

УДК 579: 582.26/27+574.586

А.А. БЕГУН¹, Л.И. РЯБУШКО², А.Ю. ЗВЯГИНЦЕВ¹

¹Ин-т биологии моря им. А.В. Жирмунского ДВО РАН,
690041 Владивосток, ул. Пальчевского, 17, Россия

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

СОСТАВ И КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ ПЕРИФИТОНА АКВАТОРИЙ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО (ЯПОНСКОЕ МОРЕ)

Проведен сравнительный анализ видового и количественного состава микроводорослей перифитона экспериментальных пластин, экспонированных в летнее-осенний период в двух бухтах разных по степени трофности вод Японского моря: экспериментально-эвтрофной б. Золотой Рог и умеренно-эвтрофной б. Сухопутная. Обнаружено 73 вида и внутривидовых таксона водорослей, принадлежащих к отделам *Bacillariophyta* (66 видов и ввт), *Dinophyta* (5) и *Chrysophyta* (2), из них 48 – в б. Золотой Рог, 66 – в б. Сухопутная. В экстремально-эвтрофной акватории плотность микроводорослей варьирует от 0,1 до 19,4 млн кл·м⁻², а биомасса – от 0,18 до 9,6 мг·м⁻²; значения индексов видового разнообразия (H) и выровненности (e) для сообществ диатомовых водорослей составляют: $H = 1,71$ и $e = 1,76$; в умеренно-эвтрофной акватории – от 0,6 до 23,9 млн кл·м⁻², биомасса от 1,96 до 49,2 кл·м⁻²; $H = 0,41$ и $e = 0,51$.

Ключевые слова: микроводоросли, диатомовые, перифитон, эвтрофирование.

Введение

Искусственные субстраты, выполненные из антропогенных материалов, широко используют в качестве экспериментальных модулей при изучении влияния субстрата на состав и количественное развитие одноклеточных водорослей. Однако экологическая роль микроводорослей, развивающихся на антропогенных субстратах в море, еще не получила должной количественной оценки (Рябушко, Завалко, 1992; Бегун, 2006, 2007; Бегун, Рябушко, 2008а, б). В российских водах Японского моря достаточно полно изучен видовой состав и количественное распределение макроформ обрастания искусственных субстратов (Звягинцев, 2005), но до настоящего времени качественные и количественные характеристики микроводорослей перифитона оставались не исследованными.

© А.А. Бегун, Л.И. Рябушко, А.Ю. Звягинцев, 2009

Бытовые и промышленные сбросы г. Владивостока существенно влияют на экологическое состояние прибрежных морских вод и микрофитоперифитон (Бегун, 2006, 2007; Бегун, Рябушко, 2008а, б). Наиболее интенсивное антропогенное загрязнение в течение последних десятилетий прослеживается в б. Золотой Рог, особенно в ее кутовой части, с преобладанием химического, нефтяного и термального типов (Ткалин et al., 1993; Корякова и др., 2002, 2003).

Цель данной работы – исследование состава и количественных характеристик микроводорослей перифитона двух бухт с различной степенью антропогенного загрязнения российских вод северо-западной части Японского моря.

Материалы и методы

Материалом для исследования, проведенного одновременно в бухтах Сухопутная (Уссурийский залив) ($43^{\circ}14'N$, $131^{\circ}55'E$) и Золотой Рог (район 44 причала) ($43^{\circ}18'N$, $131^{\circ}52'E$) с июня по ноябрь 2001 г. (рис. 1) послужили количественные пробы микроводорослей перифитона.

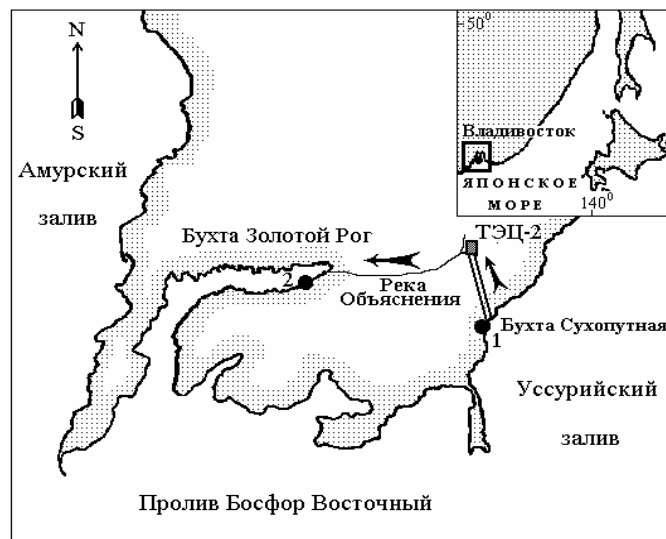


Рис. 1. Районы исследования микроводорослей: 1 – бухта Сухопутная (Уссурийский залив); 2 – бухта Золотой Рог

Стенды с экспериментальными пластинами из асбоцемента площадью $20 \times 20 \text{ см}^2$ экспонировали в обеих бухтах на глубине 1 м в течение 15 сут с последующей их съемкой два раза в месяц и заменой на новые (Бегун, 2007). Пробы фиксировали 4 %-ным раствором формалина. Подсчет клеток микроводорослей проводили в камере Горяева в трех повторностях в световом микроскопе «Olympus BX41» (Япония), при увеличении 15×40 , а для определения видов использовали объектив масляной иммерсии UPLanF1 $100 \times / 1/30$. Качественную и количественную обработку проб микроводорослей осуществляли по методикам,

описанным ранее (Рябушко, 1986; Бегун, 2007). Всего обработано 72 пробы микроперифитона. Видовое разнообразие микроперифитона оценивали с помощью показателя Шеннона-Вивера (H) (Shannon, Weaver, 1949): $H = - \sum P_i \log_2 P_i$, где P_i – доля i -го вида в суммарной их плотности и индекса выровненности Пиелу (e), который вычисляли по формуле (Pielou, 1966): $e = H/\log_2 S$, где H – показатель Шеннона-Вивера, S – общее число видов.

Одновременно с отбором проб микроперифитона определяли концентрацию растворенного и биохимически поглощаемого кислорода (БПК₅), величину рН. Данные гидрохимического анализа акваторий двух бухт опубликованы ранее (Звягинцев, Будникова, 2003). В бухте Золотой Рог отмечено вдвое меньшее содержание растворенного кислорода и карбонат-ионов, низкая прозрачность воды, высокая концентрация всех форм органического вещества и нефтепродуктов, повышенный уровень токсических соединений (ПХБ, ХЭБ и тяжелых металлов: Fe>Pb>Mn>Zn>Cu>Ni>Cd), самая высокая численность сапрофитов и гнилостных анаэробов – 63,7 тыс. кл·мл⁻¹ и нефтеокисляющих бактерий – 14,1 тыс. кл·мл⁻¹, в два раза превышающие фоновый район (Корякова и др., 2002). Среднегодовая соленость воды бухты не опускается ниже 32 ‰, а минимальная, отмечающаяся в июне-августе, составляет 23,4 ‰. Температура воды с июня по ноябрь колебалась в б. Золотой Рог от 13 до 27 °С и б. Сухопутная от 7 до 23 °С. Согласно классификации трофности морских вод, бухта Золотой Рог характеризуется как экстремально-эвтрофная акватория, а бухта Сухопутная – как умеренно-эвтрофная (Бегун, 2007).

Результаты

На экспериментальных пластинах в бухтах Золотой Рог и Сухопутная в летне-осенний период 2001 г. обнаружено 73 вида и внутривидовых таксона (ввт) микроводорослей, принадлежащих отделам *Bacillariophyta* (66 видов и ввт), *Dinophyta* (5) и *Chrysophyta* (2) (табл. 1). Представители класса *Bacillariophyceae* составляли 64 % общего количества видов диатомовых водорослей. Классы *Coscinodiscophyceae* и *Fragilariophyceae* были представлены в наименьшей степени (23 и 14 % соответственно). Доминирующими по числу видов и родовому обилию были диатомовые водоросли класса *Bacillariophyceae*: *Amphora* Ehr. et Kütz. (5 видов), *Nitzschia* Hassall (6) и *Navicula* Bory (5).

В б. Золотой Рог отмечено 48 видов микроводорослей, б. Сухопутная – 66. Для обеих акваторий встречено 40 общих видов и ввт. К ним относятся преимущественно широко распространенные, эврибионтные, планктонные диатомовые водоросли из родов *Coscinodiscus* Ehr., *Melosira* C. Agardh, *Ditylum* J.W. Bailey, *Eucampia* Ehr., *Leptocylindrus* Cleve, *Skeletonema* Grev., *Thalassionema* Grunov ex Mereschk., осевшие на поверхность экспериментальных пластин из толщи воды. В б. Сухопутная отмечено 13 видов с частотой встречаемости более 50 %, среди них бентосные виды *Parlibellus delognei* и *Pleurosigma naviculaceum* наблюдались постоянно.

Бентосные диатомовые водоросли, обнаруженные в перифитоне исследуемых акваторий (см. табл. 1), представлены свободноживущими (91,8 %) и прикрепленными (8,2 %) формами, которые, в свою очередь, являются одиночными (56 %) и колониальными (44 %). Как правило, по числу видов преобладали одиночно-живущие виды, способные свободно передвигаться и активно заселять поверхность любых субстратов. Колонии микроводорослей имеют самые разнообразные жизненные формы: пучковидные, трубчатые, находящиеся в слизистых тяжах, веерообразные, прикрепленные к субстрату с помощью слизи, нитчатые, лентовидные и зигзаговидные, у которых клетки соединены с помощью апикальных слизистых пор. Из всех видов к типичным эпифитам и обрастателям, развивающимся на макрофитах или твердых субстратах, относятся 10 видов диатомовых водорослей. Часть видов принадлежит к флоре песчаных и илистых грунтов, попавших на субстрат в период взмучивания вод, либо к формам, осевшим из толщи воды.

Экологическая характеристика диатомовых водорослей по отношению к местообитанию показывает, что 52 % видов являются бентосными, 25 % относятся к бенто-планктонным и 23 % – планктонным формам (рис. 2, А). По отношению к солености преобладают эвригалинные виды, из них морские составляют 67 %, солоноватоводно-морские – 29 % (рис. 2, Б). Обзор флоры исследуемых водоемов существенно дополняет фитогеографическая характеристика диатомовых водорослей, тесно связанная с их экологией. Из всех встреченных видов 48 % составляют космополиты и 21 % – аркто-бореально-тропические форм (рис. 2, В).

По отношению к рН среды обитания на экспериментальных пластинах преобладают алкалофильные виды микроводорослей (96 %). Выявлено 18 видов, которые являются индикаторами органического загрязнения. Важное значение имеет мезосапробная группа водорослей, в которой по числу видов преобладают индикаторы умеренно загрязненных (β -мезосапробионты) и загрязненных вод (α -мезосапробионты).

Среди индикаторов условно «чистых» вод отмечены олигосапробионты и ксено-олигосапробионты. В б. Золотой Рог по численности доминировали α -мезосапробионты *Melosira moniliformis* (28,5 %), *Skeletonema costatum* (31,8-86,8 %) и *Amphora caroliniana* (59,1 %), в б. Сухопутная – олигосапробионт *Bacillaria paxillifer* (34,6 %), вид-индикатор «чистых» вод.

Анализ динамики количественного распределения сообществ микроводорослей на асбоцементных пластинах в течение летне-осеннего сезона показал, что средние значения плотности и биомассы водорослей двух сравниваемых водоемов различаются между собой. В б. Сухопутная плотность варьировала от 0,6 до 23,9 млн кл·м⁻², биомасса – от 1,96 до 49,2 кл·м⁻² с максимумом 23,9 млн кл·м⁻² в первой половине июня за счет доминирования колониальной диатомовой водоросли *Fragilaria striatula* на фоне минимальных значений индексов видового разнообразия ($H = 0,72$) и выровненности ($e = 0,19$) (рис. 3).

Таблица 1. Список микроводорослей, обнаруженных на экспериментальных пластинах с 15-суточным сроком экспозиции (июнь-ноябрь 2001 г.) в бухтах Золотой Рог и Сухопутная, Японское море

Таксон	Приуроченность к местообитанию	Отношение к солености	Фитогеографическая характеристика	Б. Золотой Рог	б. Сухопутная
1	2	3	4	5	6
<i>BACILLARIOPHYTA</i>					
<i>Arahnodiscus ehrenbergii</i> Bail.	БП	М	К	-	+
<i>Chaetoceros decipiens</i> Cleve	ФП	М	К	+	-
<i>C. didymus</i> Ehr.	ФП	М	К	-	+
<i>Coscinodiscus oculus-iridis</i> Ehr.	БП	М	К	+	+
<i>Ditylum brightwellii</i> (T. West) Grunov	ФП	М	БТ	+	+
<i>Eucampia zodiacus</i> Ehr.	ФП	М	Б	+	+
<i>Hemiaulus hauckii</i> Grunov	ФП	М	К	+	-
<i>Leptocylindrus mediterraneus</i> (H. Perag.) Hasle	ФП	М	К	+	+
<i>Melosira lineata</i> (Dillw.) C. Agardh	БП	СМ	АБТ	+	+
<i>M. moniliformis</i> var. <i>moniliformis</i> (O.F. Müll.) C. Agardh	БП	СМ	К	+	+
<i>M. moniliformis</i> var. <i>subglobosa</i> Grunov	БП	СМ	АБ	-	+
<i>Odontella aurita</i> (Lyngb.) C. Agardh	БП	М	К	+	+
<i>Rhizosolenia setigera</i> Brightw	ФП	М	К	+	+
<i>Skeletonema costatum</i> (Grev.) Cleve	ФП	СМ	К	+	+
<i>Trigonium arcticum</i> f. <i>baleanum</i> (Ehr.) Meunier	МФБ	М	АБ	-	+
<i>Falcula media</i> var. <i>subsalina</i> Proschk.-Lavr.	МФБ	М	Б	+	-
<i>Fragilaria striatula</i> Lyngb.	МФБ	М	К	+	+
<i>Grammatophora marina</i> (Lyngb.) Kütz.	МФБ	М	Б	+	+
<i>Licmophora abbreviata</i> C. Agardh	МФБ	М	АБ	+	+
<i>L. flabellata</i> (Grunov) C. Agardh	МФБ	М	БТ	+	+
<i>Striatella delicatula</i> (Kütz.) Grunov	БП	СМ	АБТ	+	+
<i>S. unipunctata</i> (Lyngb.) C. Agardh	БП	М	БТ	-	+
<i>Tabularia fasciculata</i> (C. Agardh) Williams et Round	МФБ	СМ	К	-	+
<i>Thalassionema nitzschioides</i> Grunov	МФБ	М	АБТ	+	+
<i>Achnanthes brevipes</i> C. Agardh	МФБ	СМ	К	+	+
<i>Amphora angusta</i> Greg.	МФБ	СМ	К	+	+
<i>A. caroliniana</i> Giffen	МФБ	М	БТ	+	-
<i>A. hyaline</i> Kütz.	МФБ	М	К	+	+
<i>A. proteus</i> Greg.	МФБ	М	К	+	+
<i>Amphora</i> sp.	МФБ	-	-	-	+
<i>Bacillaria paxillifer</i> (O.F. Müll.) Hendey	БП	СМ	К	+	+
<i>Cocconeis costata</i> Greg.	МФБ	М	К	+	+

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6
<i>Cocconeis</i> sp.	МФБ	-	-	-	+
<i>Cylindrotheca closterium</i> (Ehr.) Reim. et Lewin	БП	СМ	АБ	+	+
<i>Diploneis smithii</i> (Bréb.) Cleve	МФБ	СМ	К	-	+
<i>D. subcincta</i> (A. Schmidt) Cleve	МФБ	М	АБТ	-	+
<i>Donkinia recta</i> (Donkin) Grunov	БП	М	БТ	+	+
<i>Entomoneis alata</i> (Ehr.) Ehr.	БП	С	АБТ	+	+
<i>Gyrosigma balticum</i> (Ehr.) Rabenh.	БП	СМ	АБТ	-	+
<i>G. fasciola</i> (Ehr.) Griff. et Henfr.	БП	М	АБТ	-	+
<i>G. tenuissimum</i> (W. Sm.) Griff. et Henfr.	МФБ	М	АБТ	+	+
<i>Haslea subagnita</i> (Proschk.-Lavr.) I.V. Makar. et N.I. Kar.	МФБ	М	Б	-	+
<i>Navicula ammophila</i> Grun. var. <i>intermedia</i> Grunov	МФБ	СМ	АБ	-	+
<i>N. cancellata</i> Donk. var. <i>retusa</i> (Bréb.) Cleve	МФБ	М	К	+	-
<i>N. directa</i> (W. Sm.) Ralfs ex Pritch.	МФБ	М	К	+	+
<i>N. distans</i> (W. Sm.) Ralfs ex Pritch.	МФБ	М	АБТ	-	+
<i>Navicula</i> sp.	МФБ	-	-	+	+
<i>Nitzschia hybrida</i> f. <i>hyalina</i> Proschk.-Lavr.	МФБ	С	Б	+	+
<i>N. longissima</i> (Bréb. ex Kütz.) Ralfs ex Pritch.	БП	СМ	АБТ	+	+
<i>N. sigma</i> (Kütz.) W. Sm.	МФБ	СМ	К	-	+
<i>N. sigmoidea</i> (Nitzsch) W. Sm.	МФБ	СМ	БТ	-	+
<i>N. vermicularis</i> (Kütz.) Hantzsch ex Rabenh.	МФБ	С	БТ	-	+
<i>Nitzschia</i> sp.	МФБ	-	-	+	+
<i>Parlibellus delognei</i> (V.H.) E.J. Cox	МФБ	М	АБТ	+	+
<i>P. rhombica</i> (Greg.) L.I. Ryab.	МФБ	СМ	Б	-	+
<i>Plagiotropis elegans</i> (W. Sm.) Grunov	МФБ	М	Б	-	+
<i>Pleurosigma elongatum</i> W. Sm.	МФБ	СМ	К	+	+
<i>P. intermedium</i> W. Sm.	МФБ	М	Б	+	+
<i>P. naviculaceum</i> Bréb.	МФБ	М	АБ	+	+
<i>Psammodictyon panduriforme</i> (Greg.) D.G. Mann	МФБ	М	АБТ	+	+
<i>Pseudo-nitzschia calliantha</i> Lundholm, Moestrup et Hasle	ФП	М	К	+	-
<i>P. pungens</i> (Grunov ex Cleve) Hasle	ФП	М	К	-	+
<i>Rhoicosphenia marina</i> (W. Sm.) M. Schmidt	МФБ	М	АБ	+	+
<i>Trachyneis aspera</i> (Ehr.) Cleve	МФБ	М	АБТ	+	+
<i>Undatella lineolata</i> (Ehr.) L.I. Ryab.	МФБ	СМ	АБТ	+	+
CHRYSOPHYTA					
<i>Dictyocha fibula</i> Ehrb.	ФП	М	К	+	+
<i>D. speculum</i> Ehr.	БП	М	К	+	+
DINOPHYTA					
<i>Dinophysis acuminata</i> Clap. et Lachm.	ФП	М	К	-	+
<i>Prorocentrum triestinum</i> Schill.	ФП	М	БТ	+	-
<i>Protoperidinium depressum</i> (Bail.) Balech	ФП	М	К	-	+
<i>P. pellucidum</i> Bergh	ФП	М	К	+	-
<i>Pyrophacus steinii</i> (Schill.) Wall et Dale	ФП	М	К	-	+
Условные обозначения: Приуроченность к местообитанию: МФБ – микрофитобентосный, БП – бенто-планктонный, ФП – фитопланктонный; отношение к солёности: М – морской, СМ – солоноватоводно-морской, С – солоноватоводный, ПС – пресноводно-солоноватоводный; фито-географическая характеристика: К – космополит, Б – boreальный, АБ – аркто-boreальный, АБТ – аркто-boreально-тропический, БТ – boreально-тропический.					

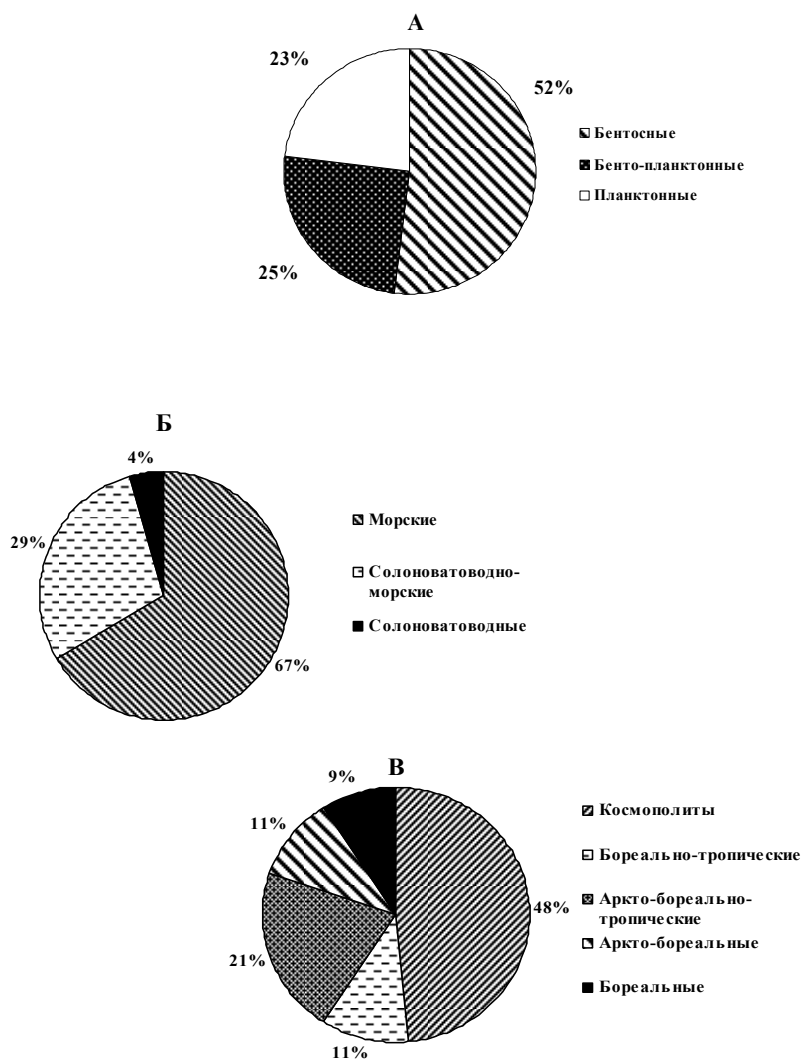


Рис. 2. Эколого-географическая характеристика микроводорослей перифитона бухт Сухопутная и Золотой Рог в летне-осенний период 2001 г.: А – приуроченность видов водорослей к местообитанию; Б – отношение к солёности; В – фитогеографические элементы флоры микроводорослей

Второй пик плотности ($17,4 \text{ млн} \cdot \text{кл} \cdot \text{м}^{-2}$) зарегистрирован в первой половине октября за счет массового развития мелкоклеточных свободноживущих диатомей *Nitzschia* sp. и *Cylindrotheca closterium*, которые вносили незначительный вклад в биомассу сообщества. В б. Золотой Рог плотность водорослей варьировала от $0,1$ до $19,4 \text{ млн кл} \cdot \text{м}^{-2}$, а биомасса – от $0,18$ до $9,6 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-2}$ с максимумом плотности в первой половине сентября ($19,4 \text{ млн кл} \cdot \text{м}^{-2}$) за счет доминирования видов *Amphora angusta* и *Nitzschia* sp. на фоне минимальных показателей индексов видового разнообразия ($H = 0,39$) и выровненности ($e = 0,12$) (см. рис. 3).

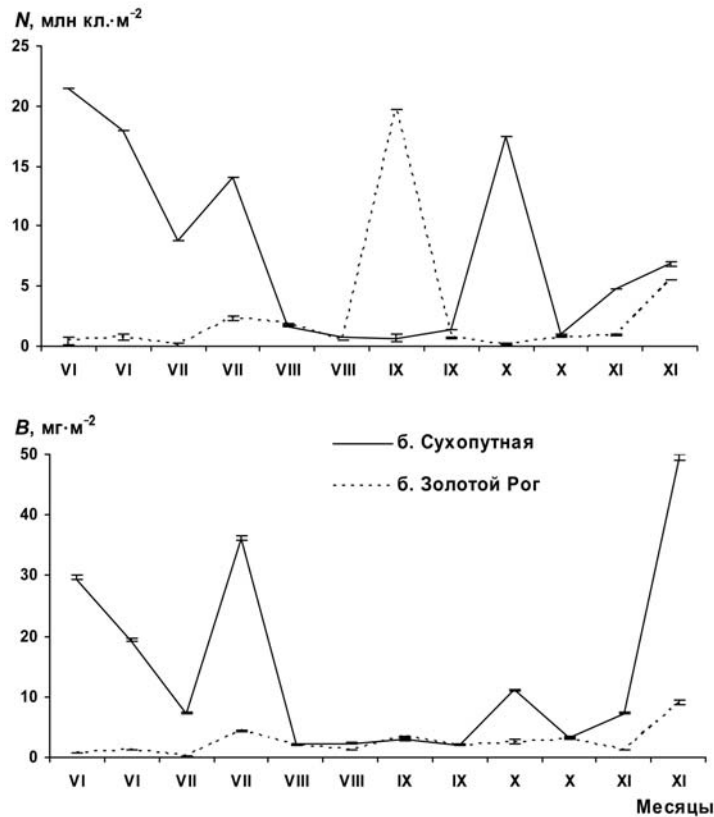


Рис. 3. Динамика плотности (N) и биомассы (B) микроводорослей перифитона бухт Золотой Рог и Сухопутная в летне-осенний период 2001 г.

Сравнение количественных данных сообществ микроводорослей двух акваторий показало, что в б. Золотой Рог плотность в 3 раза, а биомасса в 5,5 раз ниже, чем в б. Сухопутная. Кроме того, абсолютная и относительная плотность планктонных форм диатомовых водорослей значительно выше в импактных водах бухты (0,75 или 24 % среднегодовой плотности микроводорослей), чем в фоновом районе б. Сухопутная (0,26 млн кл·м⁻² или 4 %) (рис. 4).

Анализ динамики количественного распределения сообществ микроводорослей на асбоцементных пластинах в течение летне-осеннего сезона показал, что средние значения плотности и биомассы водорослей двух сравниваемых водоемов различаются между собой (табл. 2).

По плотности и биомассе выделено 25 доминирующих и субдоминирующих видов водорослей, из них в б. Золотой Рог – 19, б. Сухопутная – 18 видов (табл. 2). Значения индексов видового разнообразия (H) и выровненности (e) для сообществ диатомовых водорослей из бухт Золотой Рог и Сухопутная составляют $H = 1,71$ и $e = 1,76$; $H = 0,41$ и $e = 0,51$ соответственно (рис. 5).



Рис. 4. Значения абсолютной (N , млн кл·м⁻²) и относительной плотности (N , %) микроводорослей разных экологических группировок перифитона в бухтах Сухопутная и Золотой Рог в летне-осенний период 2001 г.

Обсуждение

Низкие значения плотности и биомассы микроводорослей, отмеченные в перифитоне б. Золотой Рог, обусловлены разными причинами: отсутствием макрофитного звена в кустовой её части, резким скачком в июле и сентябре 2001 г. концентрации нефтеуглеводородов в водах реки Обьяснения (0,95 и 8,07 мг·дм⁻³ соответственно), впадающей в бухту (рис. 6); увеличением числа планктонных форм диатомовых, обычно совпадающим со временем отмирания фитопланктона; высокой концентрацией взвеси и всех форм органического вещества, способствующих низкой прозрачности воды в море (Корякова и др., 2002, 2003); усилением антропогенного загрязнения акваторий токсическими элементами (ПХБ, ХЭБ и тяжелых металлов), способствующими оседанию на дно большей массы фитопланктона (Бегун, 2004).

Таблица 2. Плотность (N) и биомасса (B) доминирующих и субдоминирующих видов микроводорослей перифитона бухт Золотой Рог и Сухопутная в летне-осенний период

Таксон	б. Золотой Рог				б. Сухопутная			
	N		B		N		B	
	млн кл·м ⁻²	%	мг·м ⁻²	%	млн кл·м ⁻²	%	мг·м ⁻²	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Amphora angusta</i>	8,0	40,0	11,5	22,8	-	-	-	-
	0,36	53,0	0,57	28,7	-	-	-	-
<i>A. caroliniana</i>	0,48	59,1	2,3	75,2	-	-	-	-
<i>Bacillaria paxillifer</i>	-	-	-	-	2,4	16,8	7,4	21,3
	-	-	-	-	-	-	1,6	22,0
	-	-	-	-	2,4	34,6	29,8	61,8
<i>Coscinodiscus oculus-iridis</i>	-	-	0,42	22,5	-	-	1,8	24,2
	-	-	2,26	85,7	-	-	-	-
<i>Cylindrotheca closterium</i>	0,24	28,8	-	-	1,3	15,9	-	-
	-	-	-	-	3,6	26,0	-	-
	-	-	-	-	0,1	5,9	-	-
	-	-	-	-	0,2	28,8	-	-
	-	-	-	-	0,12	21,3	-	-
	-	-	-	-	0,3	26,8	-	-
	-	-	-	-	6,0	34,2	-	-
	-	-	-	-	0,14	17,4	-	-
	0,36	35,2	0,18	13,8	3,6	78,0	-	-
	-	-	-	-	1,2	16,7	6,2	12,8
<i>Ditylum brightwellii</i>	-	-	0,84	42,0	-	-	0,5	21,9
	-	-	-	-	-	-	0,7	26,8
<i>Eucampia zodiacus</i>	-	-	16,0	31,8	-	-	-	-
<i>Fragilaria striatula</i>	0,16	35,7	0,23	33,9	19,2	83,4	6,5	26,7
	0,16	23,6	0,23	19,3	14,0	77,7	10,0	52,8
<i>Grammatophora marina</i>	-	-	0,22	18,4	-	-	0,31	13,7
	-	-	1,2	27,6	-	-	-	-
	-	-	1,7	19,8	-	-	-	-
<i>Gyrosigma tenuissimum</i>	-	-	0,2	14,8	-	-	0,3	13,1
<i>Licmophora abbreviata</i>	-	-	0,17	14,4	-	-	4,2	17,0
	-	-	0,07	42,9	-	-	-	-
<i>Leptocylindrus mediterraneus</i>	-	-	0,84	62,2	-	-	1,0	47,6
	-	-	-	-	-	-	1,0	40,0
<i>Melosira lineata</i>	-	-	3,45	47,2	-	-	-	-
<i>M. moniliformis</i>	0,13	28,5	0,21	31,7	-	-	15,4	44,2
	-	-	-	-	-	-	0,56	24,5
<i>Navicula</i> sp.	0,11	22,3	-	-	1,6	17,7	0,96	12,8
<i>Nitzschia longissima</i>	-	-	0,41	31,7	-	-	-	-
<i>N. hybrida</i> f. <i>hyalina</i>	-	-	-	-	-	-	0,4	20,9
	-	-	-	-	-	-	1,38	16,9

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Nitzschia</i> sp.	0,04	49,9	-	-	4,8	51,6	1,0	14,1
	1,6	67,5	-	-	4,0	28,2	-	-
	0,1	21,1	-	-	1,2	73,2	0,47	20,6
	9,6	48,1	-	-	0,4	57,6	-	-
	0,14	81,3	-	-	0,4	60,9	-	-
	0,2	19,6	-	-	0,8	53,7	0,2	14,2
	-	-	-	-	10,0	57,0	0,2	14,2
	-	-	-	-	0,24	26,8	-	-
<i>Odontella aurita</i>	-	-	-	-	-	-	11,7	47,8
<i>Parlibellus delogneii</i>	-	-	-	-	-	-	1,15	15,4
	-	-	-	-	-	-	1,92	12,2
	-	-	-	-	0,28	4,9	1,15	16,0
<i>Pleurosigma naviculaceum</i>	-	-	17,2	34,2	-	-	-	-
<i>Prorocentrum triestinum</i>	0,16	9,6	-	-	-	-	-	-
<i>Skeletonema costatum</i>	1,6	86,4	0,66	33,2	-	-	-	-
	0,24	42,2	-	-	-	-	-	-
	0,24	31,8	-	-	-	-	-	-
	0,16	20,6	-	-	-	-	-	-
	0,36	35,2	0,15	11,4	-	-	-	-
	4,8	86,8	2,0	21,6	2,0	28,8	-	-
<i>Tabularia fasciculata</i>	0,12	17,2	0,28	23,5	2,0	15,1	-	-
	0,03	24,0	0,06	34,9	0,14	7,9	-	-
	0,34	15,9	0,86	19,8	-	-	-	-
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	-	-	-	-	0,48	44,8	2,1	69,7
	-	-	-	-	0,48	9,3	2,1	29,6

В результате увеличения содержания органических веществ и детрита наблюдается дефицит кислорода в придонном слое воды, угнетающе воздействующий на развитие донных форм микроводорослей в перифитонных сообществах, чувствительных к снижению прозрачности воды. Постоянный поток микроводорослей из пелагиали на дно и обратно объясняет присутствие и значительный вклад планктонных видов в общую численность сообществ экспериментальных пластин.

Максимальное количественное развитие планктонных водорослей, в т.ч. *Skeletonema costatum*, отмечено в августе, октябре и ноябре, что совпадает с периодами массового развития этого вида в фитопланктоне Японского моря (см. табл. 2). Обилие планктонных форм водорослей и многочисленные «цветения» воды, вызванные ими, нередко отмечены в импактных водах б. Золотой Рог (Бегун, 2004, 2006). Здесь на мелководье в течение нескольких месяцев прослеживаются высокие количественные показатели планктонных видов водорослей и их покоящиеся споры. Эти данные свидетельствуют о взаимном влиянии фитопланктона и микрофитобентоса как единого эколого-флористического комплекса, что было отмечено ранее для мелководья Чёрного моря (Рябушко, Рябушко, 2001).

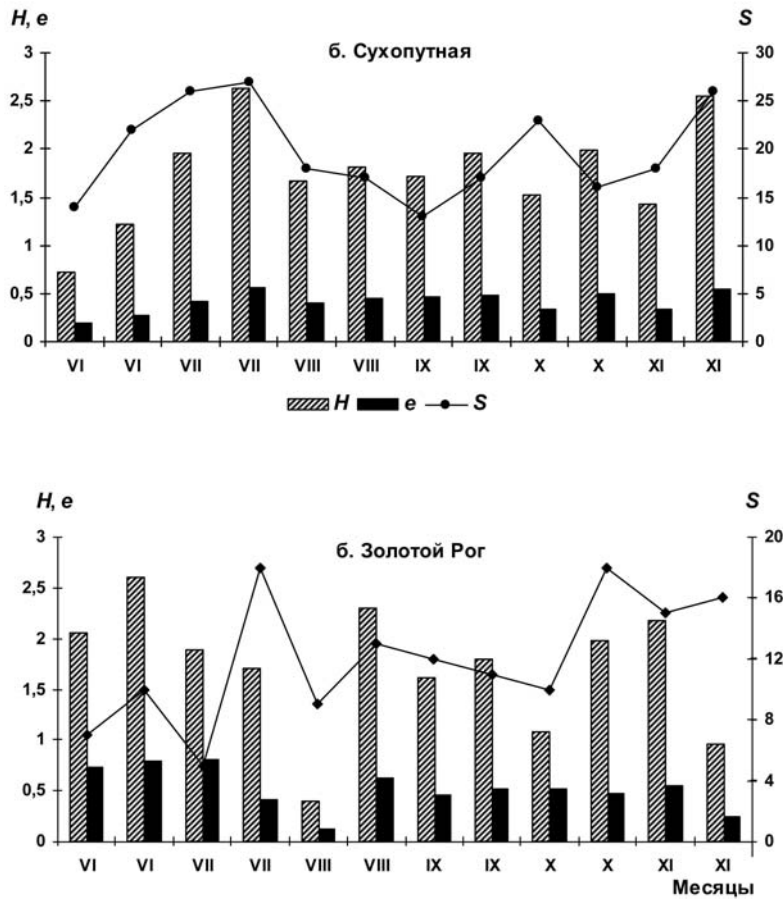


Рис. 5. Динамика индексов Шеннона (H), Пиелу (e) и числа видов (S) микроводорослей перифитона в бухтах Золотой Рог и Сухопутная в летне-осенний период 2001 г.

Результаты проведенных исследований и анализ литературных данных свидетельствуют о том, что у микроводорослей имеется индивидуальный отклик на разный тип антропогенного загрязнения (Рябушко, Рябушко, 2001; Бегун, 2007; Бегун, Рябушко, 2008а, б). Так, при увеличении количества органики на фоне общего снижения численности перифитона «аборигенные» виды замещаются на «антропогенные» или виды-индикаторы эвтрофирования вод, такие как *Amphora angusta*, *A. caroliniana*, *Undatella lineolata*, *Nitzschia* sp., достигающие относительно высоких количественных значений и обеспечивающие единственный максимум численности перифитонного сообщества. Близкий состав диатомовых водорослей отмечен китайскими учеными при исследовании деревянных субстратов, в сентябре максимальная численность достигала 2 млн кл·см⁻², а наиболее многочисленными были *Amphora angusta*, *A. coffeaeformis*, *Navicula ramosissima*, появляющиеся на субстрате раньше, чем *Nitzschia* и *Synedra* (Bangqin et al., 1989).



Рис. 6. Изменение значений концентрации нефтеуглеводородов в воде в районе водозаборного ковша ВТЭЦ-2 (б. Сухопутная) и устья р. Объяснения (б. Золотой Рог) в летне-осенний период 2001 г.

В результате смены видов в сообществе микроводорослей на «антропогенные» с высокими индексами сапробности происходит формирование высокоэффективного климаксного комплекса видов, выдерживающих значительное загрязнение биогенными элементами (Барина и др., 2006). Особенности развития микроводорослей в б. Золотой Рог во многом обусловлены экстремальным уровнем антропогенного пресса, выраженным в гиперэвтрофировании и нефтяном загрязнении. Среднегодовой показатель загрязнения нефтепродуктами б. Золотой Рог составляет $0,87 \text{ мг·дм}^{-3}$, в то время как фонового района б. Сухопутная – $0,14 \text{ мг·дм}^{-3}$ (Звягинцев, Будникова, 2003). Водные экосистемы такого типа подвергаются обоим подавляющим факторам – увеличению объема сбросов и их токсичности, оказывающим в целом ингибирующее влияние на развитие микроводорослей.

Воды фонового района б. Сухопутная отличаются от загрязнённой б. Золотой Рог отсутствием источников загрязнения и свободным водообменом с открытым морем (Звягинцев, 2005). Здесь в теплое время года наблюдается естественное эвтрофирование – элиминация массы водорослей-макрофитов, отсутствующих в б. Золотой Рог, что определяет разный состав микроводорослей-доминант. В б. Сухопутная в отдельные месяцы встречены олигосапробионты *Nitzschia sigmoidea* и *N. vermicularis* наряду с индикаторами органического эвтрофирования вод диатомовыми водорослями *Melosira moniliformis* и *Licetophora abbreviata*. Эти виды встречаются и в Чёрном море в период, когда прижизненные выделения водорослей-макрофитов обогащают воду РОВ и стимулируют кратковременное массовое развитие одноклеточных водорослей, способных к органотрофии (Хайлов, Каменир, 1987; Рябушко, Завалко, 1992).

Выводы

1. В перифитоне экспериментальных пластин в двух бухтах Японского моря обнаружено 73 вида ввт микроводорослей с доминированием бентосных диатомовых (52 %), из них в экстремально-эвтрофной б. Золотой Рог отмечено 48 видов в умеренно-эвтрофной б. Сухопутная – 66.

2. Флора микроводорослей характеризуется по отношению к солености преобладанием морских (67 %) и солоноватоводно-морских форм (29 %), а по фитогеографической принадлежности преобладанием космополитов (48 %) и аркто-бореально-тропических элементов флоры (21 %). Диатомовый комплекс развивается лучше в условиях природного эвтрофирования, чем при антропогенном загрязнении токсичными элементами сточных вод, поступающих в б. Золотой Рог. Выявлено 18 видов-индикаторов сапробности водоемов: β -мезосапробионтов и α -мезосапро-бионтов.

3. Численность микроводорослей в 3 раза, а биомасса в 5,5 раз ниже в б. Золотой Рог, чем в б. Сухопутная. Видовое разнообразие ($H = 1,71$) и выровненность ($e = 1,76$) видов в сообществе микроводорослей перифитона б. Золотой Рог выше, чем в б. Сухопутная ($H = 0,41$ и $e = 0,51$).

Благодарности

Работа выполнена при поддержке ФЦП «Мировой океан» на 2008-2009 гг. госконтракт № 01.420.1.2.0003 от 07 ноября 2008 г.; грантов ДВО-1 № 06-I-II-11-034 «Биологическая безопасность дальневосточных морей России» (2006-2008 гг.) и ДВО-1 № 09-I-ОБН-08 «Оценка состояния морской среды методом биоиндикации по диатомовым сообществам обрастаний на природных и антропогенных субстратах» (2009-2011 гг.); грантов ДВО РАН 09-I-П15-03, 09-I-П16-04, 09-I-П23-01; грантов РФФИ 09-04-00087-а, 09-04-98580-р_восток_a; Целевой комплексной программы ДВО РАН «Биологическая безопасность Дальневосточных морей Российской Федерации», гранта фонда APN ARCP2006-FP14-Adrianov.

A.A. Begun¹, L.I. Ryabushko², A.Yu. Zvyagintsev¹

¹A.V. Zhirmunsky Institute of Marine Biology, Far East Branch of Russian Academy of Sciences, 17 Palchevsky St., 690041 Vladivostok, Russia

²Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas, National Academy of Sciences of Ukraine, 2 Nakhimov Av., 99011 Sevastopol, Ukraine

COMPOSITION AND QUANTITATIVE CHARACTERISTICS OF PERIPHYTON
MICROALGAE IN COASTAL WATERS NEAR VLADIVOSTOK CITY (RUSSIA)

A comparative analysis of specific and quantitative composition of periphyton microalgae in two bays of the Japan Sea in a summer-autumn period was made. The extremely-eutropical Gold Horn Bay and the temperately-eutropical Sukhoputnaya Bay were investigated. Seventy-three species and infraspecific taxa

of algae belonging to *Bacillariophyta* (66 species and infraspecific taxa), *Dinophyta* (5) and *Chrysophyta* (2) were studied; from them 48 taxons – in Gold Horn Bay, 66 – in Sukhoputnaya Bay. In an extremely-eutroptical basin the density of microalgae was from 0.1 to 19.4 mln cells·m⁻² and biomass – from 0.18 to 9.6 mg·m⁻²; the values indexes of Shannon (*H*) and of Pielou (*e*) were *H* = 1.71 and *e* = 1.76 for diatoms; in temperately-eutrophical basin – from 0.6 to 23.9 mln cells·m⁻², biomass – from 1.96 to 49.2 mln cells·m⁻²; *H* = 0.41 and *e* = 0.51.

Keywords: microalgae, diatoms, periphyton, eutrophication.

- Баринова С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. – Тель-Авив: Pilies Studio, 2006. – 498 с.
- Бегун А.А. Фитопланктон бухты Золотой Рог и Уссурийского залива (Японское море) в условиях антропогенного загрязнения // Изв. ТИНРО. – 2004. – **138**. – С. 330-344.
- Бегун А.А. Летне-осенний фитопланктон бухты Золотой Рог (Японское море) в условиях антропогенного загрязнения // Альгология. – 2006. – **16**, № 4. – С. 417-434.
- Бегун А.А. Состав и количественные характеристики микроводорослей планктона и перифитона в заливе Петра Великого (Японское море): Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Владивосток, 2007. – 18 с.
- Бегун А.А., Рябушко Л.И. Отклик микроводорослей планктона и перифитона на загрязнение морских вод // Мат. II междунар. науч. конф. (Биробиджан, 6-9 окт. 2008 г.). – Биробиджан: ИКАРП ДВО РАН, 2008а. – С. 101-102.
- Бегун А.А., Рябушко Л.И. Особенности количественного развития микроводорослей перифитона бухты Золотой Рог (Японское море) в условиях антропогенного пресса // Междунар. науч. конф. (Хабаровск, 2008). – Хабаровск, 2008б.
- Звягинцев А.Ю. Морское обрастание в северо-западной части Тихого океана. – Владивосток: Дальнаука, 2005. – 432 с.
- Звягинцев А.Ю., Будникова Л.Л. Разноногие раки (*Amphipoda*, *Crustacea*) в обрастании системы охлаждения Владивостокской ТЭЦ-2 // Изв. ТИНРО. – 2003. – **131**. – С. 280-298.
- Корякова М.Д., Никитин В.М., Звягинцев А.Ю., Белогурова Л.С. Влияние загрязненных портовых вод на обрастание и коррозию высоколегированной стали // Биол. моря. – 2002. – **28**, № 2. – С. 138-142.
- Корякова М.Д., Супонина А.П., Звягинцев А.Ю. О возможности оценки загрязнения портовых вод по минеральному составу сообщества обрастания // Океанология. – 2003. – **43**, № 2. – С. 203-208.
- Кучерова З.С. Видовой состав и сезонная смена диатомовых морских обрастаний // Тр. СБС. – 1957. – **9**. – С. 22-29.
- Рябушко Л.И., Завалко С.Е. Микрофитообрастания искусственных и природных субстратов в Чёрном море // Бот. журн. – 1992. – **77**, № 5. – С. 33-39.
- Рябушко Л.И., Рябушко В.И. Микрофитобентос бухты Казачья Черного моря (Украина) // Альгология. – 2001. – **11**, № 1. – С. 70-82.

- Bangqin H., Zhaodi Ch., De Xiang J.J.* Экологические исследования прикрепленных диатомовых водорослей на искусственных субстратах в Ксимае, Китай // *J. Xiam. Univ. Nat. Sci.* – 1989. – **28**, N 5. – P. 549-553.
- Pielou E.C.* The measurement of diversity in different types of biological collection // *J. Teor. Biol.* – 1966. – **13**. – P. 131-144.
- Shannon C.E., Weaver W.* The mathematical theory of communication. – Urbana: Univ. Illinois Press, 1949. – 117 p.
- 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.

Получена 24.01.08

Рекомендовала к печати Л.И. Мусатенко