2000 г. и б. Золотой Рог (район 42 и 44 причалов) со второй половины мая по вторую половину октября 2000 г. (рис. 1). Пробы фитопланктона отбирали два раза в месяц одновременно во всех исследуемых районах у поверхности воды. Всего было отобрано и обработано 31 количественную пробу фитопланктона. Материал концентрировали методом обратной фильтрации: исходную пробу фитопланктона объемом 1 л пропускали через нуклеопоровые фильтры с диаметром пор 2 мкм, концентрируя пробу до объема 30-35 мл. Подсчет клеток ультра- и наннопланктона проводили в счетной камере типа Ножотта объемом 0,08 мл, подсчет клеток микропланктона и редких видов – в камере объемом 1 мл. Материал фиксировали раствором Утермеля до бледно-желтого цвета. Жгутиковые беспанцирные микроводоросли (динофитовые, эвгленовые, рафидофитовые, зеленые и "мелкие жгутиковые" водоросли) изучали в нефиксированных пробах. В группу "мелкие жгутиковые" водоросли отнесены неидентифицированные пигментированные клетки, чаще флагеллаты, размером 2-

6 мкм, принадлежащие к разным отделам. Изучение материала проводили с помощью световой микроскопии (СМ). Диатомовые водоросли рода *Pseudo-nitzschia* определяли с помощью трансмиссионной электронной микроскопии (ТЭМ).

Доминирующими считали виды, плотность которых составляла не менее 20 % общей плотности фитопланктона (Коновалова, 1984). При оценке сходства качественного состава фитопланктона использовали коэффициент Серенсена-Чекановского (по Андрееву и Решетникову, 1978):

$$K_S = 2N_{(A \cap B)} / (N_A + N_B),$$

где  $N_{A \cap B}$  – общее число видов в описаниях  $A$  и  $B$ ;  $N_A$  и  $N_B$  – число видов, соответственно, в описаниях  $A$  и  $B$ . Нами применен метод средней, наиболее часто используемый исследователями бентоса. Число имеющихся в сообществе видов служит простейшей мерой локального (регионального) разнообразия. Наряду с такими простыми показателями, как число видов, в качестве более наглядной характеристики богатства сообщества использовали видовое разнообразие. Этот показатель характеризует как число видов, так и их относительное обилие (Джиллер, 1988). Видовое разнообразие оценивали с помощью индекса видового разнообразия Шеннона ( $H$ ):

$$H = - \sum P_i \log_2 P_i,$$

где  $P_i$  – доля  $i$ -го вида в суммарной плотности (Бигон и др., 1989).

## Результаты

В фитопланктоне бухт Золотой Рог и Рында отмечено 76 видов и внутривидовых таксонов микроводорослей из восьми отделов: *Bacillariophyta* (38), *Dinophyta* (28), *Chrysophyta* (3), *Euglenophyta* (2), *Cryptophyta* (1), *Chlorophyta* (2), *Raphidophyta* (1) и *Cyanophyta* (1). На протяжении летне-осеннего периода в фитопланктоне преобладали диатомовые и динофитовые водоросли. Среди диатомовых водорослей наиболее богат видами род *Chaetoceros* Ehr. (29 % общего числа видов), среди динофитовых – род *Protoperidinium* Bergh. (25 %). Качественный анализ показал, что уровень сходства видовых списков фитопланктона бухт Рында и Золотой Рог сравнительно высок (коэффициент Серенсена-Чекановского равен 0,83). За исследуемый период в фитопланктоне отмечено 11 доминирующих видов (табл. 1). Виды-доминанты имели характерный тип динамики плотности с одним или несколькими максимумами, степень доминирования микроводорослей составляла 20-81 % общей плотности фитопланктона. Ход сезонной динамики плотности фитопланктона в фоновом и

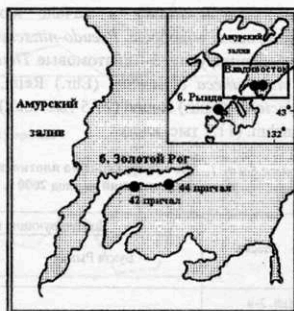


Рис. 1. Карта-схема района исследования. Точками обозначены станции отбора проб.

импактном районах в течение всего периода исследования имел значительные различия.

**Бухта Рында.** Отмечено три пика плотности фитопланктона: ранне-летний, позднее-летний и осенний (рис. 2). Первый максимум плотности (ранне-летний пик) прослеживался в начале июня. Доминирующее положение занимала диатомовая водоросль *Pseudo-nitzschia pungens* (Grun. ex Cl.) Hasle (1,1 млн кл/л), субдоминирующее – диатомовые *Thalassionema nitzschioides* Grun. (387 тыс. кл/л), *Cylindrotheca closterium* (Ehr.) Reim. & Lewin (56,2 тыс. кл/л), *Asterionellopsis glacialis* (Castr.) Round (27,5 тыс. кл/л) и динофитовая *Dinophysis acuminata* Clap. et Lachm. (11,2 тыс. кл/л).

Таблица 1. Доминирующие по плотности виды фитопланктона в бухтах Рында и Золотой Рог в летне-осенний период 2000 г.

Месяц	Доминирующие виды (% общей плотности фитопланктона)		
	Бухта Рында	Бухта Золотой Рог	
		42 причал	44 причал
Май, 2-я половина		Мелкие жгутиковые водоросли (76,8)	Мелкие жгутиковые водоросли (82,2)
Июнь, 1-я половина	<i>Pseudo-nitzschia pungens</i> (62,8) <i>Thalassionema nitzschioides</i> (19,6)	Мелкие жгутиковые водоросли (36,4) <i>Cryptomonas</i> sp. (19,6)	Мелкие жгутиковые водоросли (45,5)
Июнь, 2-я половина	<i>Pseudo-nitzschia pungens</i> (72,6)	<i>Chrysochromulina</i> sp. (55)	<i>Pyramimonas</i> sp. (37,7) <i>Chrysochromulina</i> sp. (55) Мелкие жгутиковые водоросли (21,9)
Июль, 1-я половина	Мелкие жгутиковые водоросли (57,8)	<i>Thalassiosira nordenskioldii</i> (20,5)	Мелкие жгутиковые водоросли (63,9)
Июль, 2-я половина	<i>Prorocentrum triestinum</i> (66,2) <i>Chattonella globosa</i> (19,6)	<i>Skeletonema costatum</i> (27,7) <i>Chattonella globosa</i> (23,8)	<i>Chattonella globosa</i> (77,1)
Август, 1-я половина	<i>Skeletonema costatum</i> (98,4)	<i>Skeletonema costatum</i> (76,4)	<i>Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima</i> (66,1) Мелкие жгутиковые водоросли (24,4)
Август, 2-я половина	<i>Ditylum brightwellii</i> (59,2)	<i>Ditylum brightwellii</i> (48,1) <i>Pseudo-nitzschia pungens</i> (35,1)	Мелкие жгутиковые водоросли (42,5) <i>Cryptomonas</i> sp. (34)
Сентябрь, 1-я половина	<i>Pseudo-nitzschia pungens</i> (64,8)	<i>Skeletonema costatum</i> (30,2) <i>Pseudo-nitzschia pungens</i> (41,1)	<i>Pseudo-nitzschia pungens</i> (39,5)
Сентябрь, 2-я половина	<i>Skeletonema costatum</i> (42,1)	<i>S. costatum</i> (48,5)	Мелкие жгутиковые водоросли (72,5)
Октябрь, 1-я половина	<i>S. costatum</i> (39)	<i>S. costatum</i> (49,8)	Мелкие жгутиковые водоросли (46,3)
Октябрь, 2-я половина	<i>S. costatum</i> (91,7)	<i>S. costatum</i> (62,5)	<i>Skeletonema costatum</i> (58,9)

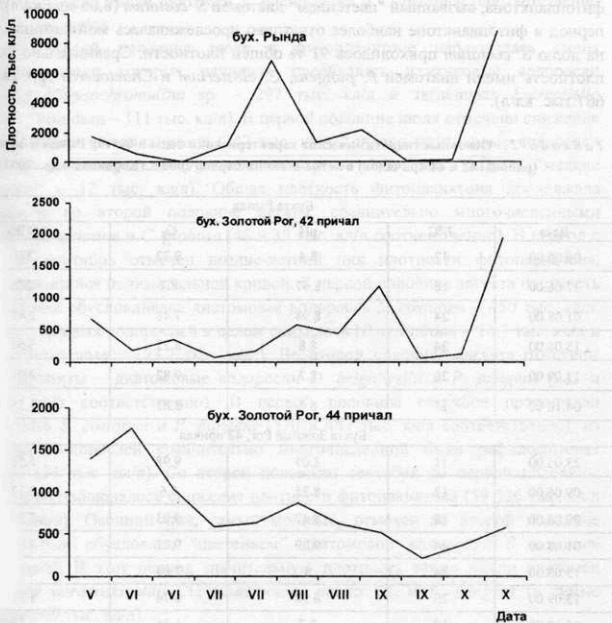


Рис. 2. Сезонная динамика общей плотности фитопланктона в бухтах Рында и Золотой Рог (районы 42 и 44 причала) в летне-осенний период 2000 г.

В июле отмечен новый всплеск обилия фитопланктона (летний пик), доминировали динофитовая водоросль *Prorocentrum triestinum* Schill. (745,4 тыс. кл/л) и рафидофитовая *Chattonella globosa* Hara et Chihara (221,5 тыс. кл/л). В первой половине августа наблюдалась смена жгутикового сообщества микроводорослей на диатомовое, что выразилось в обильном "цветении" воды, вызванном диатомовой водорослью *Skeletonema costatum* (Grev.) Cl. (6,7 млн кл/л). Этот вид составлял 98 % общей плотности и обуславливал монодоминантность фитопланктона. Во второй половине августа плотность фитопланктона существенно снизилась, однако в заметном количестве присутствовали диатомовые водоросли *Ditylum brightwellii* (West) Grun. (769 тыс. кл/л), *P. pungens* (159 тыс. кл/л), *S. costatum* (184 тыс. кл/л) и *Chaetoceros* spp. (27,1 тыс. кл/л). Новое увеличение плотности фитопланктона прослеживалось в первой половине сентября за счет диатомей *P. pungens* (1,4 млн кл/л), *Cerataulina pelagica* (Cl.) Hende (450 тыс. кл/л) и *S. costatum* (230 тыс. кл/л). Со второй половины сентября по первую половину октября обилие микроводорослей значительно снизилось (39-115 тыс. кл/л). Во второй половине октября отмечен наибольший максимум (осенний пик) плотности

фитопланктона, вызванный "цветением" диатомей *S. costatum* (8,06 млн кл/л). В этот период в фитопланктоне наиболее отчетливо прослеживалась монодоминантность, на долю *S. costatum* приходилось 91 % общей плотности. Сравнительно высокую плотность имели диатомей *P. pungens*, *C. closterium* и *Chaetoceros* spp. (в сумме 667 тыс. кл/л).

Таблица 2. Основные гидрохимические характеристики воды в бухтах Рында и Золотой Рог (районы 42 и 44 причалов) в летне-осенний период 2000 г. (Корякова и др., 2002)

Бухта Рында				
Дата	T °С	pH	O <sub>2</sub>	БПК <sub>5</sub>
06.06.00	12	8.4	9.72	271
27.06.00	18	8.57	8.7	2.2
01.08.00	24	8.94	7.48	2.47
15.08.00	24	8.8	8.72	3.57
11.09.00	20	8.7	9.82	2.93
04.10.00	17	8.1	8.83	1.55
Бухта Золотой Рог, 42 причал				
23.05.00	11	8.05	9.98	5.58
09.06.00	12	8.25	8.6	3.17
29.06.00	18	8.47	9.03	5.75
01.08.00	24	9.09	9.21	4.34
15.08.00	24	8	7.04	2.17
13.09.00	20	6.98	6.74	1.71
05.10.00	17	7.7	6.36	2.19
Бухта Золотой Рог, 44 причал				
23.05.00	11	8.05	9.98	5.58
09.06.00	12	8.25	8.6	3.17
29.06.00	18	8.47	9.03	5.75
01.08.00	24	9.09	9.21	4.34
15.08.00	24	8	7.04	2.17
13.09.00	20	6.98	6.74	1.71
05.10.00	17	7.7	6.36	2.19

**Бухта Золотой Рог, 42 причал.** Отмечено три пика плотности фитопланктона: ранне-летний, позднее-летний и осенний (рис. 2). Первый максимум (ранне-летний пик) наблюдался в период со второй половины мая до первой половины июля. В фитопланктоне доминировали "мелкие жгутиковые" водоросли (527 тыс. кл/л), субдоминирующими были диатомей *C. closterium* (88,2 тыс. кл/л) и *C. pseudocrinitus* Ostf. (21,9 тыс. кл/л). В первой половине июня отмечено незначительное снижение плотности фитопланктона (477 тыс. кл/л) и резкая смена диатомового сообщества на жгутиковое. Это выразилось в доминировании криптофитовой водоросли *Chroomonas* sp. (30 тыс. кл/л), зеленой *Pyramimonas* sp. (16,2 тыс. кл/л) и "мелких жгутиковых" водорослей (64,7 тыс. кл/л). Достаточно

высокую плотность имели диатомей *T. nitzschioides* и *C. pelagica* (соответственно 21,2 и 17,5 тыс. кл/л).

Во второй половине июня в фитопланктоне наблюдалась смена доминантов, среди которых начинали преобладать жгутиковые водоросли (золотистая *Chrysochromulina* sp. – 297 тыс. кл/л и эвгленовая *Eutreptiella gymnastica* Thronsen – 111 тыс. кл/л). В первой половине июля отмечено снижение общей плотности фитопланктона (242 тыс. кл/л), однако жгутиковые водоросли продолжали доминировать (*Pyramimonas* sp. – 172 тыс. кл/л и "мелкие жгутиковые" – 12 тыс. кл/л). Общая плотность фитопланктона продолжала снижаться и во второй половине месяца, сравнительно многочисленными оставались *S. costatum* и *C. globosa* (46 и 39 тыс. кл/л соответственно). В период с августа по сентябрь отмечен поздне-летний пик плотности фитопланктона, характеризующийся полимодальной кривой. В первой половине августа плотность фитопланктона обуславливала диатомовая водоросль *S. costatum* – 450 тыс. кл/л. Обилие жгутиковых водорослей в целом снизилось (*P. triestinum* – 16,7 тыс. кл/л и "мелкие жгутиковые" – 23,7 тыс. кл/л). Во второй половине августа отмечены новые доминанты – диатомовые водоросли *D. brightwellii* и *P. pungens* (212 и 155 тыс. кл/л соответственно). В первой половине сентября продолжали доминировать *S. costatum* и *P. pungens* (570 и 487 тыс. кл/л соответственно), из жгутиковых водорослей сравнительно многочисленной была рафидофитовая *C. globosa* (14 тыс. кл/л). Со второй половины сентября до первой половины октября вновь наблюдалось снижение плотности фитопланктона (59-126 тыс. кл/л соответственно). Осенний пик, самый мощный, отмечен во второй половине октября и был обусловлен "цветением" диатомовой водоросли *S. costatum* (1,2 тыс. кл/л). В этот период значительную плотность также имели диатомей *Thalassiosira nordenskioldii* Cl., *Chaetoceros debilis* Cl. и *P. pungens* (в сумме составляли 609 тыс. кл/л).

Бухта Золотой Рог, 44 причал. Отмечено три пика плотности фитопланктона: ранне-летний, позднее-летний и осенний (см. рис. 2). Первый максимум (ранне-летний пик) наблюдался со второй половины мая по первую половину июня. Доминирующее положение в фитопланктоне занимали «мелкие жгутиковые» водоросли (1,4 млн кл/л), зеленая *Pyramimonas* sp. (387 тыс. кл/л) и золотистая *Chrysochromulina* sp. (275 тыс. кл/л). Среди субдоминантов преобладали *Cryptomonas* sp. (512 тыс. кл/л) и эвгленовая *E. gymnastica* (388 тыс. кл/л). В июле плотность фитопланктона снизилась примерно вдвое, наиболее обильными оставались «мелкие жгутиковые» водоросли (375 тыс. кл/л), рафидофитовая *C. globosa* (487 тыс. кл/л) и эвгленовая *E. gymnastica* (57,5 тыс. кл/л). В первой половине августа прослеживалась слабая тенденция к летнему пику плотности фитопланктона. В этот период заметно увеличилась доля диатомовых водорослей за счет *Pseudo-nitzschia pseudo-delicatissima* Hasle (575 тыс. кл/л). Однако мелкие жгутиковые водоросли по-прежнему были многочисленными (212 тыс. кл/л). Со второй половины августа до второй половины сентября общая плотность фитопланктона постепенно снижалась (с 623 до 206 тыс. кл/л). Наиболее обильными оставались «мелкие жгутиковые» водоросли (265 тыс. кл/л), криптофитовые *Cryptomonas* sp. (213 тыс. кл/л) и диатомовая *P. pungens* (205 тыс. кл/л). Новое увеличение плотности фитопланктона (осенний пик) отчетливо прослеживалось во второй половине октября и было вызвано преимущественно диатомовой водорослью *S. costatum* (337 тыс. кл/л).

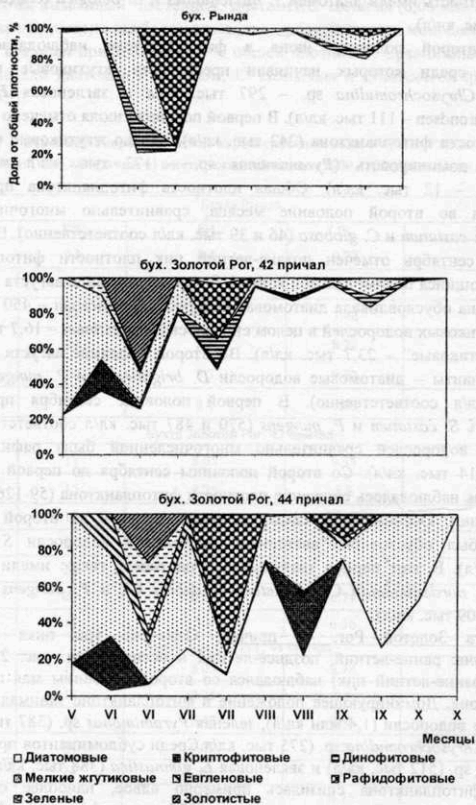


Рис. 3. Соотношение плотности различных групп фитопланктона в бухтах Рында и Золотой Рог (районы 42 и 44 причалов) в летне-осенний период 2000 г.

В бухте Рында доля диатомовых водорослей в фитопланктоне снижалась до 20 % только в июле, на фоне доминирования динофитовых (66 %), рафидофитовых (20 %) и мелких жгутиковых водорослей (58 %). В другие месяцы летне-осеннего периода преобладали диатомовые водоросли (80-92 %) (рис. 3). В б. Золотой Рог в районе 42 причала большую часть летне-осеннего периода доминировали жгутиковые микроводоросли из различных групп (см. рис. 3).



Таблица 3. Средние значения гидрохимических и микробиологических показателей воды исследуемых акваторий за период испытаний (по: Корякова и др., 2003).

Показатели воды, группы бактерий	Единицы измерений	Бухта Рында	Бухта Золотой Рог, 42 причал	Бухта Золотой Рог, 44 причал
Концентрация O <sub>2</sub>	мг/л	8,88	8,14	7,46
БПК <sub>5</sub>	-"	2,57	3,55	3,50
Величина pH	ед.	8,44	7,89	7,98
Сапрофиты	тыс. кл./мл	7,7	37,1	63,7
Нефтеокисляющие	-"	0,9	6,6	14,1
СРБ	-"	6,8	22,6	22,7

Со второй половины мая до второй половины июля они составляли 20-78 % общей плотности фитопланктона. В июне доминировали криптофитовые водоросли (20 %), в первой половине июля – золотистые (51 %), во второй – в заметном количестве динофитовые (53 %) и рафидофитовые (34 %).

С августа до октября доля жгутиковых микроводорослей заметно снизилась, преобладали диатомовые (82-99 %), представленные преимущественно *S. costatum*. Самая высокая степень доминирования жгутиковых микроводорослей прослеживалась в кутовой части б. Золотой Рог (44 причал) (см. рис. 3). В этом районе диатомовые водоросли преобладали только во второй половине октября (99 %) в период массового развития *S. costatum*. В другое время года основу фитопланктона составляли жгутиковые микроводоросли из различных отделов. «Мелкие жгутиковые» водоросли преобладали в течение почти всего периода исследования, составляя 24-82 % общей плотности фитопланктона. Криптофитовые водоросли были многочисленны в июне (29 %) и августе (34 %). В июне значительная доля фитопланктона приходилась на зеленые (37 %), золотистые (27 %) и эвгленовые (22 %) водоросли.

Таким образом, в б. Золотой Рог (44 причал) большую часть года отчетливо прослеживается преобладание жгутиковых водорослей над диатомовыми, что подтверждают не только относительные, но и абсолютные величины (рис. 4).

В среднем плотность доминирующих и субдоминирующих видов среди жгутиковых микроводорослей увеличивалась на порядок в последовательности б. Рында → 42 причал → 44 причал. Исключение составляла диатомовая водоросль *S. costatum*, сезонная динамика которой подчинялась обратной зависимости (рис. 5), максимальное ее развитие, достигающее силы «цветения» (8 млн кл/л), прослеживалось только в б. Рында.

Индекс видового разнообразия Шеннона в исследуемых районах имел некоторые особенности сезонной динамики при сохранении общей тенденции (рис. 6). Это проявлялось в снижении соответствующего показателя до минимальных значений в периоды сезонных максимумов фитопланктона (ранне-летних, позднее-летних и осенних). Однако в б. Рында снижение индекса Шеннона, по сравнению с б. Золотой Рог, было наиболее значительным в периоды «цветения» диатомеи *S. costatum* в августе и октябре (0,2 и 0,7 инф. бит). В бухте

Золотой Рог (42 и 44 причала) максимальное снижение индекса (до 1-1,2 инф. бит) было сопряжено преимущественно с «цветением» жгутиковых водорослей. Максимальное видовое разнообразие в б. Рында зарегистрировано в первой половине октября (2,8 инф. бит), в б. Золотой Рог в районе 42 причала – в первой половине июня (3,5 инф. бит), в районе 44 причала – в первой половине сентября (2,7 инф. бит).

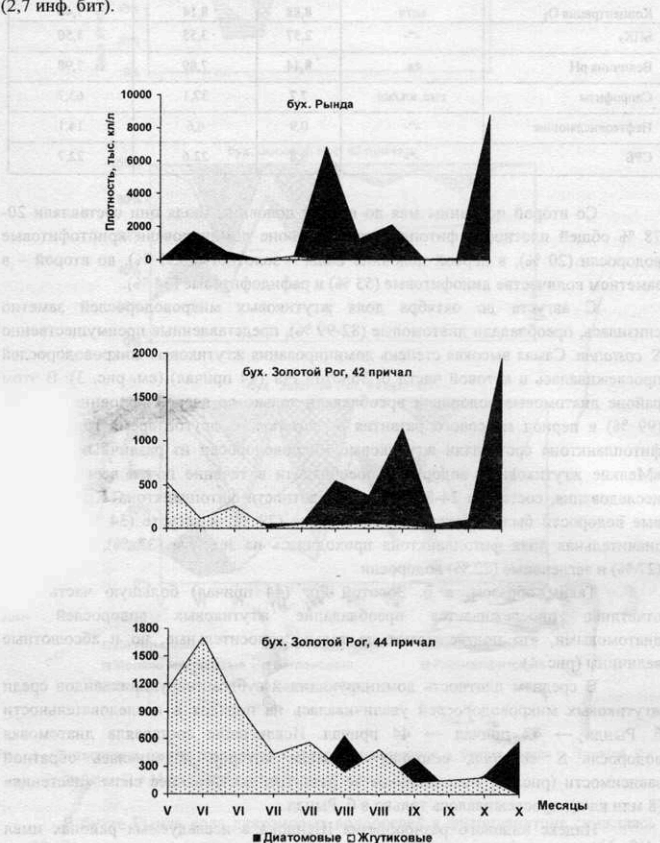


Рис. 4. Соотношение плотности диатомовых и жгутиковых водорослей в бухтах Рында и Золотой Рог (районы 42 и 44 причалов) в летне-осенний период 2000 г.

## Обсуждение

Полученные данные о видовом составе фитопланктона импактного и фонового районов в целом согласуются с литературными данными по Амурскому заливу и б. Золотой Рог (Коновалова, 1972, 1974; Обзор ..., 1990; Стоник, Орлова, 1998; Стоник, 1999; Stonik, Orlova, 2002; Бегун и др., 2003). Сравнительное изучение сезонной динамики фитопланктона бухт Рында и Золотой Рог в летне-осенний период показало ее принципиальные отличия. В б. Рында преобладали диатомовые водоросли (см. рис. 3). Исключение составляли поздне-весенний и ранне-летний периоды, когда доминировали жгутиковые водоросли. Это является закономерным для сезонной динамики фитопланктона в мелководных заливах и бухтах южного Приморья (Киселев, 1934, 1953; Коновалова, 1972, 1974, 1984; Рура, 1974; Паутова, Коновалова, 1982; Селина, 1992, 1998). Отмечено также достаточно высокое сходство сезонной динамики фитопланктона фонового района с некоторыми районами Амурского залива, не испытывающими значительной антропогенной нагрузки (Коновалова, 1972, 1974; Стоник, 1999; Бегун и др., 2003).

В фитопланктоне б. Золотой Рог в течение почти всего летне-осеннего периода преобладали многие виды жгутиковых микроводорослей (эвгленовые, криптофитовые, рафидофитовые, зеленые и «мелкие жгутиковые»). Их плотность нередко достигала силы «цветения». По данным Стоник и Селиной (2001), максимальная плотность эвгленовых в б. Золотой Рог составляла 1,6 млн кл/л и обуславливалась видом *Eutreptia lanowii* Steuer. В нашем случае максимум плотности эвгленовых (388 тыс. кл/л) был обусловлен видом *E. gymnastica*. Эвгленовые водоросли используются в качестве биологических индикаторов загрязнения воды органическими веществами (Унифицированные ..., 1977). Многие их виды – облигатные гетеротрофы, что объясняет их преимущественное развитие в среде с высоким содержанием органических соединений (Bodeanu, 1995; Водоросли-индикаторы ..., 2000). Увеличение видового богатства эвгленовых некоторые авторы рассматривают как следствие эвтрофирования (Трифенова, 1990). В Амурском заливе эвгленовые водоросли доминировали только в районах промышленного загрязнения, их максимальная концентрация, отмеченная ранее в б. Золотой Рог, была значительно выше, чем, например, в относительно чистом заливе Восток (Стоник, Селина, 2001). Высокая плотность эвгленовых водорослей объясняется формированием на акватории б. Золотой Рог, особенно в его кутовой части, зоны высокого загрязнения воды хозяйственно-бытовыми стоками, в которых значение БПК в несколько раз превышает санитарные нормы (Огородникова, 2001; Корякова и др., 2003).

В б. Золотой Рог в районе 44 причала в летний период отмечалась высокая плотность зеленой водоросли рода *Pyramimonas*, являющейся характерной для загрязненных эвтрофных и экстремально-эвтрофных заливов и бухт зал. Петра Великого (Коновалова, 1989; Коновалова, 1992).

Увеличение обилия водорослей этого рода, как известно, наблюдается в районах с высоким уровнем органического загрязнения воды (Саут, Уиттик, 1990; Трифенова, 1990). Следовательно, значительное влияние на развитие зеленых эвгленовых водорослей могло оказывать загрязнение б. Золотой Рог нефтяными углеводородами, максимальная концентрация которых отмечена в районе 44 причала.

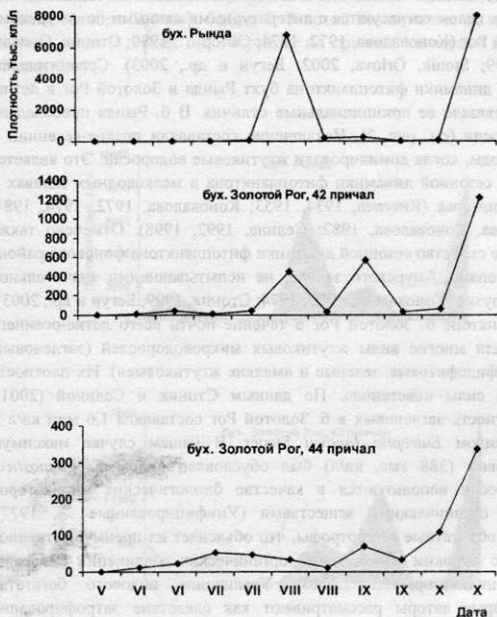


Рис. 5. Сезонная динамика плотности диатомовой водоросли *Skeletonema costatum* (Grev.) Cl в бухтах Рында и Золотой Рог (районы 42 и 44 причалов) в летне-осенний период 2000 г.

Жгутиковые водоросли являются более толерантными к загрязнению, чем диатомовые, плотность которых снижается в загрязненных районах. Обычно в этих зонах благодаря постоянному поступлению большого количества органических веществ создаются благоприятные условия для развития гетеротрофной и миксотрофной флоры жгутиковых водорослей, доминирующих над диатомеями в теплое время года. Также следует учитывать тот факт, что до кутовой части б. Золотой Рог не доходит течение из пролива Босфор Восточный, несущее открытые морские водные массы (Корякова и др., 2002). В результате возникает явление застойности вод, что, в свою очередь, благоприятствует обилию зеленых и эвгленовых микроводорослей.

Характерной особенностью сукцессий микроводорослей в высоко-эвтрофных морских регионах является более или менее резкий переход от диатомового планктонного сообщества к жгутиковому (Виноградова и др., 1986;

Bode, Fernandez, 1992). Увеличение частоты и интенсивности «цветений» жгутиковых микроводорослей рассматривается многими авторами как проявление антропогенного эвтрофирования (Cadee, 1990; Саут, Уиттик, 1990; Коновалова, 1992; Михеева, 1992; Hallegraeff, 1993; Водоросли-индикаторы ..., 2000). Работы, проведенные по изучению фитопланктона Амурского залива, в начале 90-х гг. прошлого столетия показали, что плотность жгутиковых водорослей положительно коррелирует с интенсивностью антропогенного загрязнения акваторий на фоне снижения обилия диатомей (Стоник, Орлова, 1998; Стоник, 1999). Недавнее исследование показало, что в полузакрытом гиперэвтрофном водоеме в черте г. Владивостока повсеместно наблюдались экстремально высокие количественные показатели микроводорослей, достигающих сотен миллионов клеток на литр (Бегун и др., 2004). Аналогичные данные о высоких концентрациях жгутиковых микроводорослей впервые были зарегистрированы в гиперэвтрофированных районах Черного (Mihnea, 1992, 1997; Bodeanu, 1995, Velikova, 1998), Адриатического (Vilicic, 1989), Северного (Aure et al., 2001) и Внутреннего Японского (Iizuka, 1985) морей.

Интересным представляется наличие двух мощных "цветений" воды, обусловленных видами-индикаторами экстремально-эвтрофных вод – диатомовой водорослью *S. costatum* в б. Рында, чего не наблюдалось даже в загрязненной акватории Золотой Рог. Сходная ситуация прослеживалась в фитопланктоне зал. Восток (Селина, 1998), являющегося сравнительно чистой акваторией, не испытывающей антропогенной нагрузки. Как известно, мощные «цветения», обусловленные *S. costatum*, отмечались обычно в загрязненных высокоэвтрофных водах залива Петра Великого (Стоник, Селина, 1995). Очевидно, факт "цветения" *S. costatum* не может в полной мере свидетельствовать о наличии значительного загрязнения (гиперэвтрофирования) акватории. Высокая плотность этого вида могла определяться комплексом многих других факторов. Из физических факторов, вызывающих "цветение", следует отметить, прежде всего, вертикальную устойчивость (стратификацию) водных масс в б. Рында. К химическим факторам, по-видимому, можно отнести высокий уровень доступных минеральных (биогенных) и растворенных органических веществ (главным образом, кремний, азот и фосфор), вносимых в бухту с терригенным стоком во время обильных осадков. В значительной степени питательные вещества образуются и в самом водоеме в результате бактериальной деструкции (минерализации) органики, в основном обильных макрофитов в б. Рында, а также за счет регенерации биогенов всем планктонным сообществом в определенные периоды годового цикла фитопланктона. Факт низкой плотности диатомей *S. costatum* в районе 44 причала, по сравнению с фоновым районом, во многом может обуславливаться и пониженной устойчивостью этого вида по сравнению с другими водорослями, к нефтяному загрязнению (Саут, Уиттик, 1990), которому подвержены воды и донные осадки в кутовой части б. Золотой Рог в течение нескольких последних десятилетий.

Экологическое состояние б. Золотой Рог в настоящее время специалисты оценивают как "катастрофическое", т.к. она давно потеряла свое рыбохозяйственное, рекреационное и эстетическое значение. Здесь, относительно вод контрольной бухты, зарегистрировано вдвое меньшее содержание растворенного кислорода, карбонат-ионов, низкая прозрачность воды и в 2-2.5 раза более высокая

концентрация всех форм органического вещества (ОВ), что, как известно, (Таубе, Баранова, 1989), служит показателем органического загрязнения (эвтрофирования) водоемов. Изучение бактериопланктона в зал. Петра Великого показало, что наибольшая плотность микроорганизмов характерна для б. Золотой Рог и наиболее загрязненных районов Амурского залива (Обзор ..., 1990). В б. Золотой Рог зарегистрированы максимальные концентрации фосфатов (около 100 мкг/л), нитратов (230 мкг/л), аммония (273 мкг/л) (Tkalin et al., 1993). Недавние исследования показали, что бентос и обрастание в б. Золотой Рог отличались обедненным видовым составом, самыми низкими значениями биомассы и высокой плотностью поселения устойчивых к загрязнению видов (Fadeeva, Fadeev, 1977; Белогурова, Звягинцев, 2004). Это свидетельствует об экологической деградации донного населения этой акватории (Отчет ..., 2002).

Данные, полученные в ходе нашего эксперимента другими специалистами по микробиологическим и гидрохимическим показателям воды, а также организмов микро-, мейо и макрообитания, отражают ситуацию по загрязненности трех исследуемых районов (см. табл. 2, 3). В контрольной бухте определены максимальная концентрация растворенного кислорода, величина pH и самое низкое значение БПК<sub>5</sub>. В б. Золотой Рог к наиболее загрязненной из двух станций можно отнести зону 44 причала. Здесь отмечены и наименьшие концентрации растворенного кислорода в воде, и самая высокая численность сапрофитов и нефтеокисляющих бактерий, что в 2 раза превышает их содержание у 42 причала и в 8 и 14 раз, соответственно, в контрольной бухте (Корякова и др., 2003). Показана также правомочность использования этих данных для биоиндикации загрязнения морской воды (мониторинг загрязнения портовых и открытых морских вод тяжелыми металлами).

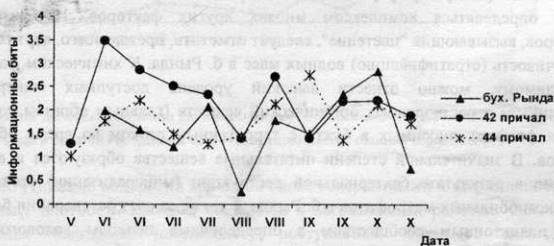


Рис. 6. Сезонная динамика индекса видового разнообразия Шеннона в бухтах Рында и Золотой Рог (районы 42 и 44 причалов) в летне-осенний период 2000 г.

Экологическая ситуация в б. Золотой Рог также осложнена и термальным загрязнением в результате сброса в море нагретых вод, прошедших через системы водяного охлаждения ВТЭЦ-2. С момента пуска электростанции вода в б. Золотой Рог перестала замерзать. Температура воды не опускалась ниже 0 °С и превышала этот среднегодовой показатель для Амурского залива на 1-2,5 °С. Термальное загрязнение относится ко второй по вредности категории факторов загрязнения

моря и приводит к повышению температуры природных вод в районе сброса, уменьшению их насыщенности кислородом, понижению вязкости, интенсивному осадкообразованию, смещению гидрологического сезона в поверхностных слоях (т.е. ненормальному удлинению гидрологического лета) (Звягинцев, Будникова, 2003).

### Заключение

Видовой состав водорослей в летне-осенний период в импактном и фоновом районах бухт Рында и Золотой Рог достаточно высок, коэффициент Серенсена-Чекановского составил 0,83, что объясняется близким расположением акваторий. Сезонная динамика плотности фитопланктона имела существенные различия, за исключением общего для всех районов осеннего пика. В б. Золотой Рог жгутиковые микроводоросли преобладали над диатомовыми, что особенно характерно прослеживалось в кутовой части бухты. В целом плотность доминирующих и субдоминирующих видов фитопланктона среди жгутиковых водорослей увеличивается в последовательности: б. Рында → район 42 причала → район 44 причала. Преобладание эвгленовых (*E. gymnastica*) и зеленых (*Pyratimonas* sp.) водорослей в районе 44 причала свидетельствует о высоком уровне органического загрязнения вод. Воды б. Золотой Рог, особенно в кутовой ее части, в течение всего периода исследования были в значительной степени подвержены антропогенному воздействию, представленному эвтрофированием и термальным загрязнением. Результаты исследований сезонной динамики фитопланктона в фоновом и импактном районах при соответствующей обработке могут быть использованы для биоиндикации морских вод различными загрязнителями.

### Благодарности

Выражаем сердечную благодарность сотруднику группы фитопланктона к.б.н. И.В. Стоник (Лаборатория экологии шельфовых сообществ, Ин-т биологии моря ДВО РАН) за помощь в идентификации видов диатомовых водорослей рода *Pseudo-nitzschia*.

A.A. Begun

Institute of Marine Biology, Far East Branch of Russian Academy of Sciences,  
17, Palchevskogo St., 690041 Vladivostok, Russia

THE SUMMER-AUTUMN PHYTOPLANKTON IN THE GOLDEN HORN BAY (THE SEA OF JAPAN) UNDER CONDITIONS OF ANTHROPOGENIC POLLUTION

The qualitative and quantitative composition of phytoplankton in the Golden Horn Bay (the impact area) and in the Rynda Bay (the background area) (the Sea of Japan) was studied in the summer-autumn period of 2000. Revealed were 76 species and intraspecific taxa of microalgae. A high similarity level of species lists is observed in phytoplankton of the Golden Horn and Rynda Bays (the Serensen-Chekanovsky coefficient is equal to 0.83). In the Rynda Bay the maximal density of phytoplankton was registered in October (8.7 mln cells/L), in this case the diatomic alga *Skeletonema costatum* (Grev.) Cl. was dominant (91.7%). In the Golden Horn Bay the maximum density of phytoplankton was registered in the area of berth 44 in June (1.7 mln cells/L), flagellate microalgae predominating (45.5 %). Predominance of the flagellate community of microalgae over diatomic algae was observed in the summer-autumn period in the Golden Horn Bay (20-78 %

in the area of berth 42 and 24-82 % in the area of berth 44). *Euglenophyta* (*Eutreptiella gimnastica* Thronsen) and *Chlorophyta* (*Pyramimonas* sp.) were the most abundant in the area of berth 44 (388 and 387 thousand cells/L, respectively), that evidences for a high level of organic pollution of the bay. On the whole, the density of dominant and subdominant species among flagellates increases in the succession of the Rynda Bay → berth 42 → berth 44. The maximal decrease in the Shannon species diversity index (0.2 and 0.7 information bit, respectively) is observed in the Rynda Bay in August and October, that was associated with the bloom of *S. costatum*. A comparison of the results of observation obtained by the phytoplankton of background and impact areas has shown that in the period of investigation the Rynda Bay (especially of its inmost area) was subject to a considerable extent to the anthropogenic influence including eutrophication and thermal pollution.

*Key words*: the Golden Horn Bay, phytoplankton, microalgae, density, anthropogenic pollution, euglenophytic algae, *Skeletonema costatum*.

Андреев В.Л., Решетников Ю.С. Анализ состава пресноводной ихтиофауны северо-восточной части СССР на основании методов теории множеств // Зоол. журн. – 1978. – 7, № 2. – С. 165-175.

Безун А.А., Орлова Т.Ю., Звягинцев А.Ю. Фитопланктон Амурского залива Японского моря в районе г. Владивостока // Альгология. – 2003. – 13, № 2. – С. 204-215.

Безун А.А., Орлова Т.Ю., Селина М.С. Случай "цветения" воды, вызванный динофитовой водорослью *Oxyrrhis marina* // Биол. моря. – 2004. – 30, № 1. – С. 68-71.

Бигон М., Харпер Дж., Таунсенд Л. Экология. Особи, популяции и сообщества. – М.: Мир, 1989. – Т. 2. – 477 с.

Белозурова Л.С., Звягинцев А.Ю. Динамика сообществ мейофауны обрастания в условиях хронического антропогенного загрязнения // Сб. науч. тр. Естественные и гуманитарные науки. – 2004. – 1, № 2.

Ващенко М.А. Загрязнение залива Петра Великого Японского моря и его биологические последствия // Биол. моря. – 2000. – 26, № 3. – С. 149-159.

Виноградова Л.А., Маштакова Г.П., Дерзюк Н.В. Сукцессионные изменения в фитопланктоне северо-западной части Черного моря // Исследования экосистемы пелагиали Черного моря: Мат. Междунар. симп. Антропогенная эвтрофикация и изменчивость экосистем Черного моря. – М.: Наука, 1986. – С. 170-179.

Водоросли-индикаторы в оценке качества окружающей среды. – М.: ВНИИПрироды, 2000. – 150 с.

Джиллер П. Структура сообществ и экологическая ниша. – М.: Мир, 1988. – 184 с.

Ежегодник качества морских вод по гидрохимическим показателям (Японское море) за 1989 год. Инв. № 8740. – Владивосток: ПУГКС, 1990. – 58 с.

Звягинцев А.Ю., Будникова Л.Л. Разногие раки (*Amphipoda*, *Crustacea*) в обрастании системы охлаждения владивостокской ТЭЦ-2 // Изв. ТИНРО. – 2003. – 132 – С. 280-298.

Киселев И.А. Сезонные изменения фитопланктона в б. Патрокл (Уссурийский залив) Японского моря // Биол. Тихоокеан. Комитета АН СССР. – 1934. – № 3. – С. 45-48.

Киселев И.А. Периодичность планктонных водорослей одной из гаваней Японского моря // Диатомовый сборник. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1953. – С. 173-179.

Коновалова Г.В. Сезонная характеристика фитопланктона в Амурском заливе Японского моря // Океанология. – 1972. – 12, № 1. – С. 123-127.

Коновалова Г.В. Сезонная динамика и видовой состав основных компонентов микро- и наннотопланктона Амурского залива Японского моря: Автореф. дис... канд. биол. наук. – Владивосток: Изд-во АН СССР, 1974. – 24 с.

Коновалова Г.В. Структура планктонного фитопланктона залива Восток Японского моря // Биол. моря. – 1984. – 18, № 1. – С. 13-23.

Коновалова Г.В. "Красные приливы" в дальневосточных морях России и прилегающих акваториях Тихого океана (Обзор) // Альгология. – 1992. – 2, № 4. – С. 96-102.



- Корякова М.Д., Никитин В.М., Звягинцев А.Ю., Белокурова Л.С. Влияние загрязненных портовых вод на обрастание и коррозию высоколегированной стали // Биол. моря. – 2002. – 28, № 2. – С. 138-142.
- Корякова М.Д., Сутопина А.П., Звягинцев А.Ю. О возможности оценки загрязнения портовых вод по минеральному составу сообщества обрастания // Океанология. – 2003. – 43, № 2. – С. 203-208.
- Михеева Т.М. Структура и функционирование фитопланктона при эвтрофировании вод: Автореф. дис... д-ра биол. наук. – Минск, 1992. – 63 с.
- Обзор экологического состояния морей СССР и отдельных районов Мирового океана за 1989 г. – Л.: Гидрометиздат, 1990. – 173 с.
- Отчет Дальневосточ. регионального гидромет. ин-та о НИС "Оценка видового разнообразия зообентоса и содержание приоритетных поллютантов в донных отложениях прибрежной зоны Японского моря". – Владивосток, 2002. – 42 с.
- Огородникова А.А. Эколого-экономическая оценка воздействия береговых источников загрязнения на природную среду и биоресурсы залива Петра Великого. – Владивосток, 2001. – 193 с.
- Огородникова А.А., Вейдман Е.Л., Селина Э.И., Нигматулина Л.В. Воздействие береговых источников загрязнения на биоресурсы залива Петра Великого (Японское море) // Изв. ТИНРО. – 1997. – 122. – С. 430-450.
- Паутова Л.А., Коновалова Г.В. Летне-осенний фитопланктон пролива Старка Японского моря // Биол. моря. – 1982. – 11. – № 5. – С. 20-28.
- Пура А.Д. Сезонные изменения видового состава фитопланктона в заливе Посьета (Японское море) // Гидробиология и биогеография шельфов холодных и умеренных вод Мирового океана. – Л.: Наука, 1974. – С. 82-83.
- Саут Р., Уиттик А. Основы альгологии. – М.: Мир, 1990. – 595 с.
- Селина М.С. Фитопланктон в районе мидиевого хозяйства в заливе Восток Японского моря // Биол. моря. – 1992. – № 5/6. – С. 15-24.
- Селина М.С. Фитопланктон залива восток Японского моря: Автореф. дис... канд. биол. наук. – Владивосток, 1998. – 25 с.
- Стоник И.В., Орлова Т.Ю. Летне-осенний фитопланктон в Амурском заливе Японского моря // Биол. моря. – 1998. – 24, № 4. – С. 205-211.
- Стоник И.В., Селина М.С. Фитопланктон как показатель трофности вод залива Петра Великого Японского моря // Биол. моря. – 1995. – 21, № 6. – С. 403-406.
- Стоник И.В. Фитопланктон Амурского залива (Японское море) в условиях эвтрофирования: Автореф. дис... канд. биол. наук. – Владивосток, 1999. – 26 с.
- Стоник И.В., Селина М.С. Видовой состав и сезонная динамика плотности и биомассы эвгленовых водорослей в заливе Петра Великого Японского моря // Биол. моря. – 2001. – 27, № 3. – С. 207-209.
- Таубе П.Б., Баранова А.Г. Химия и микробиология воды. – М.: Высш. шк., 1983. – 277 с.
- Трифопова И.С. Экология и сукцессия озерного фитопланктона. – Л.: Наука, 1990. – 184 с.
- Унифицированные методы исследования качества вод: Атлас сапробных организмов. – М.: СЭВ. – 1977. – Ч. 3, прил. 2. – 227 с.
- Aure J., Danielsen D.S., Skogen M., Svendsev E., Soiland H., Pettersson L. Environmental conditions during the *Chattonella* bloom in the North Sea and Skagerrak in May 1998 // Intern. Conf. on Harmful Algae Blooms (7-11 February, 2000), Tasmania (Australia). – UNESCO, 2001. – P. 82-88.
- Bode A., Fernandez E. Influence of water-column stability on phytoplankton size and biomass succession patterns in the central Cantabrian Sea (Bay Biscay) // J. Plan. Res. – 1992. – 14, N 6. – P. 885-902.

- Bodeanu N. Algal Blooms in Mamaia Bay (Romanian Black Sea Cost) // Harmful Marine Algae Blooms: Proc. of Sixth Intern. Conf. on Toxic Marine phytoplankton (October, 1993), Nantes (France). – 1995. – P. 127-132.
- Cadee G.C. Increase of *Phaeocystis* bloom in the westernmost Intel of the Waddu Sea, the Marsdiep, science 1973 // Water Poll. Res. Rep. – 1990. – Ser. 12. – P. 105-112.
- Fadeeva N.P., Fadeev V.I. The response of small-sized organisms to chronic oil pollution from marine sediments // Abstr. Second English Language International Nematodology Symp. of the Russian Soc. of Nematodologists ( August, 1977). – Moscow (Russia). – P. 8.
- Hallegraeff G.M. A review of harmful algae blooms and their apparent global increase // Phycologia. – 1993. – 32, N 2. – P. 79-99.
- Iizuka S. The Results of a Survey of Maximum Densities in Cells Number of Phytoplankton in Coastal Waters of Japan // Bull. Plan. Soc. Jap. – 1985. – 32, N 1. – P. 67-72.
- Konovalova G.V. Phytoplankton blooms and red tides in the Far East coastal waters of the USSR // Red Tides: Biology, Environmental Science and Toxicology. – New York: Anderson and Nemoto Elsevier Sci. Publ. Co., 1989. – P. 97-100.
- Mihnea P.E. Conventional methods applied in population control of the Romanian coastal waters of Black Sea // Sci. Total Environ., Suppl. – 1992. – P. 1165-1178.
- Mihnea P.E. Major shifts in the phytoplankton community (1980-1994) in the Romanian Black Sea // Oceanol. Acta. – 1997. – 20, N 1. – P. 119-129.
- Tkalin A.V., Belan T.A., Shapovalov E.N. The state of the marine environment near Vladivostok, Russia // Mar. Pollut. Bull. – 1993. – 26, N 8. – P. 418-422.
- Velikova V.N. Long-termstudy of red tides in the western Black sea and their ecological modeling. Xunta de Galicia: Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO. – 1998. – P. 192-195.
- Vilicic D. Phytoplankton population density and volume as indicators of eutrophication in the eastern part of the Adriatic Sea // Hydrobiologia. – 1989. – 3, N 8. – P. 117-132.

Получена 06.12.05

Подписала в печать Г.Г. Миничева