

УДК 639.3/6

А.А. Бегун², С.И. Масленников^{1,2}, А.Б. Крючкова³¹Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б²Институт биологии моря им. А.В. Жирмунского ДВО РАН,
690041, г. Владивосток, ул. Пальчевского, 17³ООО «Морской биотехнопарк», г. Владивосток, ул. Русская, 19а**ДИАТОМОВЫЕ ВОДОРΟΣЛИ ЭПИФИТОНА БУРОЙ ВОДОРΟΣЛИ
SARGASSUM PALLIDUM (TURNER) C. AGARDH В БУХТЕ ТИХАЯ ЗАВОДЬ
(ЗАЛИВ ВОСТОК, ЯПОНСКОЕ МОРЕ)**

В эпифитоне бурой водоросли *Sargassum pallidum* отмечено 19 видов и внутривидовых таксонов диатомовых водорослей из классов *Bacillariophyceae* (11), *Fragilariophyceae* (4) и *Coscinodiscophyceae* (4). Количественное обилие диатомового эпифитона обуславливали преимущественно *Tabularia fasciculata*, *Achnanthes brevipes*, *Licmophora abbreviata* и *Melosira moniliformis* – колониальные прикрепленные микроводоросли, характерные для обрастания твердых поверхностей естественного и искусственного происхождения. Степень обрастания *Sargassum pallidum* диатомовыми водорослями можно охарактеризовать как умеренную, что в целом характерно для макрофитов с осевым типом таллома. Сапробиологический анализ диатомовых водорослей показал доминирование в эпифитоне β- и α-мезосапробионтов, что свидетельствует об умеренном уровне органического загрязнения воды в бухте Тихая Заводь зал. Восток, обусловленного преимущественно природным евтрофированием в летний период.

Ключевые слова: эпифитон, диатомовые водоросли, сапробионты, макрофиты.

**A.A. Begun, S.I. Maslennikov, A.B. Kruchkova
DIATOMS OF EPIPHYTON OF SARGASSUM PALLIDUM (TURNER)
C. AGARDT (PHAEOPHYTA) IN THE TICHAYA ZAVOD BAY
(VOSTOK BAY, JAPAN SEA)**

In total, 19 species and intraspecific taxa of diatoms including *Bacillariophyceae* (11), *Fragilariophyceae* (4) and *Coscinodiscophyceae* classes in epiphyton of *Sargassum pallidum* (Phaeophyta) are revealed. The diatoms *Tabularia fasciculata*, *Achnanthes brevipes*, *Licmophora abbreviata* and *Melosira moniliformis* – typical for fouling of natural and artificial surfaces colonial attached algae determining peculiarities of epiphyton quantitative abundance. The fouling of *S. pallidum* by diatoms make it possible to consider as temperate level, that is character for macrophytes having axial type thallus. The saprobiological analysis of diatoms has shown domination β- and α-mesosaprobiontes in epiphyton, that evidences to temperate level of organic water pollution by caused generally natural eutrophication in Tichaya Zavod Bay (Vostok Bay) in summer.

Key words: epiphyton, diatoms, saprobiontes, macrophytes.

Введение

Талломы водорослей-макрофитов служат субстратом для оседания и развития эпифитов различного происхождения. Диатомовые водоросли составляют основу микроэпифитона, следовательно, изучение их видового разнообразия и количества является важным этапом в исследовании водорослевых сообществ в прибрежных акваториях [2, 10]. Биоиндикационные методы санитарно-биологического анализа морских вод,

основанные на выявлении видов микроводорослей-индикаторов чистых и загрязненных вод в эпифитоне макрофитов, крайне эффективны и используются в системах биологического мониторинга наряду с традиционными химическими и микробиологическими методами [1].

В настоящее время многие аспекты систематики и экологии эпифитных диатомовых водорослей остаются недостаточно освещенными [10, 12]. В российских водах Японского моря исследования видового состава и количественного обилия диатомей в эпифитоне водорослей-макрофитов и морских трав крайне ограничены [5, 8, 9, 11], а данные об их использовании в сапробиологической оценке качества морских вод отсутствуют вовсе. В недавнее время продолжено исследование диатомовых водорослей в эпифитоне водорослей-макрофитов и морских трав в бухте Соболев и Лазурной Уссурийского зал. [6, 2]. Данную работу мы рассматриваем как продолжение мониторинговых исследований эпифитной флоры диатомовых водорослей в прибрежных акваториях северо-западной части зал. Петра Великого с различным уровнем антропогенной нагрузки.

Цель настоящей работы – изучение видового состава и относительного количественного обилия диатомовых водорослей в эпифитоне бурой водоросли *Sargassum pallidum* (Turner) C. Agardh в бухте Тихая заводь в зал. Восток Японского моря в условиях природного евтрофирования вод.

Объекты и методы исследований

Материалом для исследования послужил единовременный сбор диатомового эпифитона бурой водоросли *S. pallidum* (бухта Тихая заводь, зал. Восток), отобранного водлазами на глубине 1-1,5 м в августе 2010 г. С талломов макрофитов был произведен смыв микроводорослей в специальную емкость и зафиксирован раствором Утермеля. Полученные суспензии пропускали через капроновые фильтры «Nitex» («Sefar», Швейцария) с диаметром пор 20 и 80 мк соответственно. Фракции смывов концентрировали методом осаждения до 4-5 мл. Материал изучался методом прямого микроскопирования на световом микроскопе «Jenamed 2», в некоторых случаях использовали световой микроскоп «Olympus BX41», объектив UPLanF1 100x/1/30 и масляную иммерсию. Количественное обилие диатомовых водорослей оценивали по шкале Кордэ [1].

Результаты и их обсуждение

В результате анализа видового состава диатомовых водорослей эпифитона *S. pallidum* было обнаружено 19 видов и внутривидовых таксонов диатомовых водорослей из классов *Bacillariophyceae* (11), *Fragilariophyceae* (4) и *Coscinodiscophyceae* (4) (таблица).

Наибольшим количеством таксонов характеризовался род *Pleurosigma* W. Sm. (3). Самой массовой в диатомовом сообществе была *Tabularia fasciculata* – колониальная прикрепленная микроводоросль, образующая кустистые колонии и характерная для обрастания твердых поверхностей естественного и искусственного происхождения. Помимо этого вида, к числу многочисленных можно отнести прикрепленные колониальные виды *Achnanthes brevipes* и *Licmophora abbreviata* – типичные обрастатели с колониями на слизистых ножках и *Melosira moniliformis* – встречающийся как в планктоне, так и в обрастаниях (рисунок). Многие виды бентосных диатомей (*Berkeleya*, *Fragilaria*, *Licmophora*, *Navicula*, *Parlibellus*, *Rhoicosphenia*) продуцируют межклеточные полимерные вещества, которые помогают создавать колонии различной формы [16].

Видовой список, эколого-географическая характеристика и относительное количественное обилие диатомовых водорослей в эпифитоне бурой водоросли *Sargassum pallidum* (Turner) C. Agardh в зал. Восток Японского моря в августе 2010 г.
List of species, ecological and geographical characteristic and relatively quantitative abundance of diatoms in epiphyton of *Sargassum pallidum* (Phaeophyta) in Vostok Bay (Japan Sea) in august 2010

Таксон	Эколого-географическая характеристика						Количественное обилие
	Приуроченность к местообитанию	Подвижность	Жизненная форма	Отношение к солёности	Сапробиологическая характеристика	Фитогеографическая характеристика	
<i>Achnanthes brevipes</i> Agardh	МФБ	Пр	Кол	СМ	β	К	Мн
<i>Arahnodiscus ehrenbergii</i> Bail.	БП	-	Свж	М	-	К	Ред
<i>Cocconeis scutellum</i> Ehrenb.	МФБ	Пр-под	Свж	СМ	β	К	Нер
<i>Coscinodiscus oculus-iridis</i> Ehrenb.	БП	-	Свж	М	β	К	Ед
<i>Donkinia recta</i> (Donkin) Grunov	БП	Под	Свж	М	-	БТ	Ред
<i>Gyrosigma tenuissimum</i> (W. Sm.) Griff. et Henfr.	МФБ	Под	Свж	М	-	АБТ	Нер
<i>Licmophora abbreviata</i> Agardh	МФБ	Пр	Кол	М	β	АБ	Мн
<i>Melosira moniliformis</i> (O.F. Müll.) Agardh	БП	-	Кол	СМ	α	К	Мн
<i>Nitzschia longissima</i> (Bréb. ex Kütz.) Ralfs ex Pritch.	БП	Под	Свж	СМ	-	АБТ	Ред
<i>Parlibellus rhombica</i> (Greg.) L.I. Ryab.	МФБ	Под	Кол	СМ	-	Б	Ред
<i>Pleurosigma formosum</i> W. Sm.	МФБ	Под	Свж	М	-	БТ	Нер
<i>P. intermedium</i> W. Sm.	МФБ	Под	Свж	М	-	Б	Ред
<i>P. naviculaceum</i> Bréb.	МФБ	Под	Свж	М	-	АБТ	Нер
<i>Rhabdonema arcuatum</i> (Lyngb.) Kutz.	БП	-	Кол	М	-	К	Нер
<i>Rhizosolenia setigera</i> Brightw.	ФП	-	Свж	М	-	К	Ред
<i>Rhoicosphenia marina</i> (W. Sm.) M. Schmidt	МФБ	Пр	Кол	М	β	АБ	Нер
<i>Tabularia fasciculata</i> (Agardh) Williams et Round	МФБ	Пр	Кол	СМ	α	К	Мс
<i>Trachyneis aspera</i> (Ehrenb.) Cleve	МФБ	Под	Свж	М	β	АБТ	Ред
<i>Undatella quadrata</i> (Bréb. ex Kütz.) Padd & Sims	МФБ	Под	Свж	СМ	-	АБТ	Ед

Примечание. Приуроченность к местообитанию: МФБ – микрофитобентосный, БП – бенто-планктонный; жизненная форма: Свж – свободноживущий, Кол – колониальный; подвижность: Под – подвижный, Пр – прикрепленный; Пр-под – прикрепленно-подвижный; приуроченность к солёности: М – морской, СМ – солоноватоводно-морской; сапробиологическая характеристика: α – альфа-мезосапробионт, β – бета-мезосапробионт; эколого-географическая принадлежность: К – космополит, Б – бореальный, АБ – арктобореальный, АБТ – арктобореально-тропический, БТ – бореально-тропический; относительное количественное обилие по шкале Кордэ [1]: Мс – в массе, Мн – много, Нер – нередко, Ред – редко, Ед – единично.

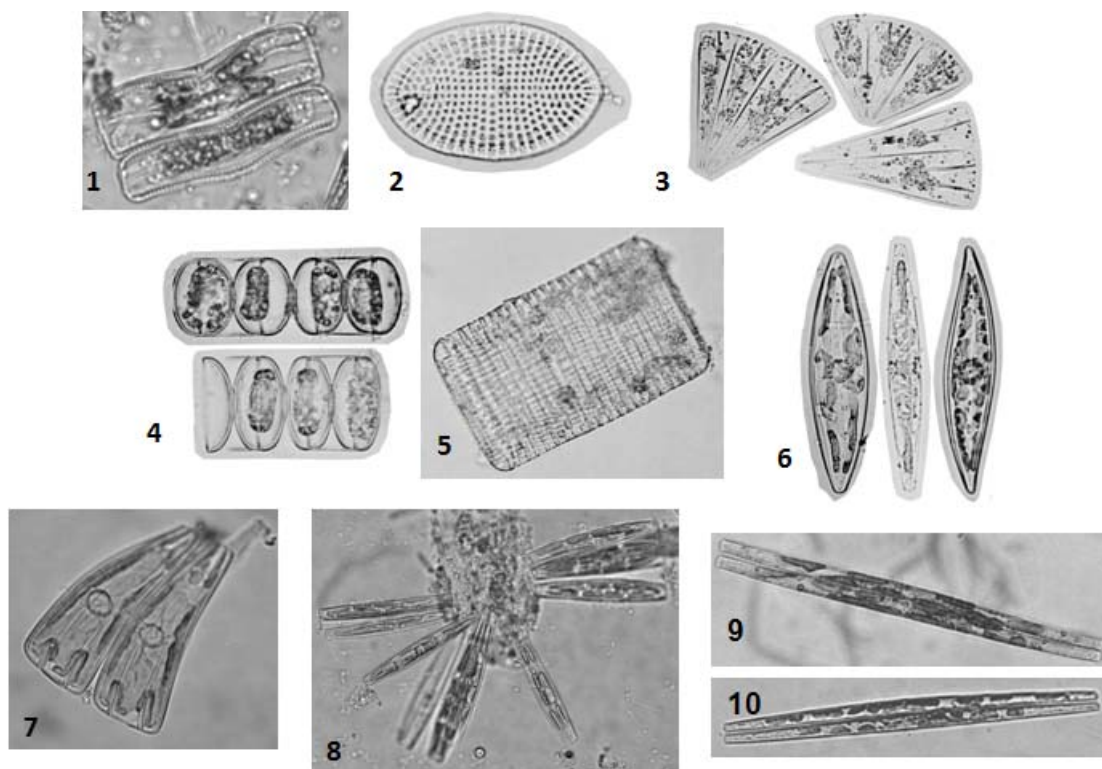
Подчиненную роль играли свободноживущие виды *Cocconeis scutellum*, *Gyrosigma tenuissimum*, *Pleurosigma formosum* и колониальные *Rhabdonema arcuatum* и *Rhoicosphenia marina*. Остальные виды не играли существенной роли в количественном развитии диатомового эпифитона, их относительное обилие оценивалось как «редкое» или «единичное». К индикаторам умеренного органического загрязнения относятся 6 видов (β -мезосапробионты) и 2 вида (α -мезосапробионты) – к индикаторам значительного загрязнения. По эколого-географической характеристике преобладали космополиты (8) и арктобореально-тропические (5) виды. По приуроченности к местообитанию обнаруженные виды относятся к микрофитобентосным (12), характерным для обрастания естественных и искусственных субстратов, и бенто-планктонным или тихопелагическим (6), способным обитать как в пелагиали, так и на субстрате. Это свидетельствует о том, что фитопланктон и микрофитобентос, составной частью которого является микроэпифитон, взаимосвязаны в единый эколого-флористический комплекс [13]. Оседание на талломы макрофита *S. pallidum* планктонной микроводоросли *Rhizosolenia setigera* может быть приурочено к влиянию турбулентного перемешивания водных масс в период закономерного летнего «цветения» фитопланктона в зал. Восток [15].

Относительно невысокое число видов диатомовых водорослей (19) в эпифитоне *S. pallidum* свидетельствует о том, что высокая температура воды в августе, сильная инсоляция и выедание диатомей беспозвоночными животными оказывают существенное влияние на изменение видовой структуры сообщества бентосных и эпифитных микроводорослей, проявляющееся в сокращении числа видов и смене доминант [3, 9].

Значительное влияние на видовой состав и количественное обилие эпифитных диатомей может оказывать морфология макрофита-базифита, представляющего собой субстрат для оседания микроформ. Водоросли с осевым типом таллома имеют более подходящую для поселения эпифитов поверхность по сравнению с плоскими талломами [12]. Макрофиты родов *Cladophora*, *Polysiphonia*, *Ceratium* и др. обрастают диатомовыми значительно обильнее, чем ламинариевые и фукусовые водоросли. Это в целом согласуется с ранее полученными данными об умеренном уровне обрастания видов рода *Sargassum* в бухте Соболев [6], в отличие от видов рода *Saccharina (Laminaria)*, которые почти не обрастают диатомовыми водорослями в силу геометрии их таллома и способности продуцирования метаболитов и эктокринов, препятствующих колонизации их поверхности [11].

Анализ количественного обилия диатомового эпифитона *S. pallidum* показал, что самыми массовыми обрастателями являлись морские, эвритермные и эвригалинные виды, относящиеся к бореальному, арктобореальному и космополитическому комплексам, они толерантны к воздействию неблагоприятных условий среды. Диатомеи *C. scutellum*, *L. abbreviata* и *T. fasciculata* являются убиквистами и широко распространены на различных типах субстратов морей умеренной зоны в местообитаниях с умеренным уровнем антропогенного воздействия. Они предпочитают воду, обогащенную растворенным органическим веществом, и способны переходить от автотрофного к гетеротрофному или смешанному типу питания [2, 10]. Доминирование β - и α -мезосапробионтов в зал. Восток свидетельствует согласно классификационной схеме степени сапробности Кимстач [1] об умеренном уровне органического загрязнения его вод в исследуемый период, что в целом согласуется с данными химического анализа вод Уссурийского зал. [7]. Следует отметить, что видовой состав и количественное обилие диатомовых водорослей эпифитона бурой водоросли *S. pallidum* в бухте Тихая заводь зал. Восток близки к таковым показателям для перифитона экспериментальных пластин из различного материала в прибрежных акваториях зал. Петра Великого [3]. Это выражается, прежде всего, в видовом составе флоры, отсутствии доминирования полисапробов, преобладании

мезосапробных видов и относительно высоком видовом богатстве на фоне умеренных значений количественного обилия, что свидетельствует о средней степени евтрофирования мелководной части зал. Восток, не вызывающего угнетения развития диатомовых водорослей микроэпифитона.



Общий вид клеток и колоний массовых видов диатомовых водорослей эпифитона бурой водоросли *Sargassum pallidum* в зал. Восток Японского моря: 1 – *Achnanthes brevipes*; 2 – *Cocconeis scutellum*; 3 – *Licmophora abbreviata*; 4 – *Melosira moniliformis*; 5 – *Rhabdonema arcuatum*; 6 – *Pleurosigma naviculaceum*; 7 – *Rhoicosphenia marina*; 8-10 – *Tabularia fasciculata*

Cells and colonial general view of mass epiphyton diatoms of *Sargassum pallidum* (Phaeophytes) in Vostok Bay (Japan Sea): 1 – *Achnanthes brevipes*; 2 – *Cocconeis scutellum*; 3 – *Licmophora abbreviata*; 4 – *Melosira moniliformis*; 5 – *Rhabdonema arcuatum*; 6 – *Pleurosigma naviculaceum*; 7 – *Rhoicosphenia marina*; 8-10 – *Tabularia fasciculata*

Экологическое состояние зал. Восток характеризуется отсутствием источников хронического загрязнения и открытого влияния неочищенных сточных вод, свободным водообменом с открытым морем. Индекс превышения ПДК загрязнителей различного происхождения составляет для зал. Восток 0,4, в отличие от других значительно загрязняемых акваторий зал. Петра Великого – Амурского зал. (5,9) и бухты Золотой Рог (41,0) [7]. Однако в теплое время года в мелководных акваториях, подобных зал. Восток, наблюдается природное евтрофирование - элиминация большой массы макрофитов, что во многом способствует повышению трофности вод и определяет состав микроводорослей-доминант как среди микрофитобентоса [9], так и среди фитопланктона [16]. В частности, в летне-осенний период прижизненные выделения макрофитов и их минерализация и бактериальная деструкция после отмирания способствуют обогащению воды растворенным органическим веществом (РОВ), что стимулирует кратковременное массовое развитие одноклеточных водорослей, предпочитающих органотрофию [18].

Аналогичная закономерность прослеживалась в мелководной закрытой бухте Рында (Амурский зал.), где в условиях отсутствия источников антропогенного евтрофирования поступление в бухту органических соединений азота и фосфора в результате трансформации РОВ благотворно влияло на количественное развитие отдельных таксонов донных диатомовых водорослей и приводило к повышению трофности вод [3]. Летом при повышении температуры происходит существенный приток биогенных элементов за счет аллохтонного вноса питательных веществ различного происхождения, что является одним из важнейших механизмов повышения продуктивности донных сообществ в прибрежных водах [9].

Таким образом, сапробиологический анализ видового состава диатомовых водорослей эпифитона бурой водоросли *S. pallidum* в бухте Тихая заводь зал. Восток показал доминирование β - и α -мезосапробионтов, что свидетельствует об умеренном уровне органического загрязнения вод в августе 2010 г., обусловленного природным евтрофированием в результате минерализации и деструкции водорослей на мелководье в летне-осенний период. В естественных условиях диатомеи-эпифиты и макрофиты-базифиты представляют собой физиологически сбалансированную систему, которая в отдельные периоды нарушается влиянием химического загрязнения воды и массовой вспышкой численности диатомовых водорослей.

Изучение эпифитных диатомовых водорослей в зал. Восток и в других прибрежных акваториях зал. Петра Великого с различным уровнем антропогенной нагрузки представляет, несомненно, как научный, так и чисто практический интерес, связанный с разработкой стратегии и тактики биологического мониторинга качества морских вод, наряду с традиционными гидрохимическими и микробиологическими методами. Это также связано с тем, что эпифитные диатомовые водоросли, в отличие от планктонных, образуют более или менее стабильные биоценозы [14]. Кроме того, глобальное строительство на побережье г. Владивостока неизбежно приведет к существенному антропогенному прессу, что повлияет на гидрологический и гидрохимический режимы прибрежных вод некоторых акваторий зал. Петра Великого и на уровень их антропогенного евтрофирования. Для получения более достоверных результатов оценки качества прибрежных вод с использованием сапробиологических характеристик диатомовых водорослей требуется дальнейший мониторинг количественных показателей эпифитона и статистический анализ полученных данных.

Список литературы

1. Баринаева С.С. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды [Текст] / С.С. Баринаева, Л.А. Медведева, О.В. Анисимова. – Тель-Авив: Изд. дом «Pilies Studio», 2006. – 498 с.

2. Бегун А.А. Диатомовые водоросли эпифитона морского льна *Phyllospadix iwataensis* Makino в бухте Лазурная Японского моря [Текст] / А.А. Бегун, Л.И. Рябушко // Современные проблемы альгологии: материалы междунар. науч. конф. и VII Школы по морской биологии. Ростов-на-Дону, 9-13 июня 2008 г. – Ростов-н/Д., 2008. – С. 44-46.

3. Бегун А.А. Состав и количественные характеристики микроводорослей перифитона экспериментальных пластин из разных по степени трофности акваторий залива Петра Великого (Японское море) [Текст] / А.А. Бегун, Л.И. Рябушко, А.Ю. Звягинцев // Альгология. – 2009. – Т. 19, № 3. – С. 257-272.

4. Диатомовые водоросли СССР. Ископаемые и современные. – Л.: Наука, 1974. – Т. I. – 400 с.

5. Ковалевская Р.А. Сезонная смена эпифитов цистозиры толстоногой *Cystoseira barbata* (Turn.) Ag. (Phaeophyta, Phyciales) [Текст] / Р.А. Ковалевская // Изв. ТИНРО. – 1982. – Т. 106. – С. 154-158.
6. Левченко Е.В. Диатомовые водоросли эпифитона на макрофитах бухты Соболев (Уссурийский залив, Японское море) [Текст] / Е.В. Левченко, А.А. Бегун // Изв. ТИНРО. – 2008. – Т. 154. – С. 248-258.
7. Огородникова А.А. Эколого-экономическая оценка воздействия береговых источников загрязнения на природную среду и биоресурсы залива Петра Великого [Текст] / А.А. Огородникова. – Владивосток: Изд-во ТИНРО, 2001. – 193 с.
8. Паймеева Л.Г. Обрастания zostеры Японского моря [Текст] / Л.Г. Паймеева // Изв. ТИНРО. – 1975. – Т. 98. – С. 193-198.
9. Рябушко Л.И. Диатомовые водоросли верхней сублиторали северо-западной части Японского моря: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Севастополь, 1986. – 24 с.
10. Рябушко Л.И. Микрофитобентос Черного моря: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. – Севастополь: ИнБЮМ НАНУ, 2009. – 44 с.
11. Рябушко Л.И. Диатомовые обрастания ламинарии японской, культивируемой в Приморье [Текст] / Л.И. Рябушко, С.К. Буянкина // Биология шельфовых зон Мирового океана: тез. докл. 2-й Всесоюз. конф. по мор. биологии (Владивосток, сент., 1982). – Владивосток, 1982. – Ч. 3. – С. 91-92.
12. Рябушко Л.И. Микрофитообрастания искусственных и природных субстратов в Черном море [Текст] / Л.И. Рябушко, С.Е. Завалко // Бот. журн. – 1992. – Т. 77. – № 5. – С. 33-39.
13. Рябушко Л.И. Седиментация фитопланктона в бухте Казачья Черного моря (Украина) [Текст] / Л.И. Рябушко, И.Н. Бабич, В.И. Рябушко, Л.Л. Смирнова // Альгология. – 2004. – Т. 14, № 1. – С. 48-61.
14. Савицкий О.Л. Рослинність водойм м. Києва [Текст] / О.Л. Савицкий, Л.М. Зуб // Укр. бот. журн. – 1999. – Т. 56, № 3. – С. 266-275.
15. Смирнова Л.Л. Влияние концентрации биогенных элементов на сообщества микроводорослей прибрежного мелководья Черного моря [Текст] / Смирнова Л.Л., В.И. Рябушко, Л.И. Рябушко, И.И. Бабич // Альгология. – 1999. – Т. 9, № 3. – С. 32-42.
16. Стоник И.В. Фитопланктон как показатель трофности вод залива Петра Великого Японского моря [Текст] / И.В. Стоник, М.С. Селина // Биол. моря. – 1995. – Т. 21, № 6. – С. 403-406.
17. Hoagland K.D., Rosowsk J.R., Gretz M.R., Roemer S.K. Diatom extracellular polymeric substances: function, fine structure, chemistry and physiology [Text] // J. Phycol. – 1993. – Vol. 29. – P. 537-566.
18. Lewin J.C., Lewin R. Auxotrophy and heterotrophy in marine littoral diatoms [Text] // Can. J. Microbiol. – 1960. – Vol. 6. – P. 127-134.

Сведения об авторах: Бегун Андрей Аркадьевич, кандидат биологических наук, научный сотрудник, e-mail: andreibegun@yandex.ru;

Масленников Сергей Иванович, кандидат биологических наук, научный сотрудник, доцент, e-mail: aqua@imb.dvo.ru;

Крючкова Анна Борисовна, технолог, e-mail: ankin88@mail.ru.