

245

ISSN 0134-3475

Том 35, Номер 3

Май–Июнь 2009

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

БИОЛОГИЯ МОРЯ



“НАУКА”

Российская академия наук

БИОЛОГИЯ МОРЯ

ТОМ 35 № 3 2009 Май–Июнь

Основан в 1975 году академиком А.В. Жирмунским

Выходит 6 раз в год

ISSN: 0134-3475

Главный редактор

А.В. Адрианов

Редакционная коллегия:

Л.Н. Бесседнов, В.Е. Васьковский,
В.В. Гульбин (отв. секретарь), В.Н. Ивапков, В.В. Исаева, С.И. Кияшко,
С.Л. Кондрашев (зам. гл. редактора), Г.Г. Матишов, А.И. Пудовкин,
Н.И. Селин, Б.И. Сиренко, Э.А. Титлянов, Ю.С. Хотимченко,
Н.К. Христофорова, И.А. Черешнев, В.П. Шунтов (зам. гл. редактора)

Редакционный совет:

Э. Белсон (США), М. Берн (Австралия), Ву Чаоянь (Китай),
Дже Джон-Гил (Корея), О. Кинне (Германия), Дж. Лоренс (США),
Б. Мортон (Гонконг, Китай), Нгуен Так Ан (Вьетнам),
Нгуен Чу Хой (Вьетнам), Г.Г. Поликарпов (Украина), Е. Хёг (Дания),
Хон Сун Юн (Корея), Шао Кванцао (Тайвань, Китай), Р. Шелтема (США)

Зав. редакцией Долгова Нина Михайловна

Адрес редакции: 690041, Владивосток, ул. Пальчевского, 17,
Институт биологии моря имени А.В. Жирмунского ДВО РАН
тел. 31-11-72, факс (4232)310900
e-mail: biolm@imb.dvo.ru

Москва

**Научно-производственное объединение
«Издательство "Наука"»**

© Российская академия наук, 2009

© Дальневосточное отделение РАН, 2009

© Редакция журнала "Биология моря" (составитель), 2009

СОДЕРЖАНИЕ

Биология моря, том 35, № 3, 2009 г.

Реакция макрозообентоса лагунного озера Изменчивое (остров Сахалин) на прекращение водообмена с морем. <i>В. С. Лабай</i>	167
Морской элемент в альгофлоре болота Энзели (Иран). <i>Б. Зарей Дарки</i>	175
Род <i>Constantinea</i> (Rhodophyta: Gigartinales) в морях российского Дальнего Востока. <i>Н. Г. Клочкова, Н. А. Писарева</i>	182
Оценка выедания морского ежа <i>Strongylocentrotus droebachiensis</i> (Echinoidea: Echinoidea) камчатским крабом <i>Paralithodes camtschaticus</i> (Malacostraca: Decapoda) в прибрежье Баренцева моря. <i>Л. В. Павлова</i>	191
Динамика восстановления механически поврежденных колоний склерактиниевого коралла <i>Porites lutea</i> в условиях конкуренции с водорослями-поселенцами. <i>Э. А. Титлянов, Т. В. Титлянова</i>	199
Ультраструктура сперматозоидов у представителей шести семейств двустворчатых моллюсков из залива Петра Великого Японского моря. <i>А. Л. Дроздов, С. Н. Шарина, С. А. Тюрин</i>	205
Морские биоинвазии в водах Новороссийского порта Черного моря. <i>Ж. П. Селифонова</i>	212



Краткие сообщения

Распределение икhtiопланктона в восточной части залива Петра Великого Японского моря в июне–июле 2007 года. <i>А. С. Соколовский, Т. Г. Соколовская</i>	220
Взаимоотношения косатки <i>Orcinus orca</i> и сивуча <i>Eumetopias jubatus</i> в районе острова Брат Чирпоев (Курильские острова). <i>П. А. Пермяков, В. Н. Бурканов</i>	225
Изменчивость морфологических характеристик <i>Oithona similis</i> (Copepoda: Cyclopoidea) в Белом море. <i>В. Г. Дворецкий, А. Г. Дворецкий</i>	229

Институты и лаборатории

Тропическая морская биологическая станция Китайской академии наук на острове Хайнань. <i>Ж. Донг, Я. Жанг, Ж. Су, Х. Хуи, Э. А. Титлянов, Т. В. Титлянова</i>	233
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

Морские биологи

К 80-летию Геннадия Григорьевича Поликарпова. <i>Ю. П. Зайцев, В. Н. Золотарев, В. Н. Егоров</i>	235
-----------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

Рецензии

О книге С.А. Остроумова "Гидробионты в самоочищении вод и биогенной миграции элементов". <i>Г. С. Розенберг</i>	237
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

CONTENTS

Biologiya Morya, Vol. 35, no. 3, 2009

Simultaneous English language translation of the journal is available from MAIK Hayka/Interperiodica Publishing (Russia).

Distributed worldwide by SPRINGER. *Russian Journal of Marine Biology* ISSN 1063-0740.

Index and Abstracts of papers are available at <http://www.maik.ru>

English translation of Index and Abstracts of the Russian language edition are available at <http://www.bm.dvo.ru>

Response of macrozoobenthos of lagoon Lake Izmenchivoye (Sakhalin Island) to the discontinuance of water exchange with the sea. <i>V. S. Labay</i>	167
Marine species in the algal flora of the Anzali Swamp (Iran). <i>B. Zarei Darki</i>	175
The genus <i>Constantinea</i> (Rhodophyta: Gigartinales) in the Far-Eastern seas of Russia. <i>N. G. Klochkova, N. A. Pisareva</i>	182
Estimation of foraging on the sea urchin <i>Strongylocentrotus droebachiensis</i> (Echinoidea: Echinoida) by the red king crab <i>Paralithodes camtschaticus</i> (Malacostraca: Decapoda) in coastal waters of the Barents Sea. <i>L. V. Pavlova</i>	191
Dynamics of recovery of mechanically damaged colonies of the scleractinian coral <i>Porites lutea</i> under conditions of competition with algal settlers. <i>E. A. Titlyanov, T. V. Titlyanova</i>	199
Sperm ultrastructure in representatives of six bivalve families from Peter the Great Bay, Sea of Japan. <i>A. L. Drozdov, S. N. Sharina, S. A. Tyurin</i>	205
Marine biological invasions in waters of the port of Novorossiysk, Black Sea. <i>J. P. Selifonova</i>	212
<hr/> Brief notes	
Distribution of ichthyoplankton in the eastern Peter the Great Bay (Sea of Japan) in June–July 2007. <i>A. S. Sokolovsky, T. G. Sokolovskaya</i>	220
Interactions between the killer whale <i>Orcinus orca</i> and the Steller sea lion <i>Eumetopias jubatus</i> in the vicinity of Brat Chirpoev Island (Kuril Islands). <i>P. A. Permyakov, V. N. Burkanov</i>	225
Variability of morphological characteristics in <i>Oithona similis</i> (Copepoda: Cyclopoida) in the White Sea. <i>V. G. Dvoretzky, A. G. Dvoretzky</i>	229
<hr/> Institutes and laboratories	
Tropical Marine Biological Station of the Chinese Academy of Sciences on Hainan Island. <i>J. Dong, Y. Zhang, J. Xu, H. Hui, E. A. Titlyanov, T. V. Titlyanova</i>	233
<hr/> Marine biologists	
On the 80th birthday of Gennadiy Petrovitch Polikarpov. <i>Yu. P. Zaitsev, V. N. Zolotarev, V. N. Egorov</i>	235
<hr/> Review	
On the book by S.A. Ostroumov "Aquatic organisms in water self-purification and biogenic migration of elements." <i>G. S. Rozenberg</i>	237

РЕАКЦИЯ МАКРОЗООБЕНТОСА ЛАГУННОГО ОЗЕРА ИЗМЕНЧИВОЕ (ОСТРОВ САХАЛИН) НА ПРЕКРАЩЕНИЕ ВОДООБМЕНА С МОРЕМ

© 2009 г. В. С. Лабай

Сахалинский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства
и океанографии, Южно-Сахалинск 693016
e-mail: labay@sakhniro.ru

Статья принята к печати 29.01.2009 г.

По данным гидробиологических съемок в 2004, 2005 и 2007 гг. описаны основные изменения в составе и структуре макрозообентоса лагунного оз. Изменчивое (о-в Сахалин) после прекращения его связи с морем. Изменение гидрологического режима привело к значительному сокращению видового списка и к снижению разнообразия донных сообществ при двукратном увеличении плотности их поселений. После прекращения связи с морем исчезли сообщества, указывающие на холодный подстилающий слой, образованный морской водой, и приливные литоральные сообщества. Последние заместились озерным сообществом волновой литорали с преобладанием бокоплавов и изопод. Основным донным сообществом стало ранее мелководное сообщество с преобладанием двустворчатого моллюска *Musculista senhousia*. Отмечено значительное увеличение числа тепловодных элементов. Установлено, что фактором, определяющим состав и структуру бентоса лагун о-ва Сахалин на начальных этапах эволюции макробентоса, является температура воды.

Ключевые слова: лагунное озеро, гидрологический режим, бентос, сообщество.

Response of macrozoobenthos of lagoon Lake Izmenchivoye (Sakhalin Island) to the discontinuance of water exchange with the sea. V. S. Labay (Sakhalin Research Institute of Fisheries and Oceanography, Yuzhno-Sakhalinsk 693016)

Hydrobiological surveys in lagoon Lake Izmenchivoye (Sakhalin Island) were carried out in 2004, 2005, and 2007 in order to examine the main changes in the composition and structure of macrozoobenthos after the cessation of its communication with the sea. Changes in the hydrological regime of the lake led to a significant reduction in the species list, a decline in the diversity of benthic communities, as well as a twofold increase in the population density of constituent species. Characteristic communities of the seawater cold spreading layer and tidal littoral communities disappeared after the water exchange with the sea stopped. The latter communities were replaced with a lacustrine exposed littoral community dominated by amphipods and isopods. The previously shallow-water community dominated by the bivalve *Musculista senhousia* became the main benthic community. The number of warm-water elements increased markedly. Water temperature proved to be the main factor affecting the composition and structure of benthos of Sakhalin lagoons at the initial stages of evolution of macrobenthos. (Biologiya Morya, Vladivostok, 2009, vol. 35, no. 3, pp. 167–174).

Key words: lagoon lake, hydrobiological regime, benthos, community.

Обычно изменения в лагунных экосистемах о-ва Сахалин носят долговременный характер, связанный с постепенным отчленением лагуны от моря (Микишин и др., 1995; Микишин, Гвоздева, 1996). В начале июня 2006 г. протока, связывающая лагунное оз. Изменчивое с зал. Мордвинова Охотского моря, была замыта песком в результате штормового воздействия. Ранее, в 2004–2005 гг., в ходе комплексных гидробиологических экспедиций Сахалинского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (СахНИРО) была исследована и описана водная биота лагунного водоема, в том числе и донного сообщества (Печенева, Лабай, 2006). Проведенная в июне 2007 г. повторная съемка, выполненная в соответствии с Договором № ХД 29/2007, позволила получить уникальные данные, свидетельствующие о быстром отклике донного сообщества лагунного оз. Изменчивое на прекращение водообмена с морем.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Отбор проб бентоса на фоновом этапе проводили 31.05–10.06.2004 и 3–10.06.2005 гг. В июне 2004 г. пробы были ото-

браны на 22 станциях (70 проб), а в июне 2005 г. дополнительно еще на 7 станциях (27 проб) (рис. 1). После замыкания протоки для мониторинга изменения донного сообщества 5.10.06.2007 г. была проведена повторная съемка бентоса (22 станции, 70 проб) со строгим повторением схемы станций, сроков и методов отбора проб съемки 2004 г.

На глубине до 0,4 м пробы отбирали бентометром Леванидова (0,16 м²), глубже пробы инфавны отбирали малым дночерпателем Ван-Вина (0,0225 м²). Отобранные пробы промывали на борту лодки, фиксировали 4% нейтральным формалином и этикетировали. Собранный материал обработан сотрудниками СахНИРО в лабораторных условиях. Определенные до вида организмы обсушивали на фильтровальной бумаге и взвешивали на электронных весах с точностью до 0,001 г.

Данные по температуре поверхностного слоя воды в зал. Мордвинова в период исследований любезно предоставлены сотрудницей СахНИРО Ж.Р. Цхай. Для выявления достоверности изменений температуры поверхностного слоя по сравнимым годам использован *t*-тест Стьюдента.

При выделении сообществ гидробионтов на станциях *x* и *y* использовали выражаемый индекс процентного сходства, предложенный впервые Я. Чекановским (География..., 2002):

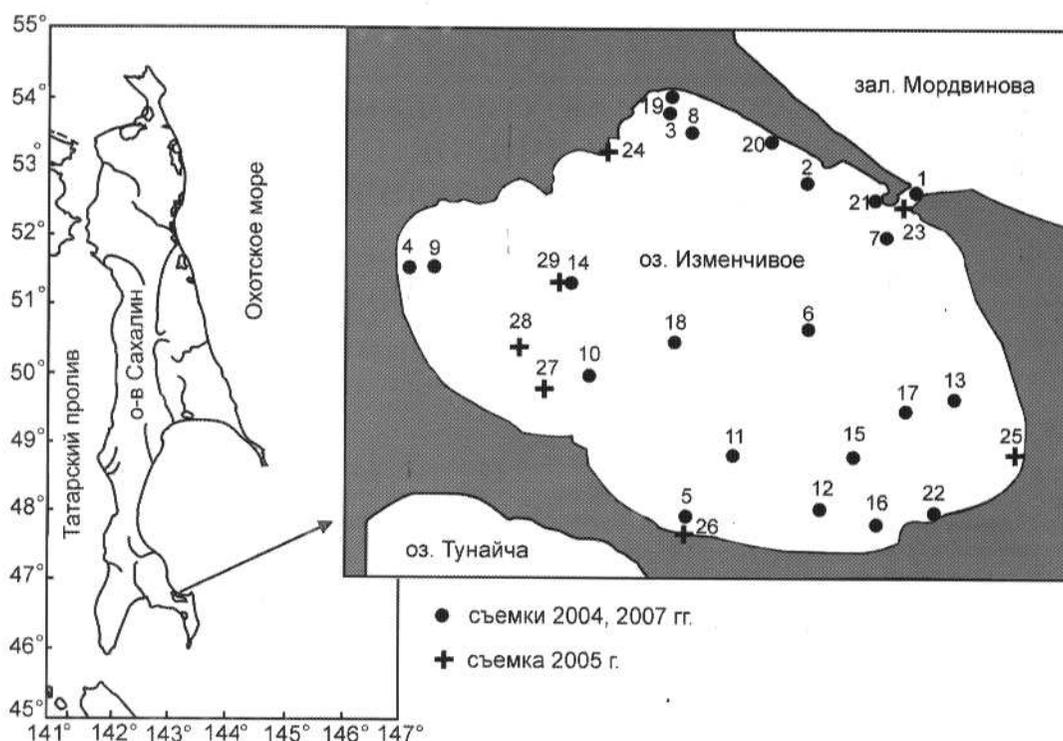


Рис. 1. Карта-схема района работ. 1–29 – станции отбора проб.

$$C_{xy} = \sum (MIN p_x, p_y),$$

где p – доля (%) данного вида в общей биомассе на станциях x и y соответственно. Пробы считались отобранными из одного сообщества при превышении значения индекса 40%. Кластеризацию исходных матриц осуществляли по методу невзвешенных парно-групповых средних (unweighted pair-group average) (Дюран, Одел, 1977).

Для оценки степени зрелости сообществ в ряду сукцессионных изменений применялся ABC-метод в математическом выражении (География..., 2002):

$$I_{ABC} = \frac{\sum_{i=1}^n Bc_i - \sum_{i=1}^n Nc_i}{10000},$$

где Bc_i – кумулятивная биомасса i -го вида, Nc_i – кумулятивная численность i -го вида. Метод основан на предположении, что в устойчивых сообществах преобладают немногочисленные крупные многолетние виды и формы, а в изменяющихся под действием какого-либо фактора сообществах – мелкие виды с коротким циклом развития (Аверинцев, Жуков, 1992).

Для оценки видового разнообразия донных сообществ использовали индекс видового разнообразия Шеннона-Уивера (I_{B0}) (География..., 2002).

Для описания соответствия видовой структуры донных сообществ сопутствующему биотопу в качестве меры оптимальности использования кормовой базы (U) был применен тест на стандартность видовой структуры, предложенный Сухановым (2002): $U = 1 - q$; q вычисляли из геометрической прогрессии $X_i = X_1 q^{(i-1)}$, где X_i – обилие вида, упорядоченное по мере убывания. Сообщества, для которых индекс $U \approx 0.632$, типичны для биотопов умеренных широт, со значением $U < 0.632$ характерны для тепловодных регионов, $U > 0.632$ – для регионов с суровым экстремальным климатом или сильным загрязнением биотопа.

Агрегированность бентоса вычисляли как параметр отрицательного биномиального распределения (Баканов, 1980):

$$C = 1/k, \text{ где } k = \frac{\bar{x}^2}{(\sigma^2 - \bar{x})}.$$

Вычисления проводились по данным для пробы, не приведенным к единице площади.

Зоогеографическая характеристика дана в соответствии с номенклатурой зональных ареалов (Кусакин, 1979; Кафанов, Кудряшов, 2000) и основана на современных нативных ареалах видов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Лагунное оз. Изменчивое расположено в юго-восточной части о-ва Сахалин и является открытым прибрежным морским водоемом. Озеро относится к круглым по форме, к малым по площади (около 9.5–13 км²), к средним по глубине (до 5–6 м), к соленым (более 29‰) открытым водоемам такого типа (Лагуны Сахалина, 2002). По морфогенетической классификации Бровко (1990) – это прибрежная лагуна, отчлененная от зал. Мордвинова (Охотское море) аккумулятивной косой. Через протоку шириной до 50 м и глубиной 5–10 м происходит постоянный водообмен с морем, что отражается на формировании биоты озера. Периодически во время сильных и продолжительных штормов протока замыкается, что приводит к изменению гидрологического статуса лагуны и к смене животных и растительных сообществ озера. С 1975 по 2004 г. предприятие "Синегорские минеральные воды" регулярно расчищало протоку от замывающего ее осадочного материала.

Эволюция морских побережий юго-восточной части о-ва Сахалин проходила в тесной связи с колебаниями уровня океана, особенно интенсивными в последние 6–7 тыс. лет. Максимальное повышение уровня моря происходило в данном районе 5.4–5.8 тыс. лет назад. В этот период оз. Изменчивое наряду с протокой Красноармейская и оз. Открытое представляло собой один из трех проливов, соединявших обширный зал. Тунайча с морем. Окончательный морфологический облик юго-восточного побережья Сахалина сложился в субатлантическое время (1000–1700 лет назад) при небольших повышениях уровня моря 1.5–1.7 и 1.0–1.2 тыс. лет назад ("малый климатический оптимум"), обусловленных потеплением климата. От оз. Тунайча лагуна отделилась 150–400 лет назад (Микишин, Гвоздева, 1996).

Гидрологически оз. Изменчивое является типичным морским заливом лагунного типа. При средней глубине около 3 м глубина озера в северо-восточной части достигает 6 м. В прибрежье озера встречаются пески, гравий, галька, иногда крупные камни, которые уже на небольшом удалении от берега сменяются черными илами. Речной сток крайне незначителен. Как следствие этого, гидрологический режим озера в основном зависит от приливно-отливных явлений в Охотском море и от возможности водообмена через протоку.

В июне 2004 г. до замыкания протоки морские воды (соленость до 31.1‰, температура около 7°C) с приливом проникали в озеро и по дну достигали его крайней западной части, после чего морские воды трансформировались в лагунные (соленость около 29‰, температура 11°C). В отлив происходило вытекание поверхностных лагунных распресненных вод.

В июне 2006 г. гидрологический режим в озере изменился, наиболее заметно это изменение при сравнении съемок 2004 и 2007 гг. В результате прекращения водообмена с морем средняя температура воды в озере повысилась с 11 до 14°C, а соленость собственно лагунных вод понизилась с 29 до 25‰. Повышение температуры воды не было связано с более теплой весной, наоборот, средняя температура поверхностного слоя воды в зал. Мордвинова по данным спутниковой системы TERASCAN (СахНИРО) в 2007 г. была достоверно ниже на 1.2°C, чем во время съемок в 2004 г. Поэтому можно уверенно говорить о том, что причиной термоизменчивости было именно замыкание протоки. В 2007 г. полностью отсутствовала вертикальная стратификация, гидрологические параметры от поверхности до дна почти не изменялись. Концентрация растворенного кислорода в воде была низкой (8–10.4 мг/л), особенно в северной части озера, где расположены болотистые берега и большие отмели. Содержание кислорода летом 2007 г. было ниже, чем подо льдом в 2004 г., когда концентрация кислорода в воде составляла 13–16.5 мг/л. Величина рН в июне 2007 г. на всей акватории водоема на поверхности составляла 8.3, а у дна – 7.9, что было близко к значениям данного параметра в июне 2004 г. (8–8.3). Такие величины рН характерны для периода начала развития макрофитов.

В июне 2004–2005 гг. в оз. Изменчивое было обнаружено 136 видов донных беспозвоночных, из них 127 – в количественных пробах. По числу видов доминировали Polychaeta (38 видов), Crustacea (45 видов, из них Amphipoda – 32), Mollusca (32 вида, в том числе Gastropoda – 17, Bivalvia – 14). Прочие группы беспозвоночных были представлены одним или двумя видами. В создании биомассы доминирующая роль принадлежала двустворчатым моллюскам. На их долю приходилось более 50% всей биомассы макрозообентоса. В 2007 г. в количественных пробах был обнаружен лишь 31 вид. По числу видов по-прежнему доминировали Polychaeta, Crustacea, Gastropoda и Bivalvia, но их видовой состав был гораздо беднее, чем в 2004 г.: 9, 7, 6 и 5 видов соответственно. Основу биомассы, как и ранее, формировали двустворчатые моллюски, причем их доля в общей биомассе возросла до 98%.

Количественные и структурные характеристики зообентоса в 2004 и 2007 гг. приведены в сравнительном аспекте (табл. 1). Данные по фоновому периоду приведены только для 2004 г., так как эта съемка по времени, схеме и методам отбора проб была идентична съемке 2007 г.

Наряду с сокращением видового списка отмечен значительный (почти 2-кратный) рост средней плотности поселения донных беспозвоночных. Если в 2004 г. показатель плотности варьировал по станциям от 10 до 6500 экз/м², то в 2007 г. амплитуда изменчивости составила 2–10200 экз/м². Биомасса зообентоса в сравниваемые годы изменилась незначительно. Вариативность данного показателя также была близка: 0.5–700 г/м² – в 2004 г. и 0.04–600 г/м² – в 2007 г. Средняя индивидуальная биомасса снизилась со 107 до 63 мг. Учитывая непродолжительный срок после замыкания протоки (менее одного года), данное явление можно трактовать как бурное развитие нескольких ключевых видов, сопровождавшееся формированием большого количества молодежи, заселяющей освободившиеся экологические ниши. Такими видами в сублиторали лагуны после произошедших изменений стали двустворчатые моллюски *Musculista senhousia* (Benson in Cantor, 1842) и

Таблица 1. Количественные и структурные характеристики макрозообентоса оз. Изменчивое в 2004 и 2007 гг.

Характеристика	2004 г.	2007 г.
Количество обнаруженных видов	87	31
N , экз/м ²	936±180	1505±266
B , г/м ²	99.874±24.9	94.971±17.4
U	0.13	0.25
$\Delta U_{\text{ср}}$, %	0.015	0.042
I_{ABC}	22.9	4.7
I_{BO}	2.14	0.76
C_N	4.08	3.39
C_B	7.16	3.65

Примечание. Здесь и в табл. 2–4: N – плотность или численность поселения; B – биомасса. Остальные обозначения см. в разделе "Материал и методика".

Macoma incongrua (Martens, 1865), вклад которых как в общую плотность поселения (80%), так и в общую биомассу (97%) был наибольшим. Процесс сопровождался выпадением из структуры макрозообентоса ряда массовых ранее видов. Распределение плотности и биомассы зообентоса на акватории озера в 2004 и 2007 гг. было сходным, причем наибольшие величины этих показателей отмечены в прибрежной части на изобатах 1 м и менее.

Ключевым видом зообентоса для обоих сравниваемых периодов был двустворчатый моллюск *M. senhousia*, но если в 2004 г. на его долю приходилось всего 32% общей биомассы, то в 2007 г. – 72%. Такое изменение вклада одного вида свидетельствует об упрощении структуры донного сообщества в целом и хорошо подтверждается уменьшением индекса видового разнообразия почти в 3 раза, а также пятикратным снижением ABC-показателя (табл. 1). Сходные по характеру изменения описаны Кусакиным и Цурпало (1999) для б. Отрадная на о-ве Шикотан, где при ослаблении связи с морем кутювая часть бухты приобрела эстуарный характер. В результате этого процесса наблюдалось значительное сокращение видового списка, сопровождавшееся снижением плотности и биомассы бентоса и исчезновением из состава сообщества преваляро-

вавших ранее морских видов двустворчатых моллюсков, ракообразных и иглокожих.

Изменения в оз. Изменчивое сопровождались снижением разнообразия донных сообществ и увеличением ценотического сходства между станциями. В июне 2004–2005 гг. на довольно низком уровне сходства в 30% выделено четыре основных сообщества макрозообентоса: *Macoma balthica*, *Musculista senhousia*, *Macoma calcarea* и *Scoloplos armiger*. Описываемые сообщества сменяли друг друга с увеличением глубины (рис. 2, табл. 2). Семь станций бентоса не входили в обозначенные выделы, т.е. их можно отнести к отдельным локальным сообществам (табл. 3). Среднее значение ценотического сходства, рассчитанное по матрице сходства, составило всего 10.5%. Следовательно, до обособления лагунного оз. Изменчивое от зал. Мордвинова наблюдалась сложная структура макрозообентоса с низкой связностью между станциями. Этим же объясняется высокая агрегированность донных гидробионтов в целом по озеру. При этом в сообществах профундали лагуны (глубина более 1 м) донные организмы были распределены довольно равномерно, а в мелководных сообществах агрегированность бентоса была гораздо выше. Наиболее низкая связность характеризовала литоральные станции, где только три станции из восьми

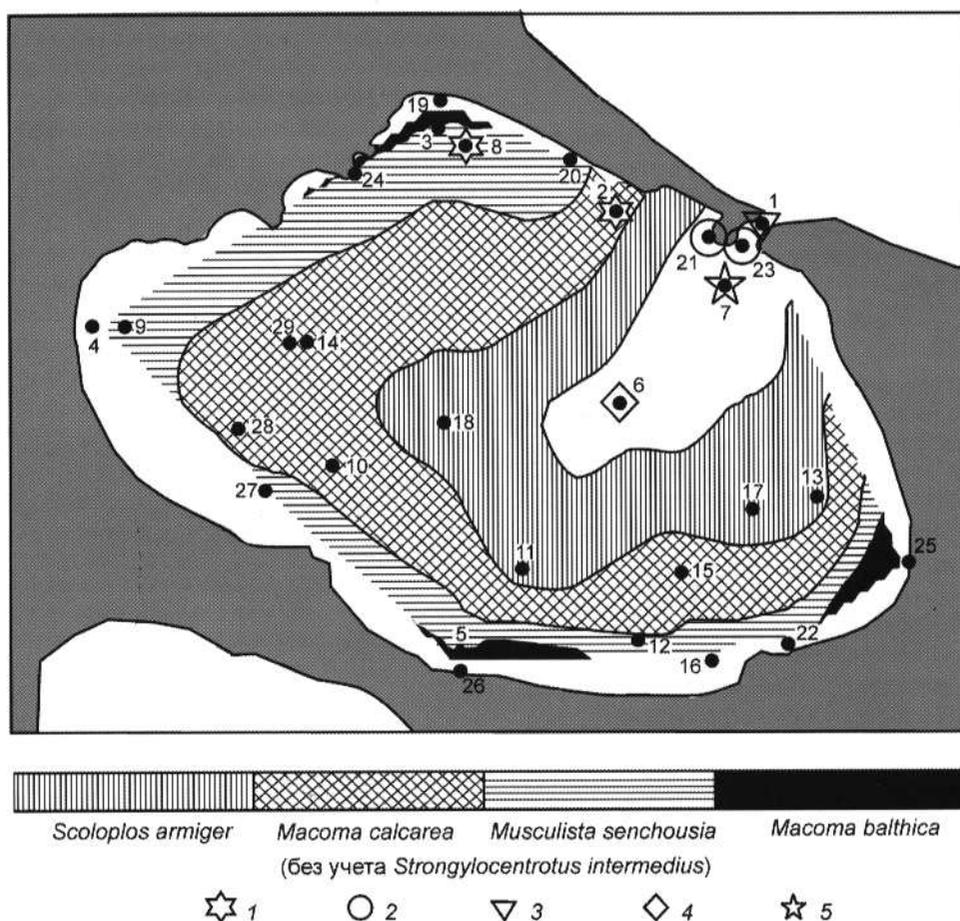


Рис. 2. Распределение донных сообществ лагунного оз. Изменчивое до прекращения связи с морем. 1 – *Strongylocentrotus intermedius*, 2 – *Mya japonica* + *Littorina mandshurica*, 3 – *Thapsiella plicosa* + *Odostomia culta*, 4 – *Nudibranchia* + *Glycinde armigera*, 5 – *Asterias amurensis*.

Таблица 2. Количественные и структурные характеристики основных сообществ макрозообентоса оз. Изменчивое в июне 2004–2005 гг.

Характеристика	<i>Macoma balthica</i>	<i>Musculista senhousia</i>	<i>Macoma calcarea</i>	<i>Scoloplos armiger</i>
Диапазон глубин, м	Литораль	0–1	3–5	3–6
Количество обнаруженных видов	35	61	11	22
N , экз/м ²	449	1829	456	685
B , г/м ²	35.959	119.303	8.753	51.235
N доминирующего вида, экз/м ²	92	330	307	141
B доминирующего вида, г/м ²	18.6	92	7.05	29.4
B доминирующего вида, %	52	81	81	57
U	0.27	0.18	0.49	0.30
$\Delta U_{\text{ст}}$, %	0.04	0.03	0.094	0.05
I_{ABC}	16.6	17.0	6.4	17.9
I_{BO}	1.52	1.03	0.79	1.54
C_N	0.41	2.63	0.63	0.19
C_B	1.23	2.01	0.69	0.56

обособились в одно сообщество, а остальные соответствовали отдельным микросообществам. Среди них выделялось донное сообщество, оккупировавшее отмель на входе протоки в озеро. В июне 2004 г. здесь наблюдалось сообщество с монодоминантой мидии *Mytilus trossulus* Gould, 1850 (до 10 кг/м²). К сожалению, количественную бентосную съемку на отмели в 2004 г. не проводили, была оценена лишь биомасса мидий. В июне 2005 г. после эрозионного воздействия морского льда, нагнанного из зал. Мордвинова, сообщество *Mytilus trossulus* сменилось сообществом *Mya japonica* + *Littorina mandshurica* (145 г/м²).

В июне 2007 г. в профундали озера отмечено два сообщества макрозообентоса при уровне схождения более 50%: *Musculista senhousia* + *Macoma incongrua* и *Macoma incongrua*; еще одно сообщество – *Eogammarus tiuschovi* + *Gnorimosphaeroma ovatum* – объединяло большинство станций литорали (рис. 3, табл. 4). Не включенными ни в один кластер оставались только две станции. Среднее значение ценотического схождения со-

ставляло 36.5%. В целом по озеру агрегированность бентоса была ниже, чем в 2004 г., но по выделенным сообществам данный показатель был довольно высоким (табл. 1, 4). В основном сообществе с доминантой *M. senhousia* агрегированность донных организмов была несколько ниже, чем в 2004–2005 гг., за счет включения в его арсал площадей дна профундали с равномерным распределением донных отложений. В едином литоральном сообществе показатель агрегированности был выше, что характерно для ценозов вагильных ракообразных.

Из трех наблюдававшихся в июне 2004 г. в сублиторали сообществ макрозообентоса – *Musculista senhousia*, *Macoma calcarea* и *Scoloplos armiger* последние два к июню 2007 г. исчезли. В то же время сообщество *Musculista senhousia*, локализованное до замыкания протоки на глубине до 1 м, распространилось на всю акваторию озера и во всем диапазоне глубин сублиторали (до глубины 6.5 м). Возможной причиной исчезновения сообщества *Scoloplos armiger* является снижение концентрации растворенного кислорода в придон-

Таблица 3. Количественные и структурные характеристики локальных сообществ макрозообентоса оз. Изменчивое в июне 2004–2005 гг.

Характеристика	Сообщества (станции)					
	<i>Strongylocentrotus intermedius</i> (2, 8)	<i>Mya japonica</i> + <i>Littorina mandshurica</i> (21, 23)	<i>Nudibranchia</i> + <i>Glycinde armigera</i> (6)	<i>Asterias amurensis</i> (7)	<i>Glyphanostomum pallescens</i> (14)	<i>Thapsiella plicosa</i> + <i>Odostomia culta</i> (1)
Диапазон глубин, м	1–3	Литораль	4.7	3	5	1.5
Количество обнаруженных видов	13	68	4	15	12	8
N , экз/м ²	658	4272	163	800	1100	8
B , г/м ²	364	145	2.74	127	4.3	0.454
B доминирующих видов, %	90.8	20.7; 19	75.7; 22.7	83.8	83.1	56.4; 40.4
U	0.42	0.16	–	–	–	–
$\Delta U_{\text{ст}}$, %	0.085	0.020	–	–	–	–
I_{ABC}	41.1	5.29	–	–	–	–
I_{BO}	0.45	2.62	–	–	–	–

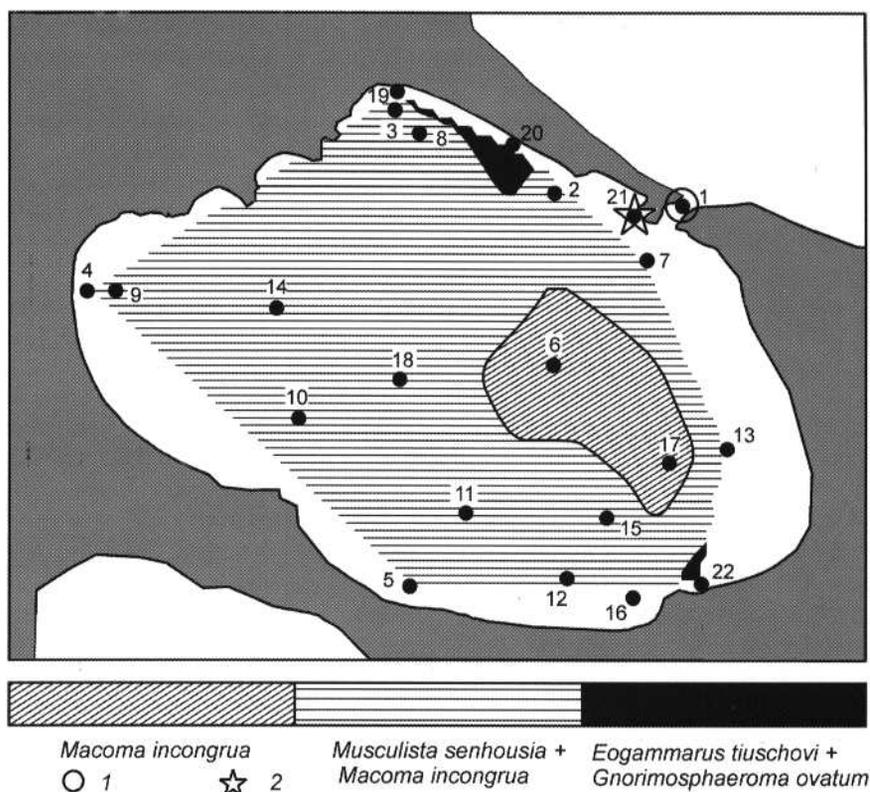


Рис. 3. Распределение донных сообществ лагунного оз. Изменчивое после его обособления. 1 – Sipunculoidea, 2 – *Asterias amurensis*.

ном слое, однако во время летних съемок 2004–2005 гг. этот показатель не измеряли и какие-либо выводы по данному параметру некорректны. Изменения в составе и структуре сообществ сопровождалось значительным падением усредненной индивидуальной биомассы преобладающих видов. Например, если в 2004 г. в сообществе *Musculista senhousia* на глубине до 1 м средняя индивидуальная биомасса доминирующего вида составляла 0.28 ± 0.6 г, то в 2007 г. с увеличением вертикального диапазона встречаемости сообщества до 5–6.5 м она снизилась до 0.06 ± 0.017 г. Такое снижение индивидуальной биомассы подтверждает предположение о том, что изменения вызваны вселением мелководных видов и бурным развитием молодежи.

Еще большие изменения отмечены для литорали: одно наиболее распространенное в 2004–2005 гг. сообщество *Macoma balthica* и пять локальных сообществ (в большинстве из них преобладали моллюски) сменились в 2007 г. единым сообществом с доминантой ракообразных. Таким образом, характерный для открытых лагун Сахалина тип приливных литоральных сообществ с преобладанием моллюсков (Кафанов и др., 2003) сменился озерным типом сообществ волновой литорали, в которых преобладают бокоплавы рода *Eogammarus* и изоподы рода *Gnorimosphaeroma* (Ключарева и др., 1964; Лабай, Роготнев, 2005). Смена типов сообществ сопровождалась структурными изменениями, характерными для всего зообентоса озера в целом, – сокращением видового списка, ростом биомассы преобладающих в сообществах видов, а также снижением индекса видового разнообразия и ABC-показателя.

Возможными причинами изменений могут быть снижение солености воды, большой прогрев водной толщи в летний период года и падение концентрации растворенного кислорода, особенно в подледный период, когда поверхностный путь проникновения кислорода отсутствует.

Несмотря на привлекательность первой гипотезы, она не получила достаточных подтверждений. Так, наиболее зависимой от солености воды группой бентоса являются иглокожие, поэтому, вероятно, из состава бентоса должны были исчезнуть обычные ранее виды этого типа: *Asterias amurensis* Lütken, 1871; *Strongylocentrotus intermedius* (Agassiz, 1863); *Amphiodia rossica* Djakonov, 1935; кукумарии и др. Но результаты качественных водолазных сборов в летний период 2007 г. показали наличие, а в отношении морских ежей даже массовое присутствие перечисленных видов иглокожих. То же касалось других зависящих от солености воды групп – кишечнополостных, асцидий и др. Это подтверждает положение теории критической солености о наличии пороговой зоны при солености 22–26‰ (Хлебович, 1989). В июне 2007 г. соленость воды в оз. Изменчивое была еще выше пороговой, что и предопределило существование видов, обитающих исключительно в водах морской солености.

Для проверки предположения о влиянии температурного режима сравним зоогеографический состав донной фауны в 2004–2005 и в 2007 гг. До прекращения водообмена с морем основу видового состава макрозообентоса формировали широкобореальные виды (41%) при несколько более низкой представленности

Таблица 4. Количественные и структурные характеристики сообществ макрозообентоса оз. Изметчивое в июне 2007 г.

Характеристика	Сообщество (станции)				
	<i>Musculista senhousia</i> + <i>Macoma incongrua</i>	<i>Macoma incongrua</i>	<i>Eogammarus tueschovi</i> + <i>Gnoringosphaeroma ovatum</i>	Sipunculoidea (1)	<i>Asterias amurensis</i> (21)
Диапазон глубин, м	1-6.5	5	Литораль	1.5	Литораль
Количество обнаруженных видов	27	3	10	2	1
<i>N</i> , экз/м ²	2285	74	151	74	2
<i>B</i> , г/м ²	146.431	2.543	1.461	2.65	4.46
<i>N</i> доминирующих видов, экз/м ²	1700; 168	22	67; 50	59	
<i>B</i> доминирующего вида, г/м ²	105.9; 37.4	2.6	0.77; 0.49	2.47	
<i>B</i> доминирующих видов, %	98	99	86	93	
<i>U</i>	0.27	0.71	0.50	-	-
$\Delta U_{ст.}$, %	0.043	0.283	0.111	-	-
<i>I</i> _{авс}	4.0	-16.8	3.1	-	-
<i>I</i> _{во}	0.72	0.06	1.16	-	-
<i>C</i> _х	1.96	1.52	2.93	-	-
<i>C</i> _в	2.05	4.01	3.89	-	-

(38%) тепловодных низкобореальных видов (рис. 4). В 2007 г. низкобореальные виды уже преобладали (52%), а вклад широкобореальных видов снизился до 36%. Еще более заметно влияние прогресса воды при сравнении вклада животных разных зоогеографических групп в образование общей биомассы макрозообентоса. Установлено, что вклад низкобореальных видов с 66% в 2004–2005 гг. увеличился до 99% в 2007 г.

Еще одним подтверждением выдвинутого предположения является изменение индекса *U* для описываемых сообществ по сравниваемым годам (табл. 2, 4). После прекращения связи с морем тепловодное по значению *U* сообщество *Musculista senhousia* заняло практически всю акваторию озера.

Причина столь радикальных перемен кроется в изменении гидрологического режима водоема. До замыкания протоки поступающие в прилив холодные морские воды заполняли ложе лагуны, а теплые собственно лагунные воды формировали верхний слой пелагиали. В нижнем слое, образованном морской водой и выстилающем профундаль, существовали морские умеренно-холодноводные сообщества *Macoma calcarea* и *Scoloplos armiger*. В верхнем горизонте сублиторали, в зоне влияния прогретых лагунных вод, было локализовано сообщество *Musculista senhousia*. После отчленения лагуны от моря и образования озера поступление холодных морских вод прекратилось и всю водную

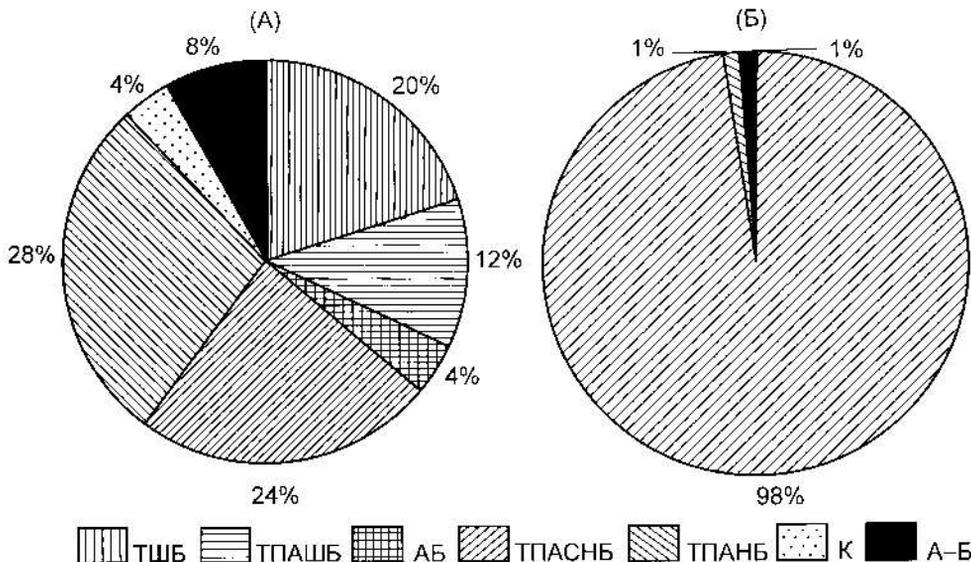


Рис. 4. Зоогеографический состав макрозообентоса оз. Изметчивое до (А) и после (Б) прекращения связи с морем. Зоогеографическая характеристика: ТШБ – тихоокеанский широкобореальный, ТПАСШБ – тихоокеанский приазиатский широкобореальный, АБ – амфибореальный, ТПАСНБ – тихоокеанский приазиатский субтропический низкобореальный, ТПАНБ – тихоокеанский приазиатский низкобореальный, К – космополит, А-Б – аркто-бореальный.

толщу формировали теплые лагунные воды с меньшей соленостью. В результате произошедших изменений сообщество, ранее существовавшее в узком диапазоне глубин мелководья, распространилось по всей сублиторали озера. При этом структура сообществ упрощалась за счет снижения роли или исчезновения ряда умеренно-холодноводных видов.

Замена холодноводных видов тепловодными хорошо прослеживается на примере массовых видов бентоса. Преобладавшие до замыкания протоки на глубинах более 1 м двустворчатый моллюск *M. calcarea* и многощетинковый червь *S. armiger* относятся к арктобореальным широко распространенным видам (Ушаков, 1955; Кафанов, 1991). Сменившие их двустворчатые моллюски *M. senhousia* и *M. incongrua* являются тепловодными субтропическо-низкобореальными видами (Кафанов, 1991).

Ранне основным фактором, определяющим эволюцию донного населения лагунных водоемов Дальнего Востока России, считалась соленость воды (Волова, 1974; Бровко, 1990). Кафанов с соавторами (2003) доказали, что лагуны являются рефугиумами для тепловодных элементов. Данная работа показывает, что температура воды является определяющим фактором трансформации лагунного бентоса на начальных этапах его эволюции до преодоления хорогалинного барьера.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате прекращения водообмена с морем изменились состав и структура макрозообентоса лагунного оз. Изменяемое. Сокращение видового состава, связанное преимущественно с исчезновением холодноводных широкобореальных видов, сопровождалось почти двукратным увеличением плотности донных гидробионтов при почти неизменившейся биомассе. На описываемом этапе эволюции озера данные изменения вызваны, прежде всего, более быстрым и значительным прогрессом воды, а также разрушением температурной стратификации, наблюдавшейся до замыкания протоки. Наряду с уменьшением числа сообществ упрощается их структура. Так, на литорали сообщества морского типа сменяются единым озерным сообществом *Eogammarus tuischovi* + *Gnorimosphaeroma ovatum*. В сублиторали из-за разрушения вертикальной стратификации мелководное и тепловодное сублиторальное сообщество *Musculista senhousia* распространяется на всю акваторию, замещая наблюдавшиеся там прежде сообщества *Macoma calcarea* и *Scoloplos armiger*. Следовательно, фактор температуры воды определяет изменчивость бентоса лагун на начальных этапах его эволюции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Аверинцев В.Г., Жуков Е.И. АВС-метод оценки функционального состояния донных биоценозов // Теоретические подходы к изучению экосистем морей Арктики и субарктики. Анаптиты. 1992. С. 84–90.

Баканов А.И. О количественной оценке агрегированности бентоса // Количественные методы в экологии животных. Л.: ЗИН АН СССР. 1980. С. 16–18.

Бровко П.Ф. Развитие прибрежных лагун. Владивосток: Изд-во Дальневост. ун-та. 1990. 148 с.

Волова Г.Н. Макрозообентос солоноватых водоемов Южного Приморья (Японское море) // Гидробиол. журн. 1974. Т. 10, № 6. С. 32–37.

География и мониторинг биоразнообразия. М.: Изд-во Научного и методического центра. 2002. 432 с.

Дюрин Б., Одед П. Кластерный анализ. М.: Статистика. 1977. 128 с.

Кафанов А.И. Двустворчатые моллюски шельфов и континентального склона северной Пацифики. Владивосток: ДВО АН СССР. 1991. 200 с.

Кафанов А.И., Лабай В.С., Печенева Н.В. Биота и сообщества макрозообентоса лагун северо-восточного Сахалина. Южно-Сахалинск: СахНИРО. 2003. 176 с.

Кафанов А.И., Кудряшов В.А. Морская биогеография: Учеб. пособие. М.: Наука. 2000. 176 с.

Ключарева О.А., Коренева Т.А., Сокольская И.Л., Старобогатов Я.И. Донные беспозвоночные озер южного Сахалина // Озера южного Сахалина и их ихтиофауна. М.: МГУ. 1964. С. 47–80.

Кусакин О.Г. Морские и солоноватоводные равноногие ракообразные (Isopoda) холодных и умеренных вод Северного полушария. Подотр. Flabellifera. Л.: Наука. 1979. 472 с.

Кусакин О.Г., Цурпало А.П. Многолетние изменения литорального макрозообентоса бухты Крабовая (остров Шикотан) в условиях разной степени органического загрязнения // Биол. моря. 1999. Т. 25, № 3. С. 209–216.

Лабай В.С., Рогозин М.Г. Состав, структура и сезонная динамика макрозообентоса озера Тунайча (южный Сахалин) // Чтения памяти В.Я. Леванидова. Владивосток: Дальнаука. 2005. Вып. 3. С. 62–94.

Лагуны Сахалина. Владивосток: Изд-во Дальневост. ун-та. 2002. 80 с.

Микишин Ю.А., Гвоздева И.Г. Развитие природы юго-восточной части острова Сахалин в голоцене. Владивосток: Изд-во Дальневост. ун-та. 1996. 130 с.

Микишин Ю.А., Рыбаков В.Ф., Бровко П.Ф. Южный Сахалин. Озеро Тунайча // История озер Севера Азии. СПб.: Наука. 1995. С. 112–120.

Печенева Н.В., Лабай В.С. Макрозообентос лагунного озера Изменчивое (юго-восточный Сахалин) // Биология, состояние запасов и условия обитания гидробионтов Сахалино-Курильского региона и сопредельных акваторий. Южно-Сахалинск: СахНИРО. 2006. С. 67–88 (Тр. Сахалин. научно-исслед. ин-та рыб. хоз-ва и океаногр.; Т. 8).

Суханов В.В. Тест на стандартность видовой структуры в таксоценозах морских организмов // Биол. моря. 2002. Т. 28, № 4. С. 304–307.

Ушаков Н.В. Многощетинковые черви дальневосточных морей СССР (Polychaeta) // Определители по фауне СССР, издаваемые ЗИН АН СССР. М.; Л.: Изд-во АН СССР. 1955. 445 с.

Хлебович В.В. Критическая соленость и хорогалиникум: современный анализ понятий // Биология солоноватых вод. Л.: ЗИН АН СССР. 1989. С. 5–11.

МОРСКОЙ ЭЛЕМЕНТ В АЛЬГОФЛОРЕ БОЛОТА ЭНЗЕЛИ (ИРАН)

© 2009 г. Б. Зарей Дарки

Department of Biology, Islamic Azad University, Falavarjan Branche, Esfahan;
Marine Biology Department, Marine Resource Faculty, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran
e-mail: zareid@mail.ru

Статья принята к печати 29.01.2009 г.

Приведены данные о составе морского элемента в альгофлоре болота Энзели, расположенного параллельно берегу Каспийского моря. Всего на семи обследованных станциях выявлено и определено 74 вида, представленных 89 внутривидовыми таксонами, в том числе: Cyanophyta – 20 видов, Cryptophyta – 2 вида, Bacillariophyta – 51 вид (66 внутривидовых таксонов) и Chlorophyta – 1 вид.

Ключевые слова: морской элемент, альгофлора, фитопланктон, микрофитобентос, болото Энзели.

Marine species in the algal flora of the Anzali Swamp (Iran). B. Zarei Darki (Department of Biology, Islamic Azad University, Branche Falavarjan, Esfahan; Marine Biology Department, Marine Resource Faculty, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran)

The composition of marine species in the algal flora of the Anzali Swamp, which is situated parallel to the Caspian coastline, is examined. Sampling was carried out at seven stations. A total of 74 species with 89 infraspecific taxa were identified: Cyanophyta, 20 species; Cryptophyta, 2 species; Bacillariophyta, 51 species (66 infraspecific taxa); and Chlorophyta, 1 species. (Biologiya Morya, Vladivostok, 2009, vol. 35, no. 3, pp. 175–181).

Key words: marine species, algal flora, phytoplankton, microphytobenthos, Anzali Swamp.

Болото Энзели находится на севере Ирана в области (административная единица Ирана) Гилан вблизи г. Энзели и располагается параллельно берегу Каспийского моря. Его длина составляет 37 км, ширина в центральной части – около 12 км, средняя глубина – 2,5 м. Уровень воды в водосме колеблется в широком диапазоне и зависит от колебания уровня воды в Каспийском море, а также, частично, от сгонно-нагонных явлений (Kardavani, 1995). По происхождению болото Энзели – это водоем, представляющий собой мелководный залив Каспийского моря, первоначально образованный двумя невысокими косами, разделенными нешироким проливом. При понижении уровня воды в море залив полностью отделился, затем пролив был искусственно расширен и углублен, и в настоящее время представляет собой канал (Петров, 1955).

Вода в водоеме сильно опреснена за счет атмосферных осадков (до 1500 мм в год) и за счет рек, впадающих в болото с юга. Самой большой из них является р. Пирбазар, несущая значительный объем загрязнений от г. Решт и других населенных пунктов, расположенных ниже по течению. По берегам водоема и на его акватории разнообразно представлены высшие водные растения. Наиболее обильны здесь виды рода *Azolla*: *A. caroliniana*, *A. filiculoides* и *A. pinnata*, которые были интродуцированы в водоем из Индии в 1967 г. и из Филиппин в 1984 г. (Kardavani, 1995). Водная поверхность покрыта кувшинкой *Nymphaea alba* и кубышкой *Nuphar lutea*.

Первое исследование альгофлоры болота Энзели показало ее видовое богатство и неоднородный характер отдельных элементов (Dogadina et al., 2002). Специфика

данного водоема и условий, сложившихся в нем (непосредственная связь с морем, прохождение миграционных путей полупроходных и проходных видов рыб на нерестилища, опреснение, зимовка перелетных птиц, рекреация, поступление сточных и загрязненных вод), требовали продолжения альгофлористических исследований. Учитывая высокую степень гетерогенности альгофлоры водоема, мы решили вычленить из общего видового разнообразия различающиеся по своему генезису морские элементы флоры, чтобы определить степень влияния близости Каспийского моря на альгофлору болота.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Детальное альгофлористическое исследование болота Энзели проведено в 2001–2002 гг. В последующие годы нами были отобраны разовые пробы фитопланктона на отдельных станциях в разные сезоны (Zarei Darki, 2006; Zarei Darki, Dogadina, 2007). Таким образом, с учетом ранее опубликованных данных (Dogadina et al., 2002) в этой работе анализируется видовой состав морских форм в альгофлоре болота Энзели в 2001–2008 гг. Всего изучены 42 альгологические пробы из трех экотопов, при этом из планктона – 21 проба, из бентоса – 9 проб и перифитона – 12.

Сбор и обработка материала проводились стандартными методами (Водоросли..., 1989). Определение видового разнообразия водорослей выполнено с использованием основных систематических работ (Голлербах и др., 1953; Кондратьева, 1968; Караева, 1972; Кондратьева и др., 1984; Мошкова, Голлербах, 1986; Krammer, Lange-Bertalot, 1986, 1988, 1991; Komárek, Anagnostidis, 1999).

Материал собирали на семи станциях (рис. 1). На каждой станции отбирали по две пробы. Первую пробу фиксировали формалином, вторую сначала изучали в живом виде, а



Рис. 1. Карта-схема расположения станций отбора проб на болоте Энзели.

затем подвергали холодному и горячему методам диатомового анализа (Диатомовые..., 1974). Определение видового состава проведено в лабораториях Флаварджанского Исламского Азад университета (Иран) и Харьковского национального университета (Украина).

РЕЗУЛЬТАТЫ

С учетом ранее опубликованных данных за период исследований в альгофлоре болота Энзели нами было выявлено 534 вида и разновидности водорослей (Dogadina et al., 2002). К морскому элементу мы отнесли не только типично морские виды, но и виды солонатоводных местообитаний, а также эвригалобные формы, встречающиеся вместе с типично морскими видами. Это обусловлено тем, что альгофлора Каспийского моря, связанного с болотом, отличается от таковой морей с нормальной соленостью относительной бедностью морскими элементами, и значительным разнообразием солонатоводных элементов и присутствием пресноводных галофилов (Прошкина-Лавренко, Макарова, 1968). Таким образом, всего нами было выявлено и определено 74 вида, представленных 89 внутривидовыми таксонами (табл. 1), что составляет 16.7% общего числа выявленных таксонов в альгофлоре болота Энзели.

В составе морского элемента альгофлоры болота, безусловно, доминируют диатомовые – 51 вид (66 внутривидовых таксонов) и синезеленые водоросли – 20 видов. Cryptophyta были представлены двумя видами, а Chlorophyta – только одним. Из общего числа обнаруженных видов Bacillariophyta лишь два вида – *Navicula radiosa* и *Nitzschia scalpelliformis* отмечены на всех станциях. Высокой встречаемостью отличались мезогалобы *Nitzschia sigma* и *Tabularia tabulata*, а также галофил *Gomphonema parvulum*. Среди редких видов, характеризующихся низкой встречаемостью, т.е. найденных на одной из станций, можно отметить *Diatoma tenuis*, *Navicula crucicula*, *N. gregaria*, *N. peregrina* var. *kefvingensis*, *Scolioptera schneideri*, *Mastogloia baltica*, *Achnanthes delicatula hauckiana*, *A. thermalis*, *Gyrosigma spectabilis*, *Tryblionella levidensis* и др.

Обнаружено 16 видов мезогалобов из отдела Bacillariophyta, характерных для Каспийского моря:

Achnanthes brevipes var. *intermedia*, *Cylindrotheca closterium*, *N. sigma*, *T. tabulata*, *Tryblionella apiculata*, *T. circumscuta*, *T. hungarica*, *T. levidensis* и др. Выявлено также 19 таксонов галофилов, среди которых *Achnanthes brevipes*, *A. delicatula hauckiana*, *Cocconeis pediculus*, *Navicula cincta*, *N. cryptocephala*, *Luticola ventricosa*, *Caloneis amphisbaena*, *Melosira varians*, *Thalassiosira lacustris* и др.

Такие виды, как *Rhoicosphenia abbreviata*, *Navicula capitata* var. *hungarica* и *Achnanthes thermalis*, считающиеся индифферентами, мы отнесли к галофилам, поскольку в литературе эти диатомеи, определенные нами ранее как *R. curvata*, *N. hungarica* и *A. gibberula* соответственно (ныне эти названия отклонены), характеризуются как галофилы (Барина и др., 2006). Нет единого мнения в литературе и по поводу экологии видов *C. pediculus*, *N. cryptocephala*, *N. radiosa* и *M. varians*: в одних источниках они приводятся как индифференты (Барина и др., 2006), а в других – как галофилы (Прошкина-Лавренко, Макарова, 1968). Учитывая показатели солености в болоте Энзели (Mellatparast, 1990), мы отнесим эти виды к олигогалобам-галофилам.

Представители морских форм Cyanophyta, найденные в водоеме, отнесены к 7 семействам и 12 родам. Причем на всех станциях были обнаружены лишь два вида: *Merismopedia minima* и *Phormidium neotenuis*. Очень редкой встречаемостью на какой-либо одной из станций характеризовались виды *Aphanocapsa marina*, *Phormidium chalybeum*, *Ph. deflexoides*, *Ph. laetevirens*, *Trichodesmium lacustre*, *Oscillatoria spirulinoides*, *Planktolyngbya contorta* и *Anabaena caspica*.

Полученные данные о морских формах в составе альгофлоры болота Энзели проанализированы и в отношении к местообитанию (табл. 2), при этом были выделены 3 экологические группы видов: планктонные, бентосные и планктонно-бентосные (Барина и др., 2006). Наиболее разнообразно были представлены диатомовые водоросли микрофитобентоса – 49 внутривидовых таксонов. Чаще других в бентосе встречались типично донные формы Bacillariophyta из родов *Navicula*, *Nitzschia*, *Achnanthes* и *Amphora*. Многие диатомовые

Таблица 1. Таксономический состав морских форм водорослей в болоте Энзели

Таксон	Экология*		Станция**						
	галлобность	местообитание	1	2	3	4	5	6	7
Суанophyta									
<i>Chroococcus turgidus</i> (Kützing) Nägeli, 1849	hl, K	P-B	+	+	+	+	+	-	+
<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Elenkin, 1938	hl, K	P		+	+	+	+	-	-
<i>Arthrospira major</i> (Kützing) Crow, 1927	hl, K	P		-	-			-	-
<i>Phormidium breve</i> (Kützing ex Gomont) Anagnostidis et Komárek, 1988	hl	P-B	-	-	-	+	-	+	-
<i>Ph. chalybeum</i> (Mertens ex Gomont) Anagnostidis et Komárek, 1988	hl, K	P-B	+	-	-	-	-	-	-
<i>Ph. deflexoides</i> (Elenkin et Kossinskaja) Anagnostidis et Komárek, 1988	hl	P-B	-	-		-	-	+	
<i>Ph. laetevirens</i> (P.L. Crouan et H.M. Crouan ex Gomont) Anagnostidis et Komárek, 1988	mh	P-B	-	-	+		-	-	
<i>Ph. neotenue</i> G. Hällfors, 2004	hl, K	P-B	+	+	+	+	+		-
<i>Ph. papyraceum</i> (Agardh) Gomont, 1892	hl	B	-	-	+		+	-	
<i>Trichodesmium lacustre</i> Klebahn, 1895	hl	P	-	-			-	+	
<i>Lyngbya aestuarii</i> (Mertens) Liebman ex Gomont, 1892	mh, K	P-B	+	-	+		-	-	
<i>Oscillatoria limosa</i> Agardh ex Gomont, 1892	hl, K	P-B	-	+		+	-		+
<i>O. margaritifera</i> (Kützing) Gomont, 1892	mh, K	P-B			+	-			+
<i>O. spirulinoïdes</i> Woronichin, 1932	mh	P-B	-	-	-			+	-
<i>Aphanocapsa marina</i> Hansgirg, 1890	hl	P	-	-	-			+	-
<i>Merismopedia minima</i> G. Beck, 1897	hl, K	B	+	+		+	+	+	+
<i>M. tenuissima</i> Lemmermann, 1898	hl, K	P-B	+	+	+	+	+	+	
<i>Synechocystis minuscula</i> Woronichin, 1926	mh	B	-	-	+	+	+	-	-
<i>Planktolingbya contorta</i> (Lemmermann) Anagnostidis et Komárek, 1988	hl, K	P	-	-	+		-	-	
<i>Anabaena caspica</i> Ostenfeld in Hollerbach, 1953	mh, K	P		-	-	-	-	+	-
Cryptophyta									
<i>Cryptomonas ovata</i> Ehrenberg, 1838	hl	P	+	+	-			-	-
<i>Rhodomonas salina</i> (Wislouch) Hill et Wetherbee, 1989	hl	P	-			-	+	+	
Bacillariophyta									
<i>Cyclotella caspia</i> Grunow, 1878	hl, K	P			-	-	-	+	-
<i>C. meneghiniana</i> Kützing, 1844	hl, K	P-B	+	+			-	-	+
<i>Thalassiosira lacustris</i> (Grunow in Cleve et Grunow, 1880) Hasle in Hasle et G. Fryxell, 1977	hl, K	P	+	-	-	+	-	-	
<i>Melosira varians</i> Agardh, 1817	hl, K	P-B		+	-	-		+	+
<i>Diatoma tenue</i> Agardh, 1812	hl, K	P-B	-	-	-	+	-	-	-
<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton, 1869	hl	P	-	-	+		-	-	
<i>F. virescens</i> Ralfs var. <i>subsalina</i> Grunow in Van Heurck, 1881	hl	B	-	-		-	+	-	-
<i>Tabularia tabulata</i> (Agardh) Snoeijs, 1992	mh, K	B	+	+	+	+	-	+	+
<i>Mastogloia baltica</i> Grunow, 1880	mh, K	B	-		-	+	-		-
<i>Anomoeoneis sphaerophora</i> (Kützing) E. Pfitzer, 1871	hl	P-B	+	-	-			-	-
<i>Cymbella cymbiformis</i> Agardh, 1830	hl	B	-	-			+	+	-
<i>Gomphonema parvulum</i> (Kützing) Grunow, 1849	hl	B	+	+	+		-	+	+
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (Agardh) Lange-Bertalot, 1980	hl, K	P-B	+		-	+	-	+	-
<i>Achnanthes brevipes</i> Agardh, 1824	hl, K	B		-	+	+			-
<i>A. brevipes</i> Agardh var. <i>intermedia</i> (Kützing) Cleve, 1895	mh, K	B		-	+	+		-	-
<i>A. delicatula hauckiana</i> (Grunow) Lange-Bertalot, 1980	hl, K	B		-	+			-	-
<i>A. taeniata</i> Grunow in Cleve et Grunow, 1880	hl	B	+		-	-	-	+	-
<i>A. thermalis</i> (Rabenhorst) Schönfeldt, 1907	hl	B		+	-	-	-	-	-

Таблица 1. Продолжение

Таксон	Экология*		Станция**						
	глобность	местообитание	1	2	3	4	5	6	7
<i>*Cocconeis pediculus</i> Ehrenberg, 1838	hl, K	B	+	-	+	+	+	-	-
<i>Luticola ventricosa</i> (Kützing) D.G. Mann, 1990	hl, K	P-B	-	+	-	-	-	+	+
<i>Scolioptera schneideri</i> Grunow in Zabelina et al., 1951	mh, K	B	-	-	-	-	-	-	-
<i>Caloneis amphishaena</i> (Bory) Cleve, 1894	hl, K	B	+	+	+	-	-	-	-
<i>Sellaphora pupula</i> (Kützing) Mereschkowsky, 1902	hl	B	+	+	+	-	-	+	-
<i>Navicula capitata</i> var. <i>hungarica</i> (Grunow) R. Ross, 1947	hl	B	-	-	+	-	-	-	-
<i>N. cincta</i> (Ehrenberg) Ralfs in Pritchard, 1861	hl, K	B	-	-	-	-	-	-	+
<i>N. crucicula</i> (W. Smith) Donkin, 1872	mh	B	-	-	-	-	-	-	-
<i>N. cryptocephala</i> Kützing, 1844	hl, K	P-B	-	-	-	-	-	-	+
<i>N. cryptocephala</i> Kützing var. <i>angusta</i> J.B. Petersen, 1928	hl	B	-	+	-	-	-	-	-
<i>N. cryptocephala</i> Kützing var. <i>intermedia</i> Grunow, 1880	mh, K	P-B	-	-	+	-	-	+	-
<i>N. cryptocephala</i> Kützing var. <i>veneta</i> (Kützing) Grunow, 1880	hl, K	B	-	+	-	-	-	-	-
<i>N. gregaria</i> Donkin 1861	mh, K	B	-	-	-	-	-	+	-
<i>N. hungarica</i> Grunow var. <i>intermedia</i> Skabichevskii in Zabelina et al., 1951	hl	B	-	-	+	+	-	-	-
<i>N. peregrina</i> (Ehrenberg) Kützing var. <i>kefvingensis</i> (Ehrenberg) Cleve, 1895	mh	B	-	+	-	-	-	-	-
<i>N. pusilla</i> W. Smith var. <i>jacutica</i> Kisselev in Zabelina et al., 1951	hl	P-B	-	-	-	-	+	-	-
<i>N. radiosa</i> Kützing, 1844	hl, K	B	+	+	+	+	+	+	+
<i>Gyrosigma spectabilis</i> (Ehrenberg) Hustedt, 1959	hl	B	-	-	+	-	-	-	-
<i>G. strigilis</i> (W. Smith) Cleve, 1894	mh	B	-	-	+	-	-	-	-
<i>Proschkinia bulnheimii</i> (Grunow) Karayeva, 1978	hl	B	-	-	-	-	-	-	+
<i>Amphora coffeaeformis</i> Agardh, 1844	mh, K	B	-	-	-	-	-	-	+
<i>A. commutata</i> Grunow in Van Heurck, 1880	hl, K	B	+	-	-	-	-	-	-
<i>A. delicatissima</i> Krasske in Hustedt, 1930	hl	B	+	-	-	+	-	+	+
<i>Bacillaria paxillifer</i> (O.F. Müller) Hendey, 1951	mh, K	P-B	+	-	+	-	-	+	+
<i>Cylindrotheca gracilis</i> (Brébisson ex Kützing) Grunow in Van Heurck, 1882	mh	P-B	+	-	+	-	-	-	+
<i>C. closterium</i> (Ehrenberg) Reiman et Lewin, 1964	mh, K	B	-	-	+	-	-	-	-
<i>Nitzschia clausii</i> Hantzsch, 1860	mh	B	-	-	+	-	-	+	-
<i>N. filiformis</i> (W. Smith) Van Heurck, 1896	hl	B	+	-	+	-	-	-	-
<i>N. frustulum</i> (Kützing) Grunow in Cleve et Grunow, 1880	hl	B	-	-	-	-	-	+	-
<i>N. lacunarum</i> Hustedt, 1930	hl	B	-	-	+	-	-	-	-
<i>N. longissima</i> (Brébisson in Kützing) Ralfs in Pritchard, 1861	mh	B	+	-	+	-	-	-	-
<i>N. longissima</i> (Brébisson in Kützing) Ralfs in Pritchard f. <i>parva</i> Grunow in Zabelina et al., 1951	mh	B	-	-	-	-	-	-	-
<i>N. longissima</i> (Brébisson in Kützing) Ralfs in Pritchard var. <i>reversa</i> Grunow, 1880	mh	B	-	-	-	+	+	-	-
<i>N. lorenziana</i> Grunow in Cleve et Grunow, 1880	mh	B	-	-	+	-	-	-	-
<i>N. lorenziana</i> Grunow var. <i>incurva</i> Grunow in Zabelina et al., 1951	mh	B	+	-	-	-	-	-	-
<i>N. parvula</i> W. Smith, 1853	hl	B	-	-	-	-	-	+	+
<i>N. scalpelliformis</i> (Grunow) Grunow in Cleve et Grunow, 1880	hl, K	B	+	+	+	+	+	+	+
<i>N. sigma</i> (Kützing) W. Smith, 1853	mh, K	B	+	+	+	+	-	-	+
<i>N. vermicularis</i> (Kützing) Hantzsch in Rabenhorst, 1860 (1859)	hl	B	-	-	-	-	-	-	-
<i>Tryblionella apiculata</i> Gregory, 1857	mh, K	B	-	-	-	+	+	-	-

Таблица 1. Окончание

Таксон	Экология*		Станция**						
	галобность	местообитание	1	2	3	4	5	6	7
<i>T. circumscuta</i> (J.W. Bailey) Ralfs in Pritchard, 1861	mh, K	B	+	-	-	-	-	-	-
<i>T. gracilis</i> W. Smith, 1853	hl, K	B	-	-	+	-	-	+	+
<i>T. hungarica</i> (Grunow) D.G. Mann in Round et al., 1990	mh, K	P-B	-	-	-	-	-	+	-
<i>T. levidensis</i> W. Smith, 1856	mh, K	P-B	-	-	-	-	+	-	-
<i>Epithemia turgida</i> (Ehrenberg) Kützing var. <i>granulata</i> (Ehrenberg) Grunow, 1880	hl	B	+	-	-	-	-	+	-
<i>Rhopalodia gibberula</i> (Ehrenberg) Müller var. <i>vanheurickii</i> Müller in Zabelina et al., 1951	mh, K	B	-	-	-	-	-	-	-
<i>Surirella minuta</i> Brébisson in Kützing, 1849	hl, K	B	-	-	-	-	-	+	+
<i>S. striatula</i> Turpin, 1828	mh, K	P-B	+	-	+	+	-	-	-
Chlorophyta									
<i>Enteromorpha intestinalis</i> (Linnaeus) Nees, 1820	hl	P-B	-	-	-	-	-	-	-

*Использованы данные из: Барилова и др., 2006; Забелина и др., 1951; Караева, 1972; Прошкина-Лавренко, Макарова, 1968.

**1 – Абкенар, 2 – Санъячин, 3 – Гелюга, 4 – Санъджо, 5 – Башман, 6 – Казиян, 7 – Сусар.

Примечание. P – планктонный, P-B – планктоно-бентосный, B – бентосный в широком смысле (связанный с субстратом); hl – олигогалоб-галобфил, mh – мезогалоб, K – характерные для Каспийского моря виды.

водоросли образуют обрастания. Большинство прикрепленных форм Bacillariophyta являются эпифитами и эпилитами. Очень часто вид *C. pediculus* был отмечен нами на талломах *Cladophora* sp. Среди обнаруженных видов присутствовали виды, ведущие планктонно-бентосный образ жизни (26 внутривидовых таксонов). Наименьшее разнообразие водорослей отмечено в планктоне – 11 внутривидовых таксонов. Особенно часто встречался *Microcystis aeruginosa* (Cyanophyta). Только на одной из станций были найдены *Cyclotella caspia*, *T. lacustre*, *Fragilaria crotonensis* и др.

Большее половины обнаруженных синезеленых водорослей (11 видов) ведут планктонно-бентосный образ жизни. Из них наиболее часто встречались *Chroococcus turgidus*, *Ph. laetevirens*, *Oscillatoria limosa*, *O. spirulinoides* и др. К типично бентосным можно отнести *Phormidium papyraceum*, *M. minima* и *Synechocystis minuscula*. Перифитонные формы Cyanophyta могут быть как эпифитами, так эпилитами и эпипелитами. Эпифиты *Phormidium breve* и *Ph. deflexoides* в основном прикреплялись к высшим водным растениям. На илистом песчаном дне встречались *Ph. chalybeum* и *O. limosa*. В планктоне было отмечено 6 таксонов Cyanophyta.

Интересно провести анализ пространственного распределения морского элемента флоры в болоте Энзели и выявить районы как с более высоким обилием представителей этой группы, так и наоборот. В связи с низкими значениями количества видов на станциях при анализе нам представляется целесообразным оперировать не абсолютными значениями, а показателем присутствия морского элемента на отдельных станциях, выраженным в процентах от общего числа видов морского элемента флоры болота (Толмачев, 1974) (рис. 2).

Вклад морского элемента в альгофлору болота был наибольшим на станции 3 (Гелюга) и составлял 44.9%. Вероятно, это связано с влиянием воздушных масс, поступающих с моря; с подземным пропикновением морских вод (если двигаться на север от станции, то через 800 м будет видно Каспийское море) и с удаленностью от рек, опресняющих воды болота (рис. 1). По данным Меллатпарааста (Mellatparast, 1990), подземные воды Каспийского моря достигают юго-западной части болота. Очевидно, этим можно объяснить довольно высокое относительное значение морского элемента и на станции 1 (Абкенар) – 39.3%. Особенностью станции 1 является также то, что это одно из мест сосредоточения перелетных птиц и проходных рыб. Непосредственно у канала (станция 6, Казиян), соединяющего Каспийское море с болотом Энзели, доля морских форм составляла 41.6%. Несмотря на близость моря, наименьший вклад морского элемента отмечен на станции 5 (Башман) – 20.2%. Вероятно, сказалась высокая степень влияния антропогенного фактора, так как в этом месте воды болота интенсивно используются для выращивания риса.

Таблица 2. Распределение морских форм альгофлоры болота Энзели по экологическим группам

Таксон	Экологические группы видов		
	планктонные	бентосные	планктонно-бентосные
Cyanophyta	6	3	11
Cryptophyta	2	-	-
Bacillariophyta	3	49	14
Chlorophyta	-	-	1
Всего	11	52	26

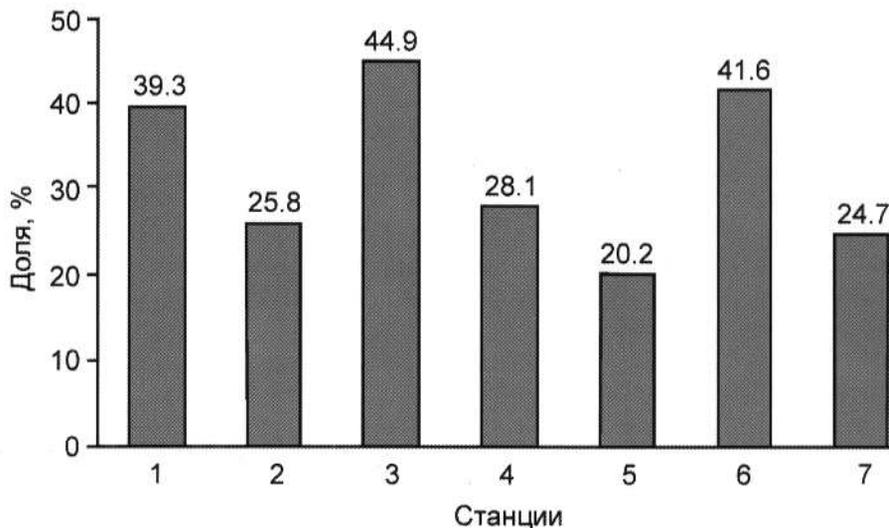


Рис. 2. Участие морского элемента в альгосообществах на отдельных станциях.

ОБСУЖДЕНИЕ

Первые альгофлористические данные об окрестностях болота Энзели были получены в начале XX в. русским ученым Ворониным (1925). Правда, все обнаруженные им виды не относятся к морским. Возможно, это связано с тем, что пробы были собраны из мелкого водоема находящегося в окрестностях болота (точное место сбора проб в работе не указано). Поскольку десятки лет назад болото Энзели представляло собой залив Каспийского моря и имеет общее с ним происхождение, интересно сравнить полученные нами данные с составом альгофлоры Каспийского моря.

В 1968 г. А.И. Прошкина-Лавренко и И.В. Макарова изучили фитопланктон, а в 1972 г. Н.И. Караева исследовала микрофитобентос Каспийского моря (Прошкина-Лавренко, Макарова, 1968; Караева, 1972). Общими для болота Энзели и Каспийского моря оказались 53 таксона из двух отделов, в том числе и виды-индифференты. Так, из синезеленых водорослей и в болоте, и в море были отмечены следующие морские формы: *Chroococcus turgidus*, *Microcystis aeruginosa*, *Merismopedia minima* и *M. tenuissima*. Кроме того, из порядка Oscillatoriales среди планктонных видов нами были найдены виды, отмеченные вышеупомянутыми авторами в Каспийском море, это *Lyngbya aestuarii*, *Arthrospira major*, *Oscillatoria margaritifera*, *O. limosa* и *Phormidium chalybeum*.

Давно известно, что диатомовые водоросли являются показателями солености воды (Прошкина-Лавренко, 1953). Поэтому морские формы Bacillariophyta в альгофлоре болота Энзели преобладали над таковыми других отделов (51 вид, 66 внутривидовых таксонов). Некоторые виды были найдены лишь в планктоне на одной из станций, например *Diatoma tenuis*, входящая в список Прошкиной-Лавренко и Макаровой (1968). В альгофлоре болота из рода *Navicula* нами определено 12 внутривидовых таксонов, среди которых 5 ранее были отмечены в работе Караевой (1972): *Navicula cincta*, *N. cryptocephala*, *N. cryptocephala* var. *veneta*, *N. gregaria*

и *N. radiosa*. Из рода *Nitzschia* в альгофлоре болота определено 13 внутривидовых таксонов, среди которых только 2 были отмечены в микрофитобентосе Каспийского моря: *Nitzschia scalpelliformis* и *N. sigma*. Все 5 видов рода *Tryblionella* – *T. apiculata*, *T. circumscuta*, *T. gracilis*, *T. hungarica* и *T. levidensis* – были представлены в альгофлоре Каспийского моря.

Доминирование морских форм диатомовых водорослей, вероятнее всего, связано с присутствием автохтонного элемента, сохранившегося в болоте после отделения от моря. Обогащение этого элемента флоры происходит, по-видимому, за счет его поступления с морской водой через канал при повышении уровня Каспийского моря. Кроме того, непосредственная близость моря и отсутствие препятствий для проникновения морских воздушных масс (например, на станции Гелюга) влияют на соленость болота и способствуют засолению прибрежных территорий. Нельзя исключить также и аллохтонный путь обогащения как альгофлоры болота в целом, так и ее морского элемента. Основным фактором в этом случае, безусловно, являются сезонные миграции водоплавающих птиц из средних и высоких широт Евразии с африканского континента. Возможен также занос некоторых видов маломерными судами и при массовых проходах рыб на нерестилища.

Автор выражает искреннюю благодарность д.б.н., профессору Т.В. Догадиной, под руководством которой была выполнена эта работа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Барина С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. Тель-Авив: Publishing Hous "Pilies Studio". 2006. 498 с.
- Водоросли. Справочник. Киев: Наукова думка. 1989. 608 с.
- Воронин Н.Н. Список пресноводных водорослей, собранных Д.А. Тарноградским в окрестностях болота Энзели // РСКГС. 1925. Т. 1, вып. 1. С. 43–44.
- Голлербах М.М., Косинская Е.К., Полянский В.И. Синезеленые водоросли. М.: Советская наука. 1953. 652 с. (Определитель пресноводных водорослей СССР; Вып. 2).

- Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные). Л.: Наука. 1974. Т. 1. 403 с.
- Забелина М.М., Киселев И.А., Прошкина-Лавренко А.И., Шенчукова В.С.* Диатомовые водоросли. М.: Советская наука. 1951. 619 с. (Определитель пресноводных водорослей СССР; Вып. 4).
- Караева Н.И.* Диатомовые водоросли бентоса Каспийского моря. Баку: Элм. 1972. 260 с.
- Кондратьева Н.В.* Синьозелені водорості - Суанорфута, Гормогонісві - Нормогоніорфусеае. Київ: Наукова думка. 1968. Вип. 1, ч. 2. 524 с.
- Кондратьева Н.В., Коваленко О.В., Приходькова Л.П.* Синьозелені водорості - Суанорфута. Загальна характеристика. Хроокожкові - Схроососсорфусеае. Хамесифонові - Схамесіорфусеае. Київ: Наукова думка. 1984. Вип. 1, ч. 1. 388 с.
- Мошкова Н.А., Голлербах М.М.* Зеленые водоросли: класс Улотриковые, порядок Улотриковые. Chlorophyta: Ulotrichophyceae, Ulotrichales // Л.: Наука. 1986. Вып. 10, ч. 1. 360 с.
- Петров М.П.* Иран (физико-географический очерк). М.: ГИГЛ. 1955. 167 с.
- Прошкина-Лавренко А.И.* Диатомовые водоросли - показатели солености воды // Диатомовый сборник. Л.: Изд-во ЛГУ. 1953. С. 186-205.
- Прошкина-Лавренко А.И., Макарова И.В.* Водоросли планктона Каспийского моря. Л.: Наука. 1968. 291 с.
- Толмачев А.И.* Введение в географию растений. Л.: Изд-во ЛГУ. 1974. 243 с.
- Dogadina T.V., Zarei Darki B., Gorbulin O.S.* Algae of Anzali Swamp (Iran) // Int. J. Algae. 2002. Vol. 4, no. 4. P. 81-87.
- Kardavani P.* Iran aqua-ecosystems (Caspian Sea). Tehran. 1995. 352 p.
- Komarek J., Anagnostidis K.* Cyanoprokaryota. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Jena: G. Fischer. 1999. Bd. 2/1. 548 S.
- Krammer K., Lange-Bertalot H.* Bacillariophyceae. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Jena: G. Fischer. 1986. Bd. 2/1. 876 S.
- Krammer K., Lange-Bertalot H.* Bacillariophyceae. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Jena: G. Fischer. 1988. Bd. 2/2. 596 S.
- Krammer K., Lange-Bertalot H.* Bacillariophyceae. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Jena: G. Fischer. 1991. Bd. 2/3. 576 S.
- Mellatparast A.* Influence of permeation of marine water into Anzali swamp. Tehran. 1990. 227 p.
- Zarei Darki B.* Bacillariophyta of water bodies of Iran // Algologia. 2006. Vol. 16, no. 2. P. 246-260.
- Zarei Darki B., Dogadina T.V.* A specific diversity and taxonomic structure of phytoplankton in water bodies of Iran // J. V.N. Karazin's Kharkiv Natl. Univ. Ser. Biol. 2007. Vol. 6, no. 788. P. 29-33.

РОД *CONSTANTINEA* (RHODOPHYTA: GIGARTINALES) В МОРЯХ РОССИЙСКОГО ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

© 2009 г. Н. Г. Ключкова¹, Н. А. Писарева²

¹Камчатский государственный технический университет, Петропавловск-Камчатский 683003;

²Камчатский филиал Тихоокеанского института географии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский 683000

¹e-mail: ninakl@mail.ru

²e-mail: ekologia@mail.iks.ru

Статья принята к печати 20.11.2008 г.

Приведены результаты таксономической ревизии и описания видов рода *Constantinea*, встречающихся в альгофлоре российского Дальнего Востока. Показано, что кроме указывавшихся видов *C. rosa-marina* (Gmel.) Post. et Rupr. и *C. subulifera* Setch. здесь встречается североамериканский вид *C. simplex* Setch. Установлено, что *C. sitchensis* Post. et Rupr., считавшаяся сомнительным видом, хорошо отличается от других представителей *Constantinea* и широко распространена в водах российского Дальнего Востока. Определены продолжительность жизни и сроки размножения константиней в прикамчатских водах. Дан ключ для определения видов, приведены иллюстрации их внешнего и внутреннего строения.

Ключевые слова: красные водоросли, порядок Gigartinales, род *Constantinea*, таксономическая ревизия, биология развития, дальневосточные моря.

The genus *Constantinea* (Rhodophyta: Gigartinales) in the Far-Eastern seas of Russia. N. G. Klochkova¹, N. A. Pisareva² (¹Kamchatka State Technical University, Petropavlovsk-Kamchatski 683003; ²Kamchatka Division of Pacific Institute of Geography, Far East Branch, Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatski 683000)

Results of taxonomic revision and descriptions of *Constantinea* species of the algal flora of the Russian Far East are presented. In addition to the previously recorded species of *Constantinea*, *C. rosa-marina* (Gmel.) Post. et Rupr. and *C. subulifera* Setch., a North American species, *C. simplex* Setch., occurs in this region. *C. sitchensis* Post. et Rupr., which was thought to be a doubtful species, is clearly distinct from the other representatives of *Constantinea* and occurs widely in the Far-Eastern seas of Russia. The lifespan and reproductive period of species of this genus in coastal waters of the Kamchatka Peninsula were determined. A key to the *Constantinea* species and illustrations of their external and internal structure are given. (Biologiya Morya, Vladivostok, 2009, vol. 35, no. 3, pp. 182–190).

Key words: red algae, order Gigartinales, genus *Constantinea*, taxonomic revision, development biology, Far-Eastern seas.

Род *Constantinea* был описан Постельсом и Рупрехтом (1840) в середине XIX в. Типовым видом рода стал *Fucus rosa-marina*, описанный Гмелиным (Gmelin, 1768) по материалам, собранным Г. Стеллером у побережья восточной Камчатки. Кроме *C. rosa-marina* авторы рода отнесли к нему еще два вида: *C. reniformis* Post. et Rupr., встречающийся в Средиземном море, и *C. sitchensis* Post. et Rupr., собранный у Алеутских островов. Позднее Г. Занардини отнес *C. reniformis* к роду *Neurocaulon* (Post. et Rupr.) Zanardini (цит. по: Lindstrom, Scagel, 1987), а вид *C. sitchensis* Сетчелл (Setchell, 1906) в ходе предпринятой им ревизии рода *Constantinea* предложил считать синонимом *C. rosa-marina*. Кроме *C. rosa-marina* он включил в этот род еще два описанных им вида: *C. simplex* (Setchell, 1901) и *C. subulifera* (Setchell, 1906). В основу внутривидовой дифференциации *Constantinea* В.А. Сетчеллом были положены главным образом особенности роста стволика и образования терминальных пластинок. По этим признакам он отделил виды *C. rosa-marina* и *C. simplex* от *C. subulifera*.

Результаты проведенной В.А. Сетчеллом ревизии не были восприняты некоторыми исследователями. Так, Зинова (1940), имевшая возможность ознакомиться

с типовыми образцами *C. sitchensis*, продолжала считать этот вид самостоятельным и указала его для альгофлоры о-ва Беринга. Однако в последней сводке по красным водорослям российского Дальнего Востока (Перестенко, 1994) он уже не упоминался.

Константинси характеризуются достаточно сложной и своеобразной морфологией. Они имеют вальковатый стволик, несущий серии небольших округлых цитовидных пластинок. Новые пластинки появляются на верхушке стволика и боковых ветвей, если таковые имеются, а после разрушения на их месте остаются хорошо заметные рубцы, называемые узлами. По их количеству можно судить о возрасте растений, поскольку в течение вегетационного сезона на стволике и боковых ветвях образуется не более одной пластинки (Lindstrom, 1980).

Виды рода *Constantinea* различаются и по другим морфологическим и анатомическим признакам. Среди них большое значение имеют количество ветвлений на стволике, длина междоузлий, форма зрелых пластинок, а также строение сердцевин и органов размножения, особенно женской репродуктивной системы (Lindstrom, Scagel, 1987). В ходе изучения константиней в американском секторе Пацифики была определена стратегия

их сезонного развития (Abbott, 1968; Lindstrom, 1981) и установлена продолжительность жизни. Оказалось, что *C. rosa-marina* у берегов Северной Америки может вегетировать до 18 лет, *C. simplex* – до 20, а *C. subulifera* – до 12 лет (Lindstrom, Scagel, 1987). Изучение распространения указанных видов (Dawson, 1961; Abbott, 1968; Lindstrom, 1977; Lindstrom, Scagel, 1987; Перестенко, 1994; Klochkova, 1998; Yoshida, 1998, и др.) показало, что у американского побережья встречаются три вида: *C. rosa-marina*, *C. subulifera* и *C. simplex*, а в азиатском секторе Пацифики два: *C. rosa-marina* и *C. subulifera*.

При исследовании флоры Rhodophyta российского Дальнего Востока авторы получили данные, позволяющие пересмотреть объем рода *Constantinea* и уточнить ареалы видов в российской части Дальнего Востока. Эти сведения представлены ниже.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Для проведения таксономической ревизии были использованы материалы, собранные авторами в разные сезоны 2000–2007 гг. у берегов восточной Камчатки, Северных Курильских и Командорских островов. Дополнительно были привлечены образцы видов *Constantinea*, собранные разными исследователями в других районах российского Дальнего Востока: в Татарском проливе, на юге о-ва Сахалин и у Средних и Южных Курильских островов. Биологию развития видов изучали по материалам, собранным, главным образом, в районе Авачинского залива, с привлечением материалов с побережья Командорских островов. Возраст растений определяли по количеству междоузлий. Для изучения внутреннего строения растений использовали микроскопы Olympus BX40 и Olympus CX31. Лишь образцы *Constantinea*, подвергнутые

микроскопическим исследованиям, упомянуты в описаниях видов. Весь исследованный материал хранится в лаборатории альгологии Камчатского филиала Тихоокеанского института географии ДВО РАН.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Ревизия рода *Constantinea* показала, что кроме *C. rosa-marina* и *C. subulifera* у побережья Азии встречается также *C. simplex*. Здесь ее ареал охватывает прибрежные воды юго-восточной Камчатки и Командорских островов. Мы обнаружили, что *C. subulifera* у азиатского побережья встречается не только у о-ва Сахалин, Курильских и Командорских островов (Перестенко, 1994; Klochkova, 1998), но и у северо-восточного побережья Камчатки (зал. Корф).

При изучении курильских образцов *Constantinea* наше внимание привлекли растения, во внешнем облике которых сочетались признаки разных видов (рис. 1). Их совокупность, однако, не соответствовала ни одному из признанных видов. В то же время эти образцы хорошо подходили под описание *C. sitchensis* (см.: Постельс, Рупрехт, 1840). Позднее растения с такими же признаками строения были найдены в камчатских и командорских сборах водорослей. Их всестороннее изучение показало, что они отличаются от остальных видов рода, прежде всего от *C. rosa-marina*, к которой их относил Сетчелл (Setchell, 1906), не только морфологией, но и внутренним строением. На этом основании мы считаем *C. sitchensis* самостоятельным видом. Ниже приводятся ключ для определения видов рода *Constantinea* и их описания.

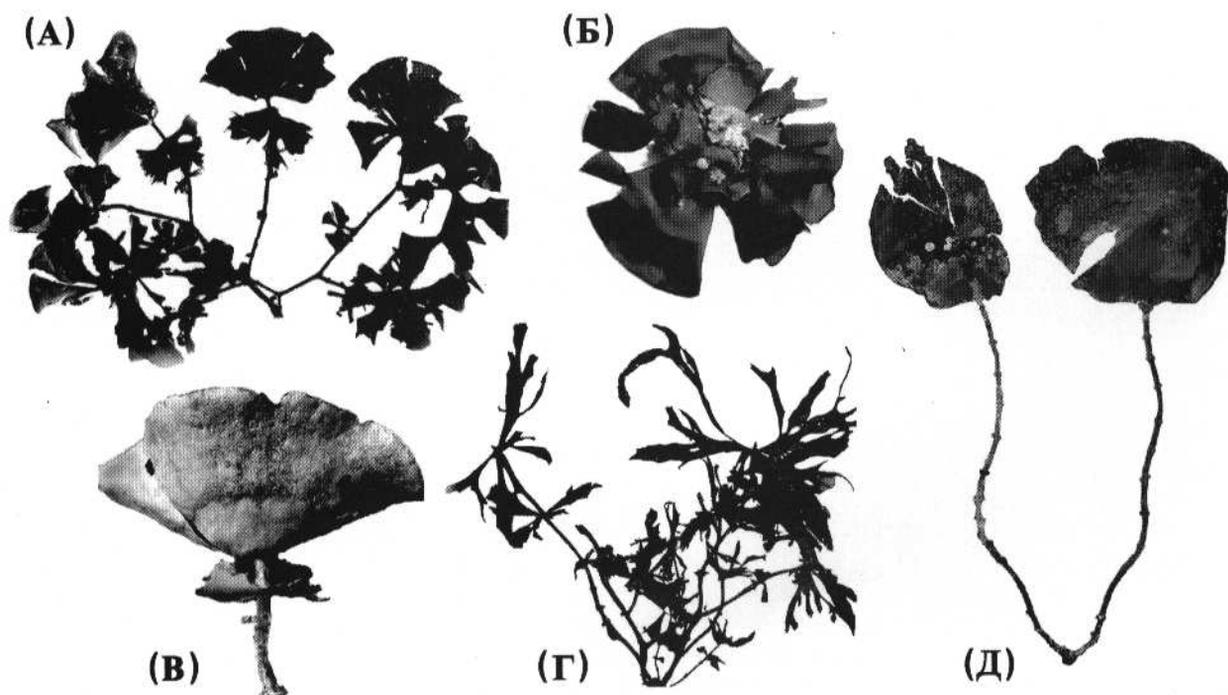


Рис. 1. Внешний вид представителей рода *Constantinea*. А – *C. rosa-marina* (мыс Шипунский, Авачинский залив; масштаб 1 : 4); Б – *C. simplex* (о-в Медный, Командорские острова; масштаб 1 : 1.7); В – *C. sitchensis* (мыс Казак, Авачинский залив; масштаб 1 : 2.5); Г – *C. subulifera* (Охотское море, о-в Сахалин; масштаб 1 : 4); Д – *C. sitchensis* (о-в Кетой, Курильские острова; масштаб 1 : 2.5).

**Ключ для определения дальневосточных видов
рода *Constantinea***

- I. Стволик многократно разветвленный. Узлы несут в разной степени сохранившиеся пластинки, длина междоузлия обычно 0.5 см и более
1. Терминальные пластинки без центрального шипа, рассекаются на широкие клиновидные лопасти. Тетраспорангии 20–50 × 100–164 мкм, собраны в сорусы, покрытые кутикулой *C. rosa-marina*.
 2. Терминальные пластинки с центральным шипом, со временем рассекаются на узкие клиновидные лопасти. Тетраспорангии 16–36 × 92–104 мкм, собраны в сорусы, не покрытые кутикулой *C. subulifera*.
- II. Стволик неразветвленный или однократно разделен у самой подошвы. Узлы голые или с сильно разрушенными остатками пластинок. Междоузлия длинные до 0.5–1 см. Тетраспорангии 24–40 × 84–160 мкм, сближенные; парафизы тонконитевидные, извилистые, с раздутой верхушкой *C. sitchensis*.

III. Стволик всегда неразветвленный. Узлы несут хорошо сохраняющиеся пластинки. Междоузлия очень короткие, 0.1–0.2 см. Тетраспорангии 10–25 × 48–88 мкм, расставленные; парафизы ровные, узкоцилиндрические, с тупой верхушкой *C. simplex*.

Constantinea rosa-marina (Gmel.) Post. et Rupr.
(рис. 1А, 2)

Постельс, Рупрехт, 1840: 17. – *Fucus rosa-marina* Gmelin, 1768: 102.

Типовое местообитание: п-в Камчатка, мыс Лопатка.

Взрослые кустики до 20 см высотой, на подошве, с вальковатым центральным стволиком толщиной 4–5(7) мм и боковыми ветвями одного, редко нескольких порядков. Несколько соседних кустика могут иметь общую лопастную корковидную подошву. Иногда от одного укороченного стволика отходит множество боковых односторонних ветвей. Терминальные щитовидные пластинки часто разрываются на широкие клиновидные лопасти. В зависимости от возраста, сезона и места

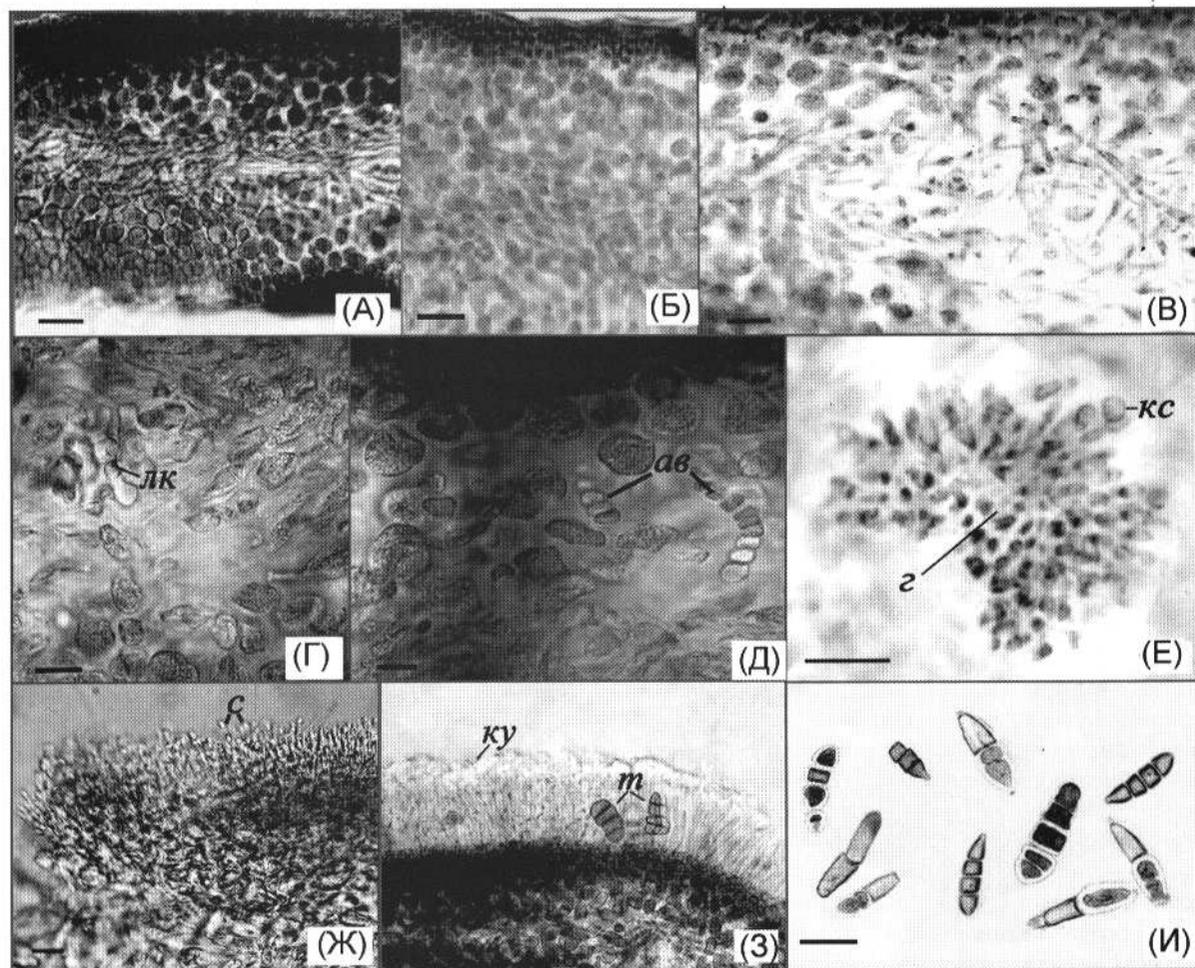


Рис. 2. Внутреннее строение *Constantinea rosa-marina*. А – поперечный срез стерильной пластинки (масштаб 100 мкм); Б – продольный срез стерильной пластинки (масштаб 100 мкм); В – поперечный срез стерильной пластинки (масштаб 100 мкм); Г, Д – поперечные срезы пластинок женских растений (масштаб 30 мкм); Е – гонимобласт с карпоспорами (масштаб 50 мкм); Ж – сперматангии со сперматозоидами (масштаб 60 мкм); З – поперечный срез через сорусы тетраспорангиев (масштаб 100 мкм); И – тетраспорангии (масштаб 150 мкм). Условные обозначения: ав – ауксиллярные ветви, г – гонимобласт, гс – карпоспорангии, ку – кутикулярный слой, лк – лопастная клетка карпогонной ветви, сп – сперматозоиды, т – тетраспорангии.

произрастания растений пластинки имеют диаметр 3–12(16) см, их толщина составляет 260–450 мкм в стерильных участках и 480–580(680) мкм в фертильных. Пластины нижних ярусов из-за обтрепывания краев имеют меньший диаметр и более темный цвет. При их полном разрушении на стволике остается узел. Длина междоузлий варьирует от 0.3 до 1.5 см, обычно она составляет 0.5–0.7 см. У глубоководных растений она больше, чем у образцов, собранных на прибойной литорали. Сердцевина, как правило, состоит из редких продольных отчетливо различимых поперечных нитей, образована вытянутыми пигментированными клетками 20–60(80) × 20–60 мкм. У старых растений сердцевина плотная. Толщина подкорового слоя равна или больше толщины сердцевины. Клетки подкорового слоя округло-многоугольные, пигментированные, 20–24 × 20–28 мкм. Толщина коры до 96 мкм, с перепадами. Нити коры разветвленные или неразветвленные, из 2–4 клеток 5–6 × 8–9 мкм. Тетраспороангии 20–50 × 100–164 мкм, собраны в сорусы, развиваются среди парафиз, длина которых всегда превышает длину тетраспороангиев и составляет 160–220 мкм. Парафизы многоклеточные, иногда состоят из 4–5 вытянуто-прямоугольных пигментированных клеток. Деление краевых тетраспор иногда начинается в тетраспороангии. Тогда вместо четырех он содержит 5 или 6 спор. Расположение тетраспороангиев среди парафиз к моменту их созревания достаточно рыхлое: по 1–11(18) на 1000 мкм длины поперечного среза фертильного участка пластины. Сорусы образуют зеленовато-желтое кольцо на нижней стороне терминальных пластин, они покрыты хорошо развитой волнистой кутикулой желтоватого цвета толщиной до 15 мкм. Карпогонные ветви включают в себя лопастные клетки. Ауксиллярные нити из 7–12 клеток, как и карпогонные ветви, развиваются на границе подкормки и сердцевины. Гонимобласт до 200 мкм, занимает до 1/4 толщины пластины, не раздувая ее; развивается в центральной части сердцевины. Карпоспоры до 16 мкм в диаметре. Спермации до 16 мкм в диаметре, обнаружены у растений, собранных в июне.

Изученные образцы. **Авачинский залив:** мыс Шипунский, 5–7 м, 15.05.1988, Н. Ключкова, 1 ст.* – мыс Казак, 6–7 м, 6.06.2008, Л. Матисевский, 12 ♂. – б. Безымянная, 2 м, 26.06.2001, Н. Ключкова, 1 ст. – б. Спасения, выбросы, 5.07.2004, Н. Ключкова, 1 ст. Авачинская губа, б. Малая Лагерная, литораль, 31.07.2001, Н. Ключкова, 1 тетр.** – Авачинская губа, мыс Маячный, 6 м, 12.09.2007, А. Бажин, 2 тетр. б. Спасения, 3.5 м, 30.10.2007, Н. Санамян, 3 тетр., 1 ст. **Командорские острова:** о-в Медный, б. Гладковская, литораль, 2.07.2004, Н. Писарева, 3 ст., 1 тетр. – о-в Медный, б. Тополевская, 3.07.2004, выбросы, Н. Писарева, 2 ст. – о-в Медный, б. Сенькина, выбросы, 4.07.2004, Н. Писарева, 1 ст. о-в Медный, гавань Пресображенская, литораль, 5.07.2004, Н. Писарева, 1 тетр. о-в Беринга, б. Кислая Капуста, выбросы, 14.08.2004, Н. Писарева, 1 ст. – о-в Беринга, б. Усовая, выбросы, 15.08.2004, Н. Писарева, 1 ♀, 2 тетр., 1 ст. **Курильские острова:** о-в Парамушир, охотоморская сторона, 8 м, В. Огородников, 12.07.1993, 1 ♀. – Южно-Курильский пролив, 159 м, крабовая ловушка, 4.12.1996, В. Огородников, 1 ст.

Здесь и далее: ст.* – стерильное; тетр.** – тетраспоровое растение.

Примечание. *C. rosa-marina* у Камчатки и Командорских островов может вегетировать по крайней мере до 17 лет, по основной массе растений завершает развитие раньше. Ветвление стволика и рассечение терминальных пластинок начинаются, как правило, с первого года жизни. Закладка новых пластин начинается в ранне-осеннее время. После зимнего покоя пластины продолжают расти, что сопровождается вытягиванием верхнего междоузлия. Женская репродуктивная система формируется с мая. Карпоспоры образуются с июля, созревают к осени. Период закладки тетраспороангиев растянутый. Спороношение порционное, продолжается вплоть до льдообразования, возможно, и в зимнее время. В камчатской и командорской популяциях вида доминируют спорофиты. У Камчатки *C. rosa-marina* встречается только в сублиторали, у Командорских островов может выходить на прибойную литораль, где слоевище становится кряжистым, грубым и формирует короткое междоузлия. В разных частях дальневосточного ареала вид имеет разные размеры. У о-ва Сахалин он крупнее, чем у Камчатки и Курильских островов. В последнем районе *C. rosa-marina* растет на большой глубине, имеет длинные междоузлия, более тонкие и мягкие пластинки, чем у Камчатки.

Constantinea subulifera Setch. (рис. 11', 3)

Setchell, 1906: 172.

Типовое местообитание: Северная Америка, штат Вашингтон, о-в Витби.

Кустики до 20 см высотой с вальковатым разветвленным стволиком толщиной 4–5(7) мм. Стволик пронзает щитовидную терминальную пластинку и образует в ее центре шиповидный вырост, размеры которого пропорциональны длине междоузлий. От одной подошвы отходит одно, а иногда несколько слоевищ. Терминальные пластинки 4–16(25) см в поперечнике, толщиной 160–420 мкм в стерильных участках и 350–460 мкм в фертильных, по мере роста разрываются на узкоклиновидные лопасти. Нижние пластинки образуют несколько ярусов, имеют меньший диаметр и более темный цвет. После их разрушения на стволике остается узел. У одного и того же растения длина междоузлий относительно равномерная, варьирует от 0.5 до 2.5 см. Сердцевина зрелых пластинок более или менее развитая, состоит из рыхлых продольных и поперечных нитей, иногда включает густо пигментированные округлые или овальные клетки 20–60(80) × 20–60 мкм. В сердцевине изредка встречаются округлые плазмодлярные клетки до 30 мкм в поперечнике (рис. 3В). Подкоровый слой образован округло-многоугольными клетками 8–16 × 20–28 мкм, его толщина равна или меньше толщины сердцевины. Коровый слой равномерно толстый, до 96 мкм толщиной. Коровые нити разветвленные, из 3–4 клеток. Терминальные клетки коровых нитей вытянутые, 6–8 × 10–15 мкм, субтерминальные почти квадратные, 6–10 × 8–10 мкм. Тетраспороангии 16–36 × 92–104 мкм, собраны в сорусы, развиваются среди тонких, длинных, до 96–110 мкм, про-

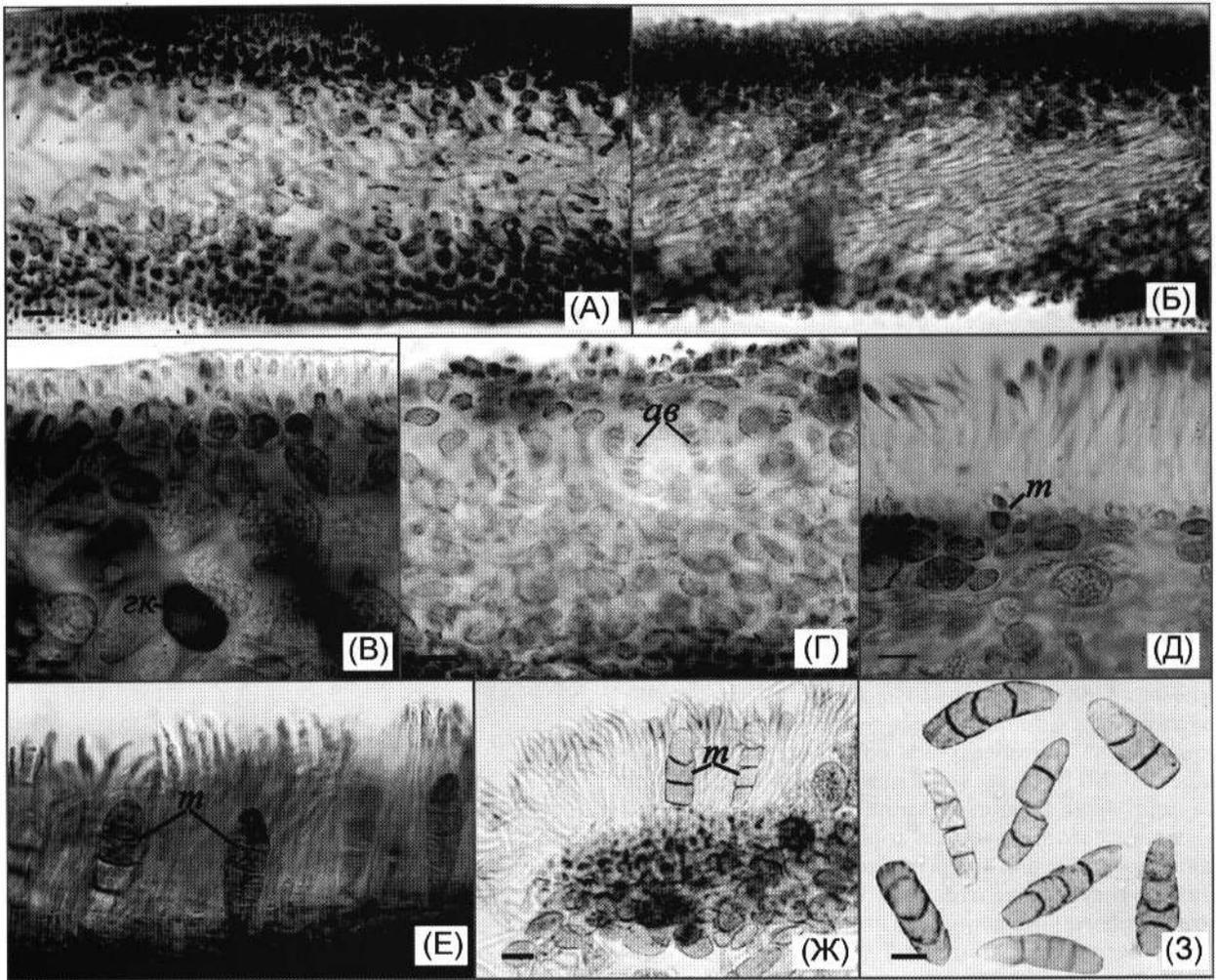


Рис. 3. Внутреннее строение *Constantinea subulifera*. А, Б – поперечные срезы стерильных пластинок (масштаб 30 мкм); В – glandулярная клетка на поперечном срезе пластинки (масштаб 5 мкм); Г – поперечный срез пластинки женского растения (масштаб 5 мкм); Д – поперечный срез, начало формирования тетраспорангия (масштаб 25 мкм); Е, Ж – тетраспорангии, окруженные парафизами (масштаб 20 мкм); З – тетраспорангии (масштаб 25 мкм). Условные обозначения: *ав* – ауксиллярные ветви, *гк* – glandулярная клетка, *т* – тетраспорангии.

зрачных изогнутых парафиз. Их расположение среди парафиз достаточно рыхлое: по 1–7(10) на 1000 мкм длины поперечного среза фертильного участка пластины. Зрелые сорусы без кутикулы, образуют периферическое кольцо на нижней поверхности пластинок, без отчетливой границы. Карпогонные ветви включают лопастные клетки. Ауксиллярные нити мелкоклеточные, содержат не более 12 клеток. Гонимобласты и сперматангии не обнаружены.

Изученные образцы. **Берингово море:** зал. Корфа, выбросы, 16.05.1999, Н. Ключкова, 5 ст. **Авачинский залив:** б. Саранная, выбросы, 21.09.1991, Н. Ключкова, 2 ст., 4 с тетр. **Командорские острова:** о-в Медный, б. Гладковская, выбросы, 1.07.2004, Н. Писарева, 2 ст., 5 тетр. – о-в Беринга, б. Буян, выбросы, 15.08.08, Н. Писарева, 7 тетр., 1 ♀. **Курильские острова:** о-в Парамушир, Второй Курильский пролив, выбросы, 2.08.2000, Т. Королева, А. Кусиди, 1 ♀, 2 тетр. – о-в Итуруп, зал. Дозорный, 1.5 м, 11.08.1973, И. Гусарова, 1 тетр. **Охотское море:** ср. часть о-ва Сахалин, выбросы, 3.08.1993, Н. Ключкова, 2 ♀ и 1 ст. – о-в Сахалин, мыс Дель-Де-ля-Крайер, выбросы, 10.08.1978, Т. Бывалина, 1 ст.

Примечание. У Камчатки и Командорских островов *C. subulifera* высотой не более 12 см, имеет пластинки с коротким шипом. Здесь этот вид легко спутать с *C. rosa-marina*, особенно при формировании у последнего вида новой пластины, когда верхушка прорастающего стволика имитирует шип, а также при разрушении терминальных пластинок у рассеявших спермации мужских растений. Все же на верхушке стволика у *C. rosa-marina* всегда имеется уплощение при образовании зачатка новой или разрушении старой терминальной пластинки, в то время как у *C. subulifera* прорастающий шип долго остается голым. Поперечник пластинок у *C. subulifera* у побережья Камчатки и Командорских островов не превышает 10 см, у Южных Курильских островов он составляет 14–16 см, у о-ва Сахалин достигает 20 см, а у побережья Северной Америки – даже 35–65 см. В южной части ареала высота растений намного больше, до 30 см, шип хорошо выражен и достигает длины 0.5–0.7 см. У побережья Камчатки *C. subulifera* может жить не менее 14 лет. Период

закладки тетраспорангиев у нее растянутый, созревание спор начинается в июле–августе и продолжается до глубокой осени, возможно, зимы. Доминирующим у этого вида является спорофитное поколение.

Constantinea simplex Setch. (рис. 1Б, 4)

Setchell, 1901: 127.

Типовое местообитание: Северная Америка, штат Калифорния, б. Диллон.

Взрослые кустики до 1.8 см высотой с вальковатым неразветвленным стволиком толщиной 3–5 мм. Междоузлия очень короткие, 0.1–0.2 см. От одной подошвы обычно отходит одно, изредка несколько слоевищ. Диаметр терминальных пластинок составляет 1–7(10) см, их толщина в стерильных участках – 320–480 мкм, в фертильных – до 640 мкм. По мере роста пластинки разрываются почти до стволика на несколько

широких клиновидных лопастей; после спороношения и появления новых пластинок они хорошо сохраняются еще в течение ряда лет. Голые узлы встречаются у самых старых образцов лишь у основания стволика. Сердцевина зрелых пластинок хорошо развита, образована продольными нитями, состоящими из прозрачных клеток. Размер самых крупных из них 30 × 36 мкм. Подкоровый слой образован округло-многоугольными клетками с максимальным поперечником 32 мкм. Кора равномерной толщины, до 50 мкм, состоит из 4–7 слоев уменьшающихся клеток, образующих дихотомически разветвленные нити. У нижней поверхности пластины она более светлая и тонкая. Терминальные клетки коровых нитей субквадратные, 8–16 мкм в поперечнике. Тетраспорангии 10–25(28) × 48–88 мкм, располагаются очень редко, по 1–2 на 1000 мкм длины поперечного среза фертильного участка пластины. Они образуются с

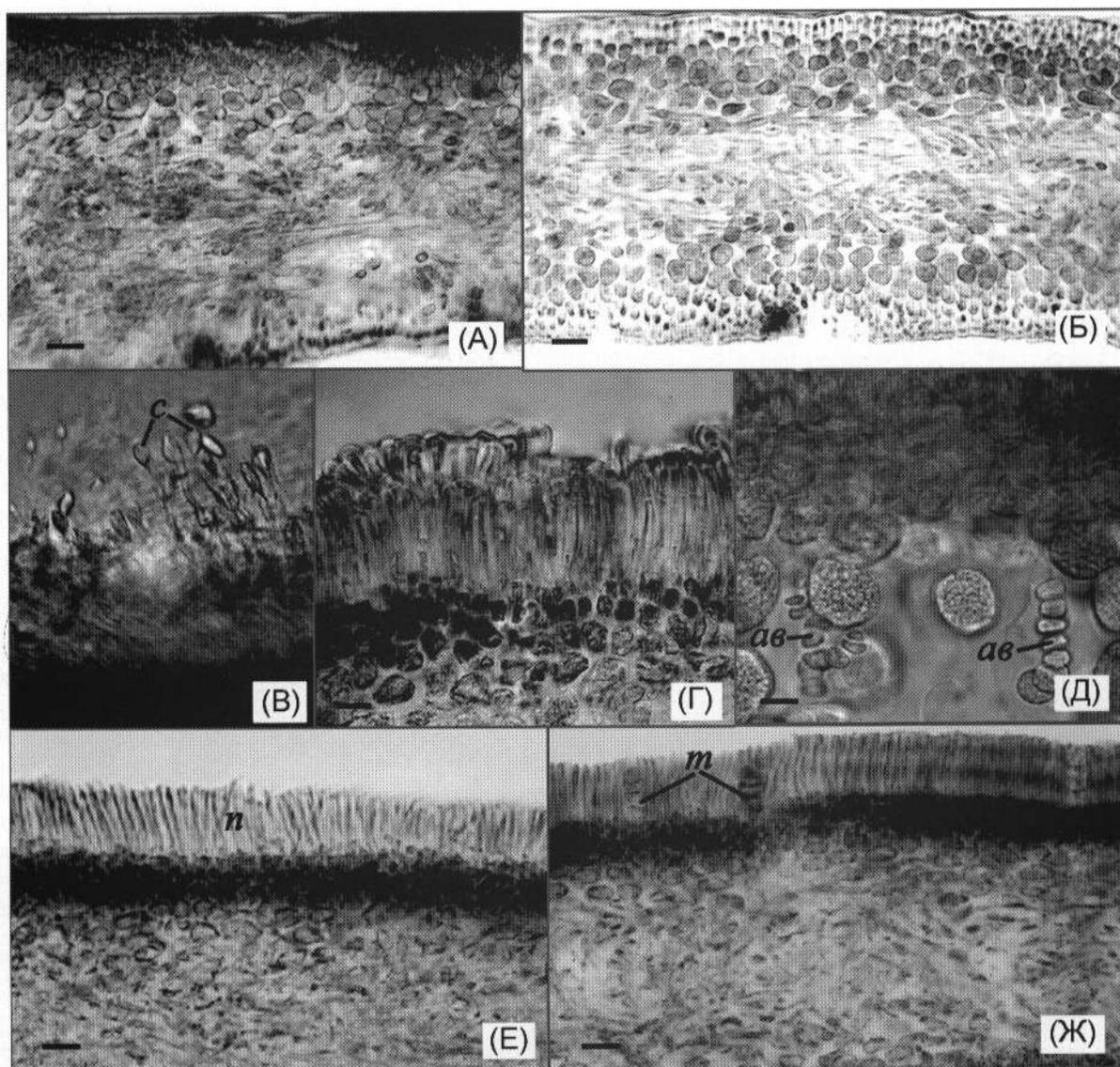


Рис. 4. Внутреннее строение *Constantinea simplex*. А, Б – поперечные срезы стерильных пластинок (масштаб 40 мкм); В – сперматангии со спермациями (масштаб 30 мкм); Г – поперечный срез через сорус сперматангиев (масштаб 25 мкм); Д – фрагмент поперечного среза женского растения (масштаб 20 мкм); Е, Ж – поперечные срезы через сорусы тетраспорангиев (масштаб 50 мкм). Условные обозначения: ав – ауксиллярные ветви, н – парафизарный слой, с – спермации, т – тетраспорангии.

одной, реже – с обеих сторон пластины, окружены обильно развитыми парафизами, имеющими тупую раздутую верхушку. Длина парафиз 84–116 мкм, что на 1/3–1/4 больше, чем у тетраспорангиев. Поверхность зрелых соросов без кутикулы. Ауксиллярные нити из 8–15 крупных клеток. Карпогонные нити и гонимобласты не обнаружены. Сперматангии 12 × 16 мкм, собраны в соросы.

Изученные образцы. **Авачинская губа:** Бабушкин Камень, 5 м, 21.05.2004, Н. Санамян, 2 ♀. – кекуры Три Брата, 3–6 м, 25.07.1990, Н. Клочкова, 1 ♂, 4 ст. **Командорские острова:** о-в Медный, б. Гладковская, литораль, 02.07.2004, Н. Писарева, 1 ст. – о-в Медный, б. Тополевская, 03.07.2004, литораль, Н. Писарева, 1 ♂. – о-в Медный, б. Сенькина, выбросы, 04.07.2004, Н. Писарева, 1 ст., 1 тетр. – о-в Беринга, м Толстый, выбросы, 13.08.2004, Н. Писарева, 2 ст. – о-в Беринга, б. Кислая Капуста, выбросы, 14.08.2004, Н. Писарева, тетр., 1 ♀. – о-в Беринга, б. Усовая, выбросы, 15.08.2004, Н. Писарева, 2 ст.

Примечание. У Командорских островов и особенно у Камчатки данный вид очень редкий, вегетирует по крайней мере до 10 лет. В первом районе он встречается на литорали и в сублиторали, во втором – только в сублиторали. У берегов Северной Америки *C. simplex* живет дольше, имеет большие линейные размеры, черно-красный цвет и кожистую текстуру. Ауксиллярные нити у наших образцов обнаружены в мае, зрелые сперматангии и тетраспоры встречались с

июля. В соросах тетраспорангиев развитие парафизарного слоя идет опережающими темпами, и тетраспоры закладываются после образования парафиз.

Constantinea sitchensis Post. et Rupr. (рис. 1В, Д; 5)

Постельс, Рупрехт, 1840: 17. – *C. rosa-marina* Post. et Rupr., Setchell, 1906: 164 pr. par.

Типовое местообитание: Алеутские острова, о-в Ситха.

Взрослые кустики до 11 см высотой. Стволик вальковатый, толщиной 2–5 мм, с небольшой подошвой, неразветвленный или с одной боковой ветвью, отходящей почти от основания. Длина междоузлий стволика у литоральных образцов составляет 0.3–0.5 см, у сублиторальных – 0.7–1 см. Узлы, сформировавшиеся в течение последнего и предпоследнего годов жизни, сближенные, с остатками прошлогодних пластинок, ниже они вытянутые, голые, более раздутые, чем у остальных видов, до 0.8 см толщиной. Терминальные щитовидные пластинки обычно цельные, округлые. В зависимости от возраста и условий произрастания растительные пластинки имеют диаметр 2–14 см, их толщина составляет 192–450 мкм в стерильных участках, 320–600 мкм – у зрелых образцов и достигает 650 мкм в местах развития соросов тетраспорангиев. Сердцевина у зрелых растений хорошо развита, плотная, сформирована в

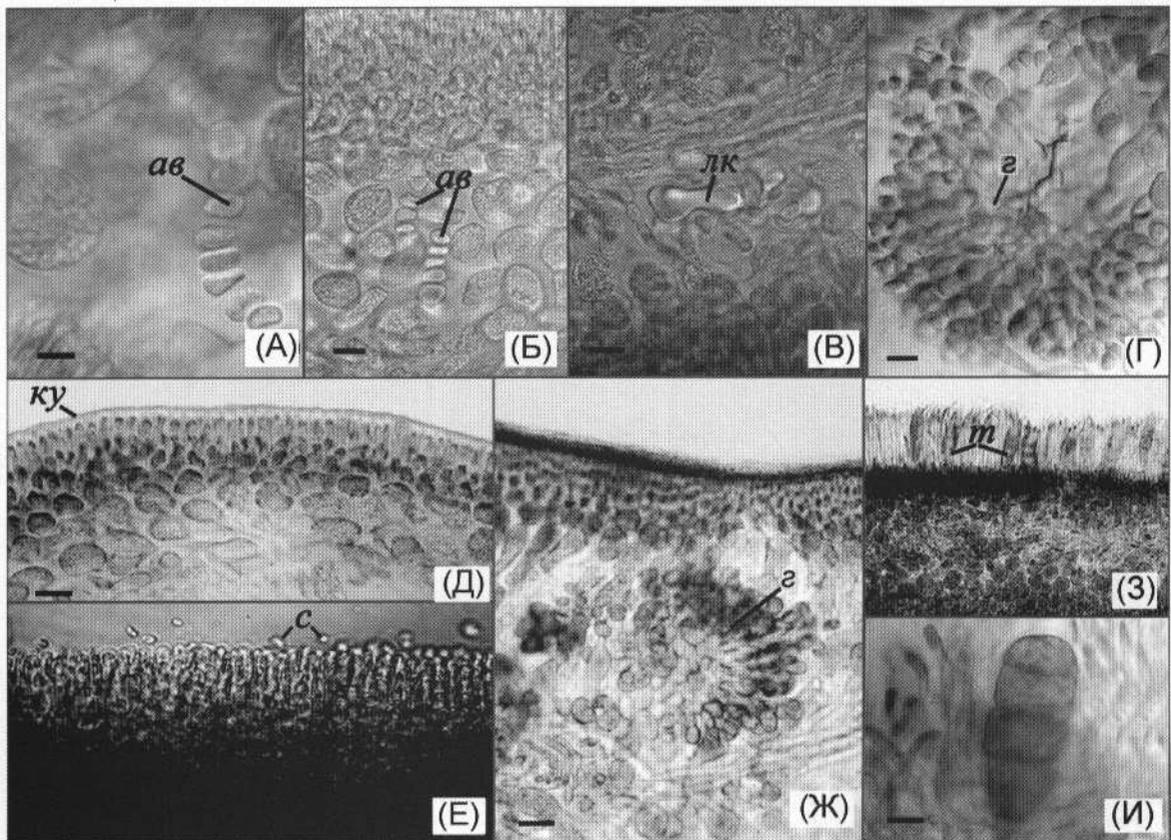


Рис. 5. Внутреннее строение *Constantinea sitchensis*. А, Б, В – поперечные срезы пластинок женских растений (масштаб соответственно 25, 30 и 60 мкм); Г, Ж – гонимобласты (масштаб 30 и 40 мкм); Д – поперечный срез пластинки в вегетативной части (масштаб 40 мкм); Е – сперматангии со сперматозоидами (масштаб 50 мкм); З – тетраспорангии, окруженные парафизами (масштаб 110 мкм); И – тетраспорангий (масштаб 15 мкм). Обозначения, как на рис. 2.

основном пучком продольных нитей. Образующие их клетки тонкие, длинные, игольчатые. Подкорка состоит в стерильных участках из 2–3, в фертильных – из 4–5 слоев выгнутого округло-многоугольных пигментированных клеток 8–12 мкм в поперечнике. Кора разная с обеих сторон пластины: на верхней поверхности она более плотная, образована неразветвленными нитями из 4–5 клеток, на нижней – однорядная. Терминальные клетки коры субквадратные или выгнутые, 3–6 × 8–12 мкм. Тетраспороангии (24)28–40 × (84)112–160 мкм, развиваются во множестве: по 19–26 и более на 1000 мкм длины поперечного среза фертильного участка пластины. Парафизы 160–200 мкм высотой, равны или больше тетраспороангиев, образованы одной, изредка двумя клетками, в нижней части они почти нитевидные и извилистые, в верхней – слабо раздуты и пигментированы. Сорусы спорангиев не покрыты кутикулой, формируются только на нижней поверхности пластинки, образуя широкое кольцо до 1/3 ее радиуса, которое из-за высокой плотности тетраспороангиев имеет темно-красную окраску. Карпогонные ветви с крупными лопастными клетками до 100 мкм в поперечнике. Ауксиллярные нити из 6–12 клеток, развиваются на границе подкорки и сердцевин. Гонимобласт 160–240 мкм, образуется в подкоровом слое, занимает до 1/3 толщины пластины. Незрелые карпоспоры до 24 × 28 мкм. Зрелые сперматидии обнаружены в начале июня, собраны в сорусы, до 20 мкм в диаметре.

Изученные образцы. **Авачинская губа:** мыс Жукова, 7.10 м, 21.05.2004, Н. Сапаян, 1 ст. – мыс Казак, 6–7 м, 6.06.2008, Л. Матиевский, 3 ст. – мыс Казак, 5 м, 12.09.2007, Н. Сапаян, 3 тетр., 4 ст., 6 ст. **Командорские острова:** о-в Медный, б. Тополевская, 3.07.2004, литораль, Н. Писарева, 2 тетр. – о-в Медный, б. Сенькина, выбросы, 4.07.04, Н. Писарева, 1 ст. и 1 тетр. – о-в Беринга, мыс Толстый, выбросы, 13.08.2004, Н. Писарева, 1 ст. – о-в Беринга, б. Кислая Капуста, выбросы, 14.08.2004, Н. Писарева, 2 тетр., 1 ст. – о-в Беринга, б. Усовая, выбросы, 15.08.2004, Н. Писарева, 2 ст. **Курильские острова:** о-в Кетой, 7 м, 3.09.1996, В.С. Огородников, 2 тетр.

Примечание. В дальневосточной части ареала *C. sitchensis* вегетирует не менее 12 лет. У Командорских островов данный вид растет на литорали, в остальных районах – в сублиторали. В Авачинской губе и у Командорских островов пластинки у растений имеют больший диаметр, чем у о-ва Кетой, и более крупные тетраспороангии. Возможно, это связано с большей глубиной обитания и большим возрастом растений. Пластинки даже у многолетних растений данного вида обычно остаются цельными, а однократное ветвление (если оно есть) происходит на первом году жизни. Объ-

ем изученного материала не позволил установить время закладки желских генеративных структур, но в середине сентября карпоспоры у *C. sitchensis* были еще незрелыми. В ее природных популяциях, судя по всему, доминирует бесполое поколение, и тетраспоры в Авачинском заливе начинают высвобождаться в середине сентября, т.е. раньше, чем у *C. rosa-marina*.

ОБСУЖДЕНИЕ

Сравнение приведенных выше описаний видов рода *Constantinea* показывает, что *C. sitchensis* является хорошо отличимым самостоятельным видом. Его трудно спутать с *C. simplex* и *C. subulifera*. Слоевище у представителей этого вида, как и у *C. simplex*, не разветвлено, но имеет гораздо более длинные междоузлия и односторонние сорусы спорангиев. От *C. subulifera* вид отличается отсутствием боковых ветвей и пина на терминальных пластинках. По морфологии *C. sitchensis* наиболее близок к *C. rosa-marina*, особенно когда последний слабо ветвится.

В работе Постельса и Рупрехта (1840, с. 21), где впервые описаны виды рода *Constantinea*, отмечено, что у *C. rosa-marina* «стебель с самого основания ветвистый», а «вершинные пластинки весьма редко остаются круглыми и неразрезанными», в то время как у *C. sitchensis* «стебель двураздельный, от выступающих колец суставчатый, суставы почти вчетверо длиннее диаметра; ветви на вершине носят округлую щитовидную пластинку». Но даже если *C. sitchensis* однократно ветвится, она хорошо отличается от *C. rosa-marina* наличием стволика с голыми раздутыми узлами. Пластинки у этого вида и в зрелом состоянии цельные или слабо рассеченные, красная фертильная кайма у бесполовых растений широкая, темно-красного цвета, тогда как у *C. rosa-marina* она более узкая и желтоватая. Если у последнего вида удлинение верхнего междоузлия осуществляется одновременно с образованием новой пластинки (Lindstrom, 1980), то у *C. sitchensis*, судя по нашим наблюдениям, верхнее и следующие за ним 1–2 междоузлия еще долго остаются укороченными и удлиняются только в последующие годы.

Сравниваемые виды имеют разное внутреннее строение (см. таблицу). В систематике красных водорослей строение парафиз, соотношение толщины внутренних слоев, местоположение органов размножения и другие указанные в описаниях к видам признаки имеют большое таксономическое значение. Они, как видно из таблицы, разные у сравниваемых видов. Это дает дополнительное основание рассматривать *C. sitchensis* как хорошо очерченный самостоятельный вид.

Различия во внутреннем строении *Constantinea rosa-marina* и *C. sitchensis*

Вид	Кора с нижней стороны пластины	Поперечные нити сердцевин	Парафизы состоят	Кутикула у сорусов зрелых тетраспороангиев	Положение гонимобластов
<i>C. rosa-marina</i>	Из 3–4 слоев	Хорошо развиты	Из четырех–пяти клеток	Хорошо развита	В сердцевине
<i>C. sitchensis</i>	Из 1–2 слоев	Скудные	Из одной, редко двух клеток	Отсутствует	В подкоровом слое

Авторы использовали материалы, переданные им на обработку к.б.н. В.С. Огородниковым (СахНИРО) и н.с. Н.П. Санамян (КФ ТИГ ДВО РАН); д.б.н. Л.П. Перестенко (БИН РАН им. В.Л. Комарова) предоставила возможность изучить образцы *Constantinea* из гербария БИН. Всем им мы выражаем свою признательность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Зинова Е.С.* Морские водоросли Командорских островов // Тр. Тихоокеан. комитета. 1940. Т. 5. С. 165–243.
- Перестенко Л.Н.* Красные водоросли дальневосточных морей России. СПб.: Ольга. 1994. 331 с.
- Ностельс А., Рупрехт Ф.* Изображения и описания морских растений, собранных в северном Тихом океане у берегов российских владений в Азии и Америке. СПб. 1840. 22 с.
- Abbott I.A.* Studies in some foliose red algae of the Pacific coast. III. Dumontiaceae, Weeksiaceae, Kallymeniaceae // J. Phycol. 1968. No. 4. P. 180–198.
- Dawson E.Y.* A guide to the literature and distributions of Pacific benthic algae from Alaska to the Galapagos Islands // Pacif. Sci. 1961. Vol. 15. P. 370–461.
- Gmelin S.G.* Historia fucorum. Petropoli; Academia Scientiarum. 1768. 239 p.
- Klochkova N.G.* An annotated bibliography of marine macroalgae of the northwest coast of the Bering Sea and southeast Kamchatka: the first revision of flora // Algae. 1998. Vol. 13, no. 4. P. 375–418.
- Lindstrom S.C.* An annotated bibliography of the benthic marine algae of Alaska. Alaska Department of Fish and Game. 1977. 172 p.
- Lindstrom S.C.* New blade initiation in the perennial red alga *Constantinea rosa-marina* (Gmelin) Postels et Ruprecht (Cryptonemiales, Dumontiaceae) // Jap. J. Phycol. 1980. Vol. 28. P. 141–150.
- Lindstrom S.C.* Female reproductive structures and strategy in a red alga, *Constantinea rosa-marina* (Gmelin) Postels et Ruprecht (Dumontiaceae, Cryptonemiales) // Jap. J. Phycol. 1981. Vol. 29. P. 251–257.
- Lindstrom S.C., Scagel R.F.* The marine algae of British Columbia, northern Washington, and southeast Alaska: division Rhodophyta (red algae), class Rhodophyceae, order Gigartinales, family Dumontiaceae, with an introduction to the order Gigartinales // Can. J. Bot. 1987. Vol. 65, no. 11. P. 2202–2232.
- Setchell W.A.* Notes on algae. I // Zoe. Vol. 5. 1901. P. 121–129.
- Setchell W.A.* A revision of the genus *Constantinea* // Nuova Notarisia. 1906. Vol. 17. P. 162–173.
- Yoshida T.* Marine algae of Japan. Tokyo: Uchida Rokakuho Publishing. 1998. 1222 p.

**ОЦЕНКА ВЫЕДАНИЯ МОРСКОГО ЕЖА
STRONGYLOCENTROTUS DROEBACHIENSIS (ECHINOIDEA:
ECHINOIDA) КАМЧАТКИМ КРАБОМ *PARALITHODES
CAMTSCHATICUS* (MALACOSTRACA: DECAPODA)
В ПРИБРЕЖЬЕ БАРЕНЦЕВА МОРЯ**

© 2009 г. Л. В. Павлова

*Мурманский морской биологический институт КНИЦ РАН, Мурманск 183010
e-mail: sea1234@mail.ru*

Статья принята к печати 20.11.2008 г.

Предложен метод оценки выедания морского ежа *Strongylocentrotus droebachiensis* (O.F. Müller, 1776) камчатским крабом *Paralithodes camtschaticus* (Tilesius, 1815) на основе реконструкции размеров, численности и биомассы съеденных морских ежей по фрагментам жевательного аппарата и панциря из пищеварительного тракта крабов. Установлено, что в прибрежье Баренцева моря (Кольский залив, губа Дальнезеленецкая) половозрелые и неполовозрелые крабы питались преимущественно молодью *S. droebachiensis*. Наиболее часто морских ежей потребляли половозрелые самки *P. camtschaticus*. Масса морских ежей, съеденных в течение суток одним половозрелым крабом, в среднем составляла 0.2–8.0% от массы его тела, а неполовозрелым – 3.0–28.0%. Ущерб, нанесенный популяции *S. droebachiensis* вследствие трофической активности камчатского краба, ориентировочно не превышал 10% от биомассы морских ежей в губе Дальнезеленецкая и составлял более 30% в Кольском заливе.

Ключевые слова: *Strongylocentrotus droebachiensis*, *Paralithodes camtschaticus*, реконструкция, выедание.

Estimation of foraging on the sea urchin *Strongylocentrotus droebachiensis* (Echinoidea: Echinoidea) by the red king crab *Paralithodes camtschaticus* (Malacostraca: Decapoda) in coastal waters of the Barents Sea. L. V. Pavlova (Murmansk Marine Biological Institute, Kola Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Murmansk 183010)

A new method for the estimation of foraging on the sea urchin *Strongylocentrotus droebachiensis* (O.F. Müller, 1776) by the red king crab *Paralithodes camtschaticus* (Tilesius, 1815) is proposed. This method uses the reconstruction of the size, number, and biomass of eaten sea urchins, based on fragments of their teeth and tests from the crab's digestive tract. Data obtained by this method suggest that in shallow waters of the Barents Sea (Kola Bay, Dalnezelenetskaya Inlet) adult, most often, female and immature crabs predominantly consume juvenile sea urchins. The weight of sea urchins daily eaten by one adult red king crab was 0.2–8.0% of its body weight for sexually mature crabs and 3.0–28.0% for immature specimens. Damage inflicted to the *S. droebachiensis* population as a result of the crab's feeding activity was estimated to be at least 10% of the sea urchin biomass in Dalnezelenetskaya Inlet and at least 30% in Kola Bay. (Biologiya Morya, Vladivostok, 2009, vol. 35, no. 3, pp. 191–198).

Key words: *Strongylocentrotus droebachiensis*, *Paralithodes camtschaticus*, reconstruction, foraging.

Преднамеренная интродукция в 60-х гг. XX в. в Баренцево море камчатского краба *Paralithodes camtschaticus* (Tilesius, 1815) завершилась включением в состав баренцевоморских экосистем массового и крупного бентофага. В настоящее время вопрос об экологических последствиях вселения краба в новый для него регион приобрел особую актуальность, поскольку потенциально камчатский краб способен негативно воздействовать на поселения зообентосных организмов, меняя структуру популяции или снижая их численность, а также вступая в конкурентные отношения с местными видами животных.

Для оценки степени воздействия вселенца на бентос необходимо знать, в каком количестве им изымаются из экосистемы (потребляются и повреждаются) кормовые донные беспозвоночные. Подобная информация крайне ограничена, в отличие от сведений о рационе (количестве пищи, поступившей в пищеварительную систему) камчатского краба, который достаточно полно

изучен как в естественных, так и в экспериментальных условиях (Логвинович, 1945; Takachi, 1959; Гарвердиева, 1978; Надточий и др., 1998; Zhou et al., 1998, и др.). Проблеме выедания камчатским крабом бентоса и оценке наносимого им ущерба стали уделять внимание только в последнее время и преимущественно в баренцевоморском регионе из-за необходимости определения экологических последствий его вселения. Получены первые экспериментальные данные по объему элиминации камчатским крабом живого корма (Jørgensen, 2005; Jørgensen, Primicerio, 2007; Павлова, 2007; Павлова и др., 2007). Расчеты выедания камчатским крабом бентоса или отдельных видов в естественных условиях пока единичны и приблизительны (Гудимов и др., 2003; Манушин, 2003).

Имеющиеся сведения позволяют предположить, что в природе камчатский краб уничтожает бентосных организмов намного больше, чем потребляет, так как в процессе питания он редко съедает жертву полностью и

теряет часть биомассы кормовых объектов (Гудимов и др., 2003). Поэтому рацион камчатского краба, рассчитанный по массе пищевого комка и не учитывающий потери корма, не соответствует массе фактически изъятых из среды кормовых животных (выеданию). Чтобы точно оценить степень воздействия крабов на бентос, необходимо по сохранившимся в пищеварительном тракте фрагментам жертв проводить реконструкцию количества, размера и массы животных, послуживших кормом. До настоящего времени такая методика для камчатского краба, сильно измельчающего компоненты питания, не была разработана.

Цель данного исследования – разработка метода реконструкции численности и биомассы морского ежа *Strongylocentrotus droebachiensis* (O.F. Müller, 1776) по пищевым комкам камчатского краба, а также предварительная оценка объема выедания морских ежей камчатским крабом в прибрежной зоне Баренцева моря.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Исследования проводили в двух районах прибрежной зоны Кольского полуострова: в Кольском заливе и губе Дальнезеленцкая (Баренцево море). В Кольском заливе камчатские крабы и морские ежи были собраны в 2000–2006 гг. с глубины до 30 м в ходе сезонных исследований Мурманского морского биологического института (ММБИ) КНЦ РАН при участии водолазов Российского государственного гидрометеорологического университета (РГГМУ, Санкт-Петербург). В губе Дальнезеленцкая материал был собран в 2002–2004 гг. с глубины до 35 м во время летних береговых экспедиций ММБИ совместно с Институтом проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова (ИПЭЭ) РАН.

При анализе питания краба *Paralithodes camtschaticus* определяли частоту встречаемости морского ежа *Strongylocentrotus droebachiensis* в пищевых комках как процент крабов, в пищеварительных трактах которых найдены остатки морских ежей; проводили реконструкцию исходных размеров и количества съеденных морских ежей по элементам жевательного аппарата – обломкам зубов или их отпечаткам на пирамидках, если зубы в пищевом комке крабов отсутствовали. Диаметр панциря (d) и массу тела (m) съеденных морских ежей рассчитывали по ширине жевательной части зубов (w) с использованием уравнений, полученных в результате измерения и взвешивания 300 особей диаметром от 1.2 до 91.0 мм:

$$d = 29.121w^{1.1852} \quad (R^2 = 0.965);$$

$$m = 9.9896w^{3.4576} \quad (R^2 = 0.968).$$

Ширину жевательной части зубов измеряли с помощью окуляр-микрометра с точностью до 0.01 мм.

Так как все зубы у каждого морского ежа имеют одинаковые размер и цвет, количество съеденных отдельным крабом морских ежей было определено по фрагментам зубов с разной шириной и разного цвета. Зубы с одинаковой шириной, но отличающиеся по цвету, считали принадлежащими двум разным особям *S. droebachiensis* сходного размера. При наличии в пищевом комке более пяти зубов с одинаковыми шириной и цветом считали, что краб съел двух морских ежей одного размера.

При отсутствии в пищевых комках крабов элементов жевательного аппарата морских ежей реконструкцию проводили менее точным способом по фрагментам панциря. Так как толщина панциря у морских ежей на разных участках неодинакова, были определены границы ее варьирования у одной особи для 7 размерных групп *S. droebachiensis* (табл. 1). Для определения диапазона варьирования толщины фрагментов панциря морских ежей в пищевых комках крабов измеряли скелетные пластинки разной толщины. Затем ориентировочно определяли размерную группу, к которой принадлежала съеденная особь, и ее биомассу. Если фрагменты панциря по толщине различались более чем в 3 раза, считали, что они принадлежат двум разным особям.

Индивидуальный объем суточного выедания (f) морских ежей определяли по модифицированной формуле Байкова (Baikov, 1935):

$$f = \frac{24m}{t},$$

где m – реконструированная сырая масса морских ежей, г; t – длительность прохождения пищи по пищеварительному тракту краба, ч. Было принято, что у взрослых особей камчатского краба пища эвакуируется из пищеварительного тракта примерно через 24 ч (Логвинович, 1945; Левин, 2001). По нашим данным, у молодых крабов с шириной карапакса 20–30 мм содержимое желудочно-кишечного тракта полностью заменяется новой порцией примерно через 4 ч, у особей с шириной карапакса 40–60 мм – за 6–8 ч, а у крабов с шириной карапакса 70–90 мм – за 10–12 ч.

Годовое выедание морских ежей (F) камчатским крабом на исследуемой акватории рассчитывали отдельно для неполовозрелых особей, половозрелых самок и самцов (табл. 2) по формуле:

$$F = \frac{f_0NT}{100},$$

где f – средний индивидуальный объем суточного выедания морских ежей, г сырой массы; v – частота встречаемости морских ежей в питании данной категории краба, %; N – числен-

Таблица 1. Пределы варьирования толщины панциря у особей *Strongylocentrotus droebachiensis* разных размерных групп

Диаметр панциря, мм	Средняя масса тела*, г	Объем выборки, экз.	Пределы варьирования толщины панциря, мм	Средняя толщина панциря*, мм
10–19	2.0±1.0	28	0.15–0.40	0.30±0.05
20–29	7.0±2.0	35	0.30–0.60	0.45±0.10
30–39	17.0±4.0	39	0.40–0.80	0.60±0.10
40–49	33.0±7.0	37	0.40–1.00	0.70±0.10
50–59	62.0±11.0	35	0.50–1.10	0.80±0.14
60–69	88.0±18.0	35	0.70–1.30	1.00±0.12
70–79	126.0±23.0	35	0.75–1.50	1.10±0.20

*Средние значения приведены со стандартным отклонением.

Таблица 2. Размерно-весовые характеристики *Paralithodes camtschaticus* из двух районов исследования

Показатель	Половозрелые самки		Половозрелые самцы		Неполовозрелые крабы	
	Д	К	Д	К	Д	К
Ширина карапакса, мм	120–175	122–178	131–182	107–186	12–91	16–115
Масса, г	1120–2580	990–2690	1720–3890	850–2850	2–460	3–930
Исследовано крабов	105	16	25	13	193	253

Примечание. Д – губа Дальнезеленецкая, К – Кольский залив.

ность крабов конкретной категории в районе исследования, экз.; Т – ориентировочное количество дней в году, в течение которых крабы питаются. Теоретически было принято, что для молоди камчатского краба, за вычетом дней, потраченных на линьку, Т = 340 дней, а для взрослых, проводящих в непосредственной близости от берега около 5 мес., Т = 150 дней.

Годовое выедание морского ежа *S. droebachiensis* в исследованных районах рассчитывали, исходя из имеющихся сведений о численности камчатского краба и запасах морского ежа. Так, в губе Дальнезеленецкая в 2003–2004 гг. запас *S. droebachiensis* составлял не менее 180 т, численность взрослых самок *P. camtschaticus* была оценена в 1750–4830 экз., а молоди этого вида с шириной карапакса более 40 мм – в 1100–2600 экз. (Бритаев и др., 2007). В Кольском заливе на исследуемой акватории численность взрослых самцов и самок камчатского краба в 2003 г. определена, соответственно, в 3400 и 7600 экз. (Соколов, Милютин, 2006а), а численность молоди в 2006 г. – в 80 тыс. экз. (наши данные). Минимальный запас морского ежа на данной акватории в 2006 г. ориентировочно составлял около 300 т (наши данные). Предположительно, в 2003 г. он был не меньше показателя 2006 г.

Зависимость количественных и размерно-весовых параметров морских ежей от размера съевших их крабов оценивали с помощью корреляционного анализа. Зависимость этих параметров от глубины, с которой собран материал, не рассматривали, так как камчатский краб – подвижный бентофаг, способный быстро перемещаться в узком диапазоне глубин (5–20 м). Далее в качестве показателя варьирования количественных признаков указаны ошибки среднего.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Частота встречаемости *Strongylocentrotus droebachiensis* в пищевых комках крабов всех рассмотренных групп варьировала по годам (рис. 1). Морские ежи были постоянным компонентом рациона только половозрелых самок *Paralithodes camtschaticus*. У половозрелых самцов и неполовозрелых особей краба характер встречаемости морских ежей в рационе оказался неустойчивым. В целом, молодь камчатского краба значительно реже поедала морских ежей, чем взрослые особи. В Кольском заливе неполовозрелые крабы исполь-

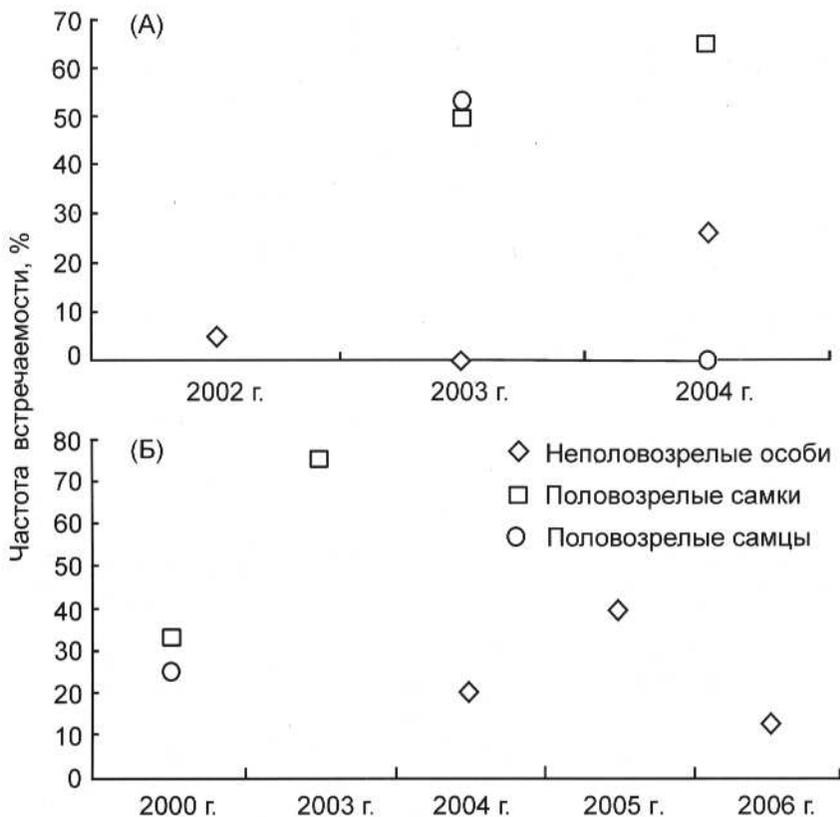


Рис. 1. Частота встречаемости морского ежа *Strongylocentrotus droebachiensis* в рационе камчатского краба. А – губа Дальнезеленецкая, Б – Кольский залив.

зовали морских ежей для питания чаще, чем в губе Дальнезеленецкая, при этом наиболее активно (с частотой встречаемости 25–55%) потребляли морских ежей крабы с шириной карапакса более 60–70 мм.

В обоих районах исследования *S. droebachiensis* в рационе взрослых крабов по частоте встречаемости уступал двустворчатым (частота встречаемости 50–90%) и брюхоногим моллюскам (40–75%), а также морским звездам (40–100%). Молодь камчатского краба повсеместно с большей частотой потребляла двустворчатых (50–85%) и брюхоногих моллюсков (45–90%), полихет (10–70%), ракообразных (10–40%), а также офиур (40–60%) в губе Дальнезеленецкая и морских звезд (25–60%) в Кольском заливе.

Как взрослые, так и молодые крабы в течение суток в среднем съедали не менее 1–3 морских ежей. Наибольшее количество морских ежей (до 9 экз.) было отмечено в пищеварительном тракте половозрелых самок *P. camtschaticus* (табл. 3). Количество съеденных морских ежей не зависело от размеров краба.

Половозрелые и неполовозрелые камчатские крабы преимущественно потребляли мелких морских ежей (рис. 2, 3). В губе Дальнезеленецкая доля морских ежей промыслового размера (диаметр панциря более 45 мм) в рационе самок камчатского краба составляла всего 3–11%, а в Кольском заливе – 20–25%. У половозрелых самцов доля морских ежей промыслового размера в рационе была немного больше и достигала 20–35% (рис. 2, 3). В губе Дальнезеленецкая неполовозрелые крабы питались исключительно молодью *S. droebachiensis* (рис. 2В). Молодь краба из Кольского залива потребляла и мелких, и достаточно крупных морских ежей промыслового размера, доля которых в рационе составляла 10–40% (рис. 3В). Зависимости размерного состава потребляемых морских ежей от размеров половозрелых и неполовозрелых крабов не выявлено.

Значительные вариации индивидуального суточного объема выедания морских ежей выявлены у всех размерных групп половозрелых и неполовозрелых крабов, т.е. данный показатель не зависел от размера особей. В целом, по массе взрослые самки краба, питаются преимущественно мелкими особями, в течение суток

уничтожали морских ежей меньше, чем взрослые самцы (табл. 3). Суточное выедание морских ежей самками *P. camtschaticus* в губе Дальнезеленецкая в среднем составляло 26 г, т.е. $2.0 \pm 0.4\%$ от массы тела самок и практически не различалось по годам. В Кольском заливе оно варьировало от $2.0 \pm 1.0\%$ (25 г) в 2000 г. до $0.2 \pm 0.1\%$ (4 г) в 2003 г. Половозрелые самцы камчатского краба в губе Дальнезеленецкая за сутки уничтожали морских ежей массой около $2.0 \pm 0.6\%$ от собственной массы тела (или 54 г), а в Кольском заливе – $8.0 \pm 3.0\%$ (60 г).

Молодь *P. camtschaticus* в губе Дальнезеленецкая в течение суток в среднем поедала морских ежей массой $10 \pm 7\%$ от массы тела краба (6 г), причем в разные периоды исследования объем суточного выедания варьировал от $3.1 \pm 3.0\%$ (5 г в 2000 г.) до $16.0 \pm 13.0\%$ (6 г в 2004 г.). В Кольском заливе неполовозрелые особи краба относительно своей массы в среднем за сутки съедали большее количество морских ежей – $18 \pm 4\%$ (50 г). В период исследования объем выедания у неполовозрелых особей варьировал от $9 \pm 5\%$ от массы тела краба (16 г) до $28 \pm 7\%$ (75 г).

Изъятие морских ежей из природы одним половозрелым крабом за время пребывания на прибрежных мелководьях может превысить массу самого краба в 2–7 раз, а неполовозрелым крабом – в 10–30 раз. Суммарное годовое выедание *S. droebachiensis* камчатским крабом в губе Дальнезеленецкая, по-видимому, не превышает 10% от биомассы морского ежа. Так, взрослые самки *P. camtschaticus* за весенне-летний период 2003 г., вероятно, могли уничтожить не более 3%, а в 2004 г. – не более 5% от биомассы морских ежей. Неполовозрелые крабы за год ориентировочно выедали менее 1% от биомассы морских ежей. В Кольском заливе выедание морских ежей взрослыми крабами в 2003 г. ориентировочно составило не более 6%, а молодью в 2006 г. – около 30% от биомассы *S. droebachiensis*.

ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты проведенного исследования свидетельствуют о том, что взрослые особи *Paralithodes*

Таблица 3. Количество и масса съеденных за сутки морских ежей *Strongylocentrotus droebachiensis*, реконструированные по содержанию пищевых комков особей камчатского краба, принадлежащих к разным возрастным группам, из двух районов исследования

Показатель	Половозрелые самки		Половозрелые самцы		Неполовозрелые крабы	
	Д	К	Д	К	Д	К
Количество морских ежей, экз.:						
min	1	1	1	1	1	1
max	9	2	4	4	3	3
среднее	2.6	1.6	1.7	2.5	1.3	1.4
Биомасса морских ежей, г:						
min	0.30	0.50	11.00	7.00	0.01	0.04
max	178.6	5.5	143.0	120.1	4.6	170.0
среднее	26.0	11.0	54.0	53.0	1.0	23.0

Примечание. Д – губа Дальнезеленецкая, К – Кольский залив.

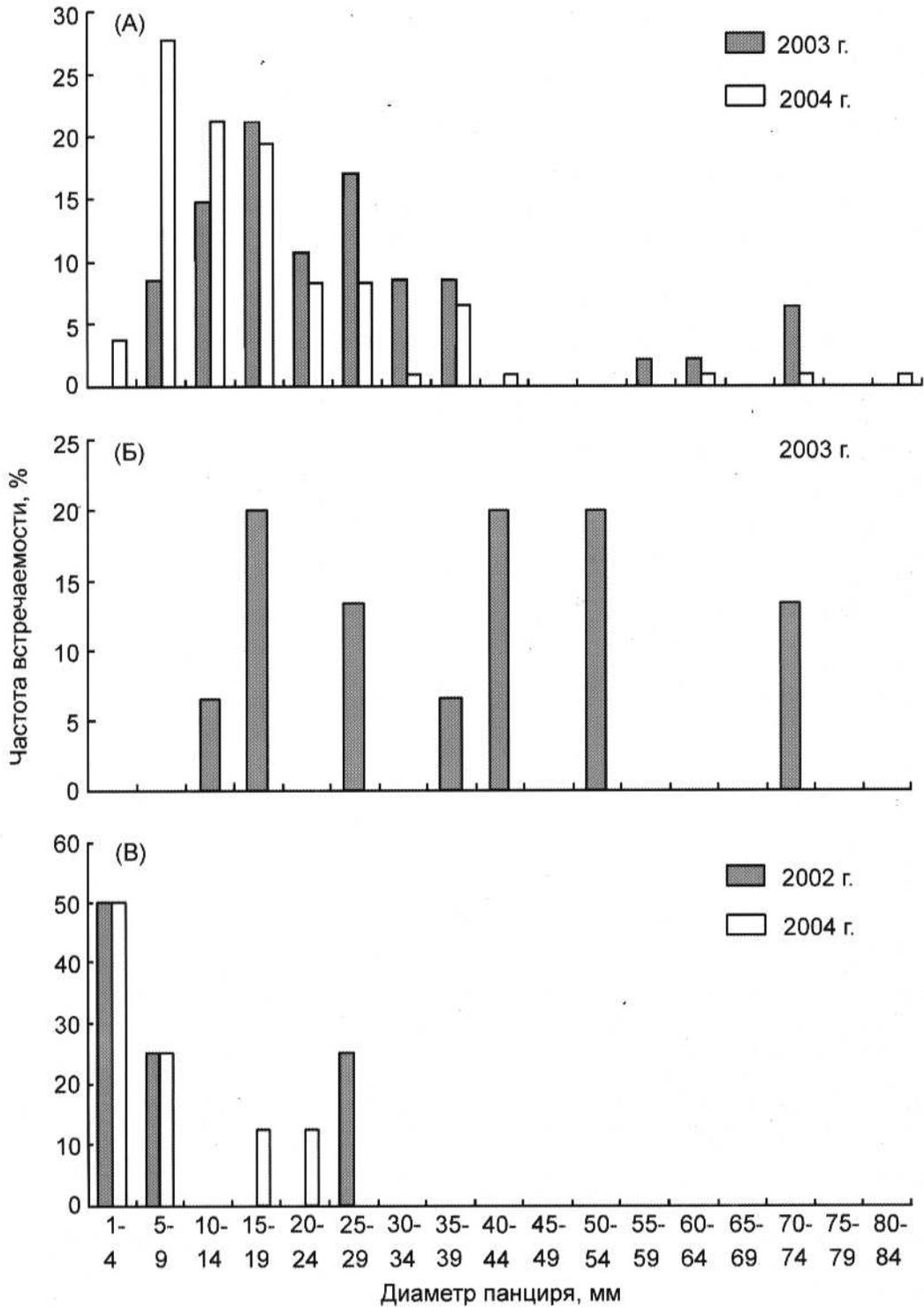


Рис. 2. Размерный состав морского ежа *Strongylocentrotus droebachiensis* из пищевых комков камчатского краба в губе Дальнеземецкая. А – половозрелые самки, Б – половозрелые самцы, В – неполовозрелые крабы.

camtschaticus в прибрежье Баренцева моря питаются морскими ежами чаще, а каждый краб потребляет большее количество морских ежей, чем считалось ранее (Гудимов и др., 2003). Особенно важную роль морские ежи играют в питании взрослых самок камчатского краба. В других районах Мурманского побережья доля *Strongylocentrotus droebachiensis* в рационе половозрелых крабов имеет сходные значения (Сенников,

Шацкий, 2002). Значительную вариабельность частоты потребления морских ежей самцами камчатского краба можно объяснить малым объемом выборки этой возрастной группы, обусловленным особенностями миграций. В среднем, морские ежи потребляются половозрелыми самками краба в обоих районах исследования со сходной частотой, несмотря на то, что поселения *S. droebachiensis* в Кольском заливе не так обильны, как

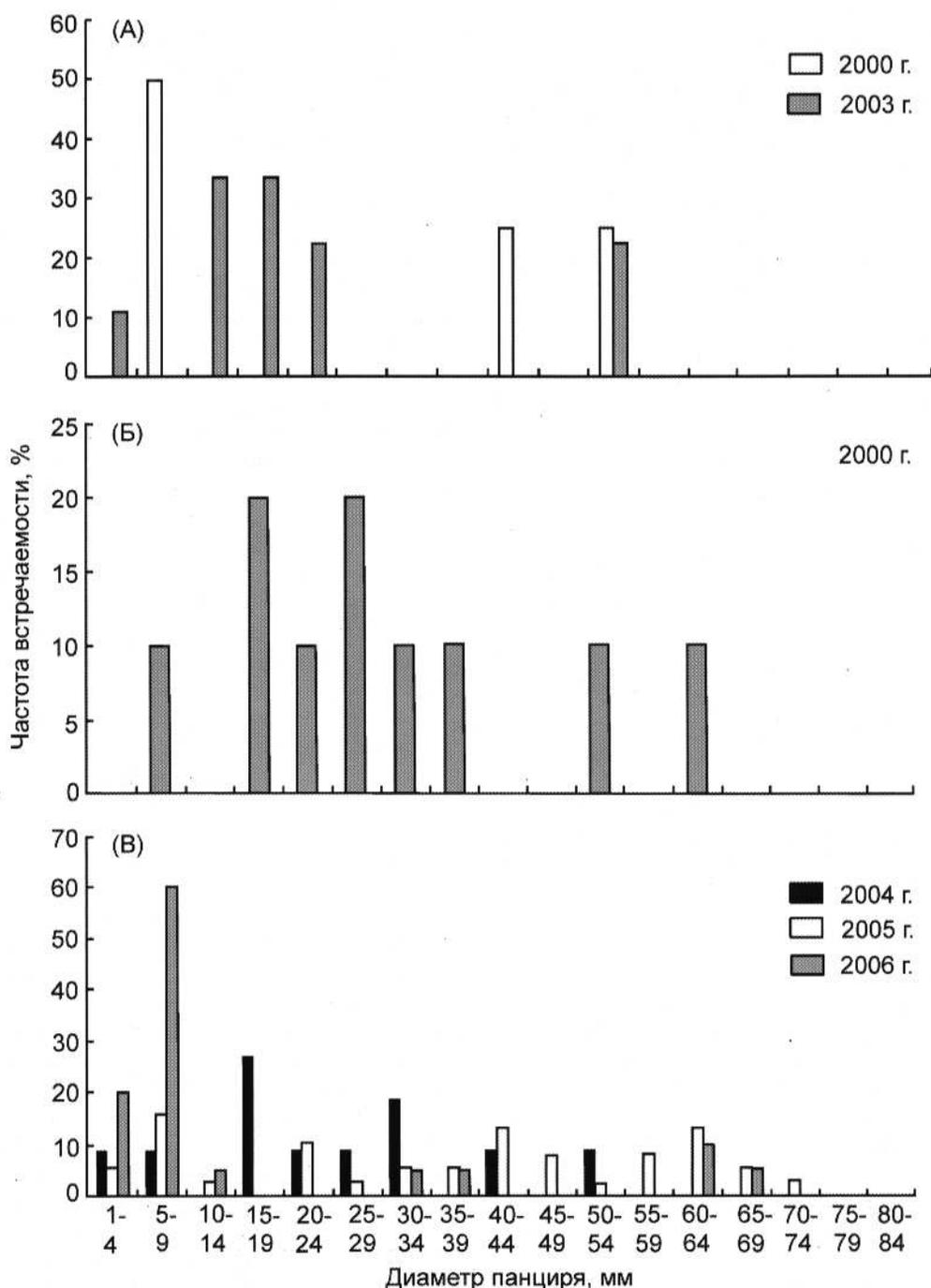


Рис. 3. Размерный состав морского ежа *Strongylocentrotus droebachiensis* из пищевых комков камчатского краба в Кольском заливе. А – половозрелые самки, Б – половозрелые самцы, В – неполовозрелые крабы.

в районе губы Дальнезеленечкая. Так, средняя плотность поселения морского ежа в губе Дальнезеленечкая составляет около 5 экз/м² (Бритаев и др., 2007), что в 5 раз больше, чем на исследованной акватории Кольского залива (наши данные).

Согласно данным литературы, частота встречаемости морских ежей в пищевых комках молоди камчатского краба несколько выше: от 17 до 50–60% (Матюшкин, 2003; Ржавский, Переладов, 2003; Тарвердиева, 2003; Елецкая, Штрик, 2006). В губе Дальнезеленечкая и Кольском заливе изменение частоты встречаемости

морских ежей в рационе молоди камчатского краба в разные годы, скорее всего, обусловлено размерным составом поселений молоди *P. camtschaticus* и особенностями кормовой базы. В целом, встречаемость морских ежей в пищевых комках камчатского краба была выше в Кольском заливе, где больше доля неполовозрелых особей с шириной карапакса более 60–70 мм, активно питающихся морскими ежами. Кроме того, более высокая встречаемость морских ежей в рационе молодых крабов отмечена в местах с невысокой численностью и биомассой офиур, характерной для Кольского залива

(наши наблюдения). Экспериментально установлено (Павлова и др., 2007), что часто линяющие неполовозрелые крабы в качестве корма среди всех иглокожих предпочитают офиур, но при их недостатке способны переходить к питанию другими иглокожими: морскими ежами или морскими звездами. Частота поедания морских ежей крабами в Кольском заливе в среднем была в 3 раза (а морских звезд в 6 раз) выше, чем в губах Восточного Мурмана, где плотность поселения офиур в 2–7 раз, а биомасса – в 200–600 раз превышают таковые в Кольском заливе (Бритаев и др., 2007). По этой причине в губе Дальнезеленецкая офиуры часто доминировали в рационе молоди *P. camtschaticus*.

Выявлено преобладание в рационе взрослых особей камчатского краба мелких морских ежей, точный запас которых в прибрежье неизвестен. Ранее предполагали, что крупные крабы в качестве корма предпочитают морских ежей промыслового размера с развитыми гонадами (Гудимов и др., 2003; Соколов, Милютин, 2006а), тем более что взрослые крабы способны раскалывать панцирь крупных морских ежей диаметром до 70–80 мм (Соколов, Милютин, 2006а). Несмотря на то, что более доступными для крабов были обитающие на поверхности грунта морские ежи среднего и крупного размера (Бритаев и др., 2007), взрослые крабы, особенно самки, проявляли избирательность в питании, отыскивая молодь, которая обычно прячется в различных укрытиях. В разные годы размер мелких морских ежей, поедаемых крабами, мог варьировать в зависимости от успешности пополнения популяции *S. droebachiensis*. В 2004 г. в губе Дальнезеленецкая была особенно велика численность сеголеток и годовиков морских ежей (рис. 2). В пищевых комках взрослых *P. camtschaticus* в это время встречались особи с диаметром панциря 2–6 мм, которые могли поедаться только случайно, так как крупным крабам в качестве кормового объекта они не подходят по размерам. В пищеварительный тракт *P. camtschaticus* такие мелкие морские ежи могли попасть попутно, вместе с другими более крупными донными беспозвоночными, например, эпифаунными двустворчатками моллюсками (*Mytilus edulis*, *Modiolus modiolus*, *Hiatella arctica*) и усоногими раками, которые, вероятно, использовались сеголетками морского ежа в качестве субстрата.

В рационе неполовозрелых крабов в Кольском заливе доля морских ежей промыслового размера оказалась самой высокой. Возможно, это обусловлено низкой численностью молоди *S. droebachiensis* вследствие ее интенсивного выедания многочисленными неполовозрелыми крабами в предыдущие годы.

Полученные данные по объему суточного выедания камчатским крабом морских ежей согласуются с данными экспериментальных исследований по питанию этого вида, за исключением сведений по объему выедания морских ежей молодь *P. camtschaticus* в Кольском заливе. В экспериментах половозрелые особи камчатского краба в течение суток поедали морских ежей массой от 10 до 50 г, крабы-подростки – около 5–7 г (Jørgensen, Primicerio, 2007). Молодь камчатского краба

с шириной карапакса менее 40 мм ежедневно уничтожала около 3–6 г морских ежей (Павлова, 2007).

Предварительные расчеты годового выедания морских ежей свидетельствуют о том, что в губе Дальнезеленецкая воздействие на популяцию *S. droebachiensis* со стороны камчатского краба менее выражено, чем в Кольском заливе. Так как районы исследования незначительно различаются по плотности поселения взрослых особей камчатского краба (Соколов, Милютин, 2006а), ориентировочный объем годового выедания морских ежей половозрелыми самками *P. camtschaticus* на исследованных акваториях оказался довольно сходным. Однако воздействие молоди камчатского краба на поселения *S. droebachiensis* в этих районах было различным. В губе Дальнезеленецкая годовое выедание морских ежей можно считать незначительным, тогда как в Кольском заливе оно было существенным. Наиболее вероятные причины интенсивного выедания морских ежей в Кольском заливе – это высокая плотность поселения молоди *P. camtschaticus*, которая в десятки раз выше, чем в районе губы Дальнезеленецкая (Соколов, Милютин, 2006б), а также присутствие в составе поселений крабов-подростков и более слабое развитие фауны офиур, о чем упоминалось выше.

Морской еж *S. droebachiensis* играет важную роль в формировании структуры и метаболизме прибрежных донных сообществ Баренцева моря (Холодов, 1981). Уничтожая большое количество молоди этого вида, камчатский краб способен существенно ограничивать его численность и опосредованно влиять на структуру и метаболизм донных сообществ.

Таким образом, камчатский краб, питающийся морскими ежами на прибрежных мелководьях Баренцева моря, предпочитает преимущественно молодь *S. droebachiensis*. Половозрелые самки *P. camtschaticus* наиболее часто и в большем количестве потребляют мелких морских ежей, чем другие возрастные группы этого вида. Интенсивность выедания ими морских ежей практически одинакова в районах с различной плотностью поселения *S. droebachiensis*. Индивидуальный объем выедания морских ежей сильно варьирует в пределах каждой размерной группы *P. camtschaticus*. Суточное выедание морских ежей одним половозрелым крабом в среднем составляет 0.2–8.0% от массы тела краба, а неполовозрелым – 3.0–28.0%. Ущерб популяции *S. droebachiensis* вследствие трофической активности камчатского краба в значительной степени зависит от плотности поселения *P. camtschaticus* и локальных особенностей его кормовой базы. У побережья Восточного Мурмана (губа Дальнезеленецкая), где плотность поселения взрослых и молодых *P. camtschaticus* была невысокой, годовое выедание морских ежей было незначительным – менее 10% от их биомассы. В Кольском заливе, где численность молоди *P. camtschaticus* в десятки раз выше, а кормовая база иглокожих беднее, поселения морских ежей испытывали более сильный пресс хищничества со стороны камчатского краба, особенно неполовозрелых особей этого вида, которые уничтожали около 30% запаса морских ежей.

Автор выражает признательность за помощь при сборе материала научным сотрудникам ММБИ А.Н. Зуеву, С.А. Кузьмину, водолазам РГГМУ Ю.А. Зуеву, Н.В. Зуевой, С.В. Голдину, А.В. Коршунову, А.А. Банникову, а также водолазам ИПЭЭ РАН О.В. Савинкину, Т.И. Антохиной, И.Н. Марину, за помощь при обработке материала – научному сотруднику ММБИ А.А. Фролову.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бритаев Т.А., Ржавский А.В., Павлова Л.В. и др. Современное состояние донных сообществ и поселений макрозообентоса на мелководье Баренцева моря и роль антропогенного фактора в их динамике // Динамика морских экосистем и современные проблемы сохранения биологического потенциала морей России. Владивосток: Дальнаука. 2007. С. 314–356.
- Гудимов А.В., Гудимова Е.Н., Павлова Л.В. Влияние камчатского краба *Paralithodes camtschaticus* на макробентос Мурманского побережья, первая оценка на примере морских ежей рода *Strongylocentrotus* // Докл. РАН. 2003. Т. 393, № 2. С. 281–283.
- Елецкая М.В., Штрик В.А. Питание молоди камчатского краба *Paralithodes camtschaticus* в прибрежной зоне Баренцева моря // Современное состояние популяций крабов Баренцева моря и их взаимодействие с донными биоценозами: Сб. материалов Международ. конф. Мурманск. 2006. С. 29–32.
- Левин В.С. Камчатский краб *Paralithodes camtschaticus*. Биология, промысел, воспроизводство. СПб.: Ижиса. 2001. 198 с.
- Логвинович Д.Н. Аквариальные наблюдения над питанием камчатского краба // Изв. ТИНРО. 1945. Т. 19. С. 79–97.
- Манушин И.Е. Характеристика потребления пищи камчатским крабом в Баренцевом море // Камчатский краб в Баренцевом море. Мурманск: Изд-во ПИНРО. 2003. С. 189–202.
- Матюшкин В.Б. Ранняя молодь камчатского краба в районах Западного Мурмана // Камчатский краб в Баренцевом море. Мурманск: Изд-во ПИНРО. 2003. С. 140–152.
- Надточий В.А., Чучукало В.И., Кобликов В.Н. Характеристика питания камчатского (*Paralithodes camtschaticus*) и равношипного (*Lithodes aequispina*) крабов на юге западно-камчатского шельфа в летний период // Изв. ТИНРО. 1998. Т. 124. С. 651–657.
- Павлова Л.В. Экспериментальные исследования питания молоди камчатского краба (*Paralithodes camtschaticus*) из Баренцева моря // Зоол. журн. 2007. Т. 86, № 6. С. 684–690.
- Павлова Л.В., Бритаев Т.А., Ржавский А.В. Выедание бентоса молодью камчатского краба (*Paralithodes camtschaticus* Tilesius, 1815) в прибрежье Баренцева моря по данным экспериментальных исследований // Докл. РАН. 2007. Т. 414, № 4. С. 566–569.
- Ржавский А.В., Переладов М.В. Питание камчатского краба (*Paralithodes camtschaticus*) на мелководьях Варангерфьорда (Баренцево море): изучение содержимого пищеварительного тракта и визуальные наблюдения // Тр. ВНИРО. 2003. Т. 142. С. 120–130.
- Сенников А.М., Шацкий А.В. Промыслово-биологическая характеристика урагубской группировки камчатского краба // Биоресурсы и аквакультура в прибрежных районах Баренцева и Белого морей. Мурманск: Изд-во ПИНРО. 2002. С. 98–109.
- Соколов В.И., Милютин Д.М. Некоторые особенности поведения камчатского краба (*Paralithodes camtschaticus*) в прибрежной зоне Баренцева моря в летний период // Зоол. журн. 2006а. Т. 85, № 1. С. 28–37.
- Соколов В.И., Милютин Д.М. Распределение, численность и размерный состав камчатского краба (*Paralithodes camtschaticus*) в верхней сублиторали Кольского полуострова Баренцева моря в летний период // Зоол. журн. 2006б. Т. 85, № 2. С. 158–170.
- Тарвердиева М.И. О питании и пищевых взаимоотношениях массовых видов крабов Берингова моря // XIV Тихоокеан. науч. конгр., СССР. Секция F III. Биологическая продуктивность Тихого океана. М.: Наука. 1978. С. 238–240.
- Тарвердиева М.И. О питании молоди камчатского краба (*Paralithodes camtschaticus*) в губе Териберка Баренцева моря // Тр. ВНИРО. 2003. Т. 142. С. 92–102.
- Холодов В.И. Трансформация органического вещества морскими ежами (regularia). Киев: Наукова думка. 1981. 160 с.
- Baikov A.D. How to estimate the daily food consumption of fish under natural conditions // Trans. Amer. Fish. Soc. 1935. Vol. 65. P. 326–345.
- Jørgensen L.L. Impact scenario for an introduced decapod on Arctic epibenthic communities // Biol. Invasions. 2005. Vol. 7, no. 6. P. 949–957.
- Jørgensen L.L., Primicerio R. Impact scenario for the invasive red king crab *Paralithodes camtschaticus* (Tilesius, 1815) (Reptantia, Lithodidae) on Norwegian, native, epibenthic prey // Hydrobiologia. 2007. No. 590. P. 47–54.
- Takeuchi I. Food of king crab (*Paralithodes camtschatica*) off the west coast of the Kamchatka in 1958 // Bull. Hokk. Reg. Fish. Res. Lab. 1959. No. 20. P. 67–75.
- Zhou S., Shirley T.C., Kruse G.H. Feeding and growth of red king crab *Paralithodes camtschaticus* under laboratory conditions // J. Crust. Biol. 1998. Vol. 18, no. 2. P. 337–345.

ДИНАМИКА ВОССТАНОВЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИ ПОВРЕЖДЕННЫХ КОЛОНИЙ СКЛЕРАКТИНИЕВОГО КОРАЛЛА *PORITES LUTEA* В УСЛОВИЯХ КОНКУРЕНЦИИ С ВОДОРΟΣЛЯМИ- ПОСЕЛЕНЦАМИ¹

© 2009 г. Э. А. Титлянов, Т. В. Титлянова

Институт биологии моря ДВО РАН, Владивосток 690041
e-mail: etitlyanov@mail.ru

Статья принята к печати 20.11.2008 г.

Природные и антропогенные катастрофы, произошедшие в последние десятилетия прошлого и в начале нового веков, явились причиной значительных изменений в биологическом разнообразии коралловых рифов: отмечена гибель поселений герматипных склерактиниевых кораллов, которые замещаются сообществами морских водорослей и трав. В связи с этим становится актуальным изучение динамики заселения вновь образованного субстрата морскими растениями и конкуренции за субстрат между герматипными кораллами и водорослями. В настоящей статье описаны результаты исследований, проводившихся в 2003 г. на Морской биологической станции Сесоко Университета Рюкю (Окинава, Япония). Верхние части колоний массивного склерактиниевого коралла *Porites lutea* с окаймляющего кораллового рифа о-ва Сесоко механически повреждали. Затем фрагменты колоний с повреждениями помещали в аквариумы с разной интенсивностью света при отсутствии травоядных и кораллоядных животных, где содержали в течение 6 мес. Опыты показали, что повреждения на колониях площадью около 25 см² при ярком (70–90% фотосинтетически активной радиации, падающей на поверхность воды, – ФАР_п) и умеренном (20–30% ФАР_п) освещении зарастали вновь образованными полипами в течение 6 мес. На слабом свете (2–5% ФАР_п) фрагменты с повреждениями за это время не восстанавливались. Скорость восстановления в первый месяц наблюдений была наибольшей и зависела от физиологического состояния кораллов и освещенности: на ярком и умеренном свете она была в 2 раза и более выше, чем на слабом. В последующие месяцы скорость восстановления колоний значительно снижалась, причем в основном она зависела от степени зарастания поврежденных участков колоний водорослями, а также от видового состава последних. При яркой и умеренной освещенности зарастание ран поврежденных колоний водорослями начиналось с поселения колониальных и нитчатых форм диатомей, цианобактерий и зеленых водорослей, которые формировали сообщество водорослевого торфа. На слабом свете на ранах, как правило, формировалось сообщество красных кальцинированных корковых и мясистых водорослей. Сравнение результатов опытов, поставленных в аквариальных условиях и в море, показало, что поврежденные колонии, содержащиеся в аквариумах при отсутствии травоядных и кораллоядных животных, восстанавливались в 1.5 раза быстрее, чем в море. Высказано предположение скорее о негативном, чем позитивном, влиянии травоядных рыб на восстановление поврежденных колоний.

Ключевые слова: водоросли, поврежденные кораллы, конкуренция.

Dynamics of recovery of mechanically damaged colonies of the scleractinian coral *Porites lutea* under conditions of competition with algal settlers. E. A. Titlyanov, T. V. Titlyanova (Institute of Marine Biology, Far East Branch, Russian Academy of Sciences, Vladivostok 690041)

During the last decades of the past and at the beginning of the present century, natural and anthropogenic catastrophes evoked significant changes in the biodiversity of coral reefs: mortality of hermatypic corals and their replacement with communities of seaweeds and seagrasses. In this connection, study of the dynamics of algal colonization of newly formed substratum and the competition for the substratum between hermatypic corals and algae is of topical interest. This paper describes the results of investigations conducted in 2003 at the Sesoko Marine Biological Station of Ryukyu University (Okinawa, Japan). Colonies of the massive scleractinian coral *Porites lutea* were sampled from a fringing reef of Sesoko Island. Damage was inflicted on the upper portions of the colonies, the damaged coral fragments were placed in aquaria and maintained for six months under different light intensities in the absence of herbivorous and corallivorous animals. The experiments showed that under bright (70–90% of incident photosynthetically active radiation, PAR₀) and moderate light (20–30% PAR₀), on a damaged area of about 25 cm², the polyps were newly formed within six months. Under low light (2–5% PAR₀), this period was not sufficient for the recovery from mechanically induced damage. During the first month, the recovery rate of colonies was the highest and depended on the physiological state of the corals and light intensity: in bright and moderate light it was 2 times and more higher than under low light. During the subsequent months, recovery rate was significantly lower and depended mainly on the degree of overgrowth of dead portions with algae and on their species composition. Under bright and moderate light, the algal colonization of damaged colonies

¹Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 08-04-00735 "Динамика, механизмы и условия формирования сообществ морских макрофитов умеренных и тропических широт".

started with the settlement of colonial and filamentous forms of diatoms, cyanobacteria and green algae, followed by the formation of an algal turf community. Communities of red calcareous crusts and fleshy algae were mainly formed under low light. Comparison of experimental results showed that damaged colonies maintained in aquaria in the absence of herbivorous and corallivorous animals recovered 1.5 times faster than those in the sea. Herbivorous fish may have a negative rather than a positive influence on the recovery of the damaged colonies. (*Biologiya Morya, Vladivostok*, 2009, vol. 35, no. 3, pp. 199–204).

Key words: marine algae, damaged coral colonies, competition.

Катастрофическое уменьшение видовой разнообразия склерактиниевых кораллов и занятых ими площадей на большинстве коралловых рифов Мирового океана в последние десятилетия прошлого века и в начале настоящего столетия из-за природных и антропогенных катастроф (Glynn, 1990; Marshall, 2000; Bruckner, Bruckner, 2001; Nakano, 2004; Connell et al., 2007), а также заселения поврежденных рифов морскими растениями (Diaz-Pulido, McCook, 2002, 2003, 2004) сделало актуальным исследование конкурентных отношений между водорослями и кораллами, которые в конечном итоге определяют судьбу поврежденного кораллового рифа (McCook et al., 2001; Titlyanov et al., 2005, 2006a, 2007; Титлянов, Титлянова, 2008).

Ранее нами были изучены динамика и особенности заселения водорослями механически поврежденных и мертвых колоний коралла *Porites lutea* на окаймляющем рифе о-ва Сесоко (Окинава, Япония), а также характер и скорость регенерации этих повреждений (Titlyanov et al., 2008). Было показано, что первыми поселенцами и на ранах поврежденных колоний, и на коралловых окатышах являются цианобактерии, диатомовые и зеленые нитчатые водоросли. В течение 6 мес. в условиях достаточного освещения на ранах и окатышах формировалось наиболее распространенное на коралловых рифах (Littler, Littler, 1984, 1988; Price, Scott, 1992) сообщество водорослевого торфа. В то же время, при слабом освещении (2–5% фотосинтетически активной радиации, падающей на поверхность воды, – ФАР_п) развивались в основном монодоминантные сообщества красных кальцинированных корковых водорослей, бурых корковых водорослей и зеленых макрофитов. На формирование этих сообществ оказывали влияние травоядные и кораллоядные рыбы. Первые выедали определенные виды водорослей формирующегося сообщества или "подстригали" растительный покров, выедавая молодые части талломов (Bakus, 1967, 1969), вторые (например, рыбы-попугаи) соскребали живую ткань поврежденных колоний коралла вместе со скелетом (до 2–3 мм вглубь). Кроме того, водоросли на ранах могли поедаться морскими ежами, крабами и моллюсками, а молодая регенерирующая ткань кораллов – распространенными у о-ва Окинава моллюсками-гастроподами *Drupella* spp. или *Habromorula spinosa*, а также морскими звездами *Acanthaster* spp. (Yamazato, Kiyan, 1973; Moyer et al., 1982; Sakai et al., 1984; Yamaguchi, 1986; Turner, 1994).

Формирование водорослевых сообществ на поверхности поврежденных коралловых колоний в отсутствие травоядных и кораллоядных животных можно проследить двумя способами: изолировать поврежден-

ные колонии от этих животных мелкой сеткой или поместить поврежденные колонии в аквариум. Однако первый способ не спасает кораллы и водоросли от мелких животных, а второй способ изменяет условия существования кораллов в большей степени, чем первый.

Для изучения формирования водорослевых сообществ на поврежденных колониях кораллов и для изменения скорости регенерации коралловых полипов в условиях разной освещенности и в отсутствие травоядных и кораллоядных животных мы выбрали метод содержания кораллов в проточных аквариумах. При этом способе содержания кораллов морская вода поступает в аквариумы с близлежащего кораллового рифа без фильтрации и предварительного отстаивания, т.е. без существенных изменений таких важных характеристик, как температура, содержание питательных веществ и концентрация зоопланктона.

Были поставлены следующие задачи: 1) изучить динамику заселения водорослями механически поврежденных колоний склерактиниевого коралла *Porites lutea* в различных условиях освещения и в отсутствие травоядных и кораллоядных животных; 2) определить характер, динамику и скорость восстановления коралловых полипов на поврежденных поверхностях колоний; 3) выяснить роль водорослей-поселенцев в восстановлении колоний после механических повреждений.

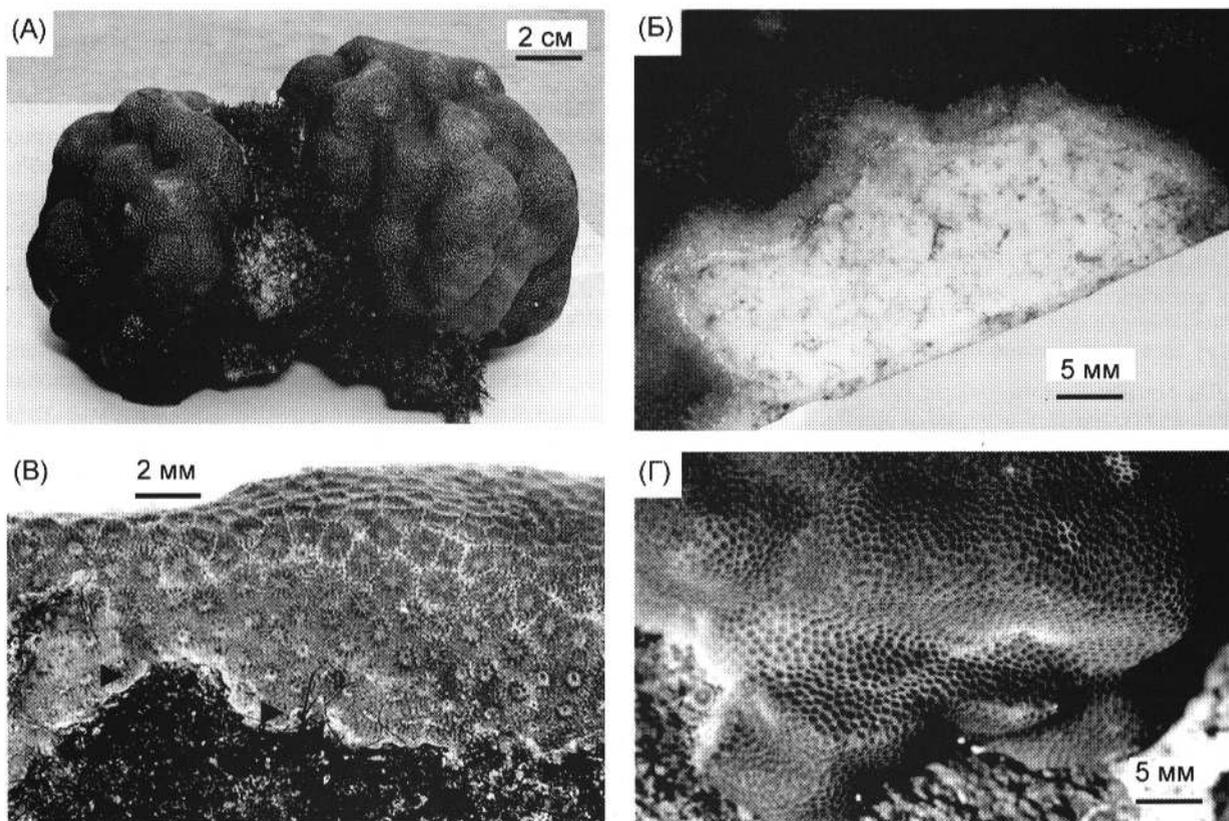
МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Район и время исследования

Эксперименты проведены на Морской биологической станции Сесоко (о-в Сесоко, Окинава, Япония) в феврале–августе 2003 г. Материал для эксперимента собирали на окаймляющем рифе напротив станции (26°38' N, 127°52' E). В зимний период температура поверхностного слоя воды здесь изменялась от 18 до 24°C, весной – от 22 до 28°C и в летний период – от 24 до 29°C. Фотосинтетически активная радиация, падающая на поверхность воды, в середине солнечного дня в зимнее время составляла 800–1400 мкмоль/(м² с), летом – 1100–1600 мкмоль/(м² с).

Постановка опытов

Массивные колонии склерактиниевого коралла *Porites lutea* (Edwards and Naime 1860) массой 0.5–1 кг (см. рисунок, А), собранные в незатененных местах кораллового рифа на глубине 1.5–2.0 м, были помещены в аквариум, где содержались до следующего дня. Затем колонии распиливали ручной пилой пополам и верхние (равномерно освещенные) части колоний использовали в эксперименте. Кораллы повреждали следующим образом: из колонии ручной пилой выпиливали кусочек скелета с тканью под прямым углом для получения вертикальной и горизонтальной поверхностей. Общая площадь раны составляла примерно 25 см² (см. рисунок, Б).



Регенерация поврежденных колоний коралла *Porites lutea*. А – одна из использованных в опыте колоний коралла; Б – механическое повреждение на колонии после одного месяца содержания в эксперименте при умеренной освещенности; В – регенерация повреждения на колонии через 3 мес. содержания в аквариуме при умеренной освещенности (стрелками показаны водорослевые сообщества, мешающие заживлению ран); Г – полностью восстановленный фрагмент колонии через 6 мес. содержания при умеренном освещении.

В каждый аквариум помещали по три поврежденных фрагмента.

В зимний и весенний периоды температура воды в аквариумах составляла 20–26°C в дневное время и 18–24°C в ночное, а в летний период – 28–31 и 26–28°C соответственно, т.е. ночью она была на 2–3°C ниже, а днем на 1–2°C выше, чем в море. Вода в аквариумах интенсивно аэрировалась, обмен воды составлял около 30% в час.

Освещенность в открытых аквариумах у поверхности образцов составляла от 70 до 90% ФАР_п, а в аквариумах, затененных пластиковой сеткой, – от 2 до 5 и от 20 до 30% ФАР_п. Скорость восстановления колоний или регенерации ткани на поврежденной поверхности измеряли в течение первого и третьего месяцев эксперимента. Видовое разнообразие водорослей-поселенцев, проективное покрытие субстрата водорослями и плотность водорослевых популяций анализировали после первого, третьего и шестого месяцев опыта.

Измерение скорости восстановления колоний

Для определения скорости восстановления поврежденной раны на кораллах ее фотографировали цифровой камерой Olympus C5050Z сразу после нанесения повреждения, а также через 1 и 3 мес. На photographиях измеряли расстояние от центра раны до края живой ткани коралла. На каждой ране было сделано от 6 до 10 измерений, на основании которых рассчитывали среднюю скорость регенерации, или линейную скорость распространения здоровой ткани на поврежденной поверхности. Среднее значение скорости и стандартное отклонение рассчитывали, исходя из этих измерений, для трех образцов ($n = 3$).

Определение проективного покрытия поверхности ран водорослями, видового состава водорослей и плотности их поселения

Повреждения фотографировали после первого и третьего месяцев выдерживания в аквариумах. Проективное покрытие субстрата водорослями определяли "бумажным" или "весовым" способом (Titlyanov et al., 2005). Photographии поверхности ран были сделаны на плотной толстой бумаге хорошего качества (Epson KA450PM) с увеличением в 3–5 раз. Изображения мертвой части раны на бумаге вырезали и взвешивали, затем из взвешенного фрагмента photographии вырезали изображение водорослей и также взвешивали. Относительное проективное покрытие поверхности субстрата водорослями рассчитывали по формуле:

$$S = w_2/w_1 \times 100,$$

где S – относительное проективное покрытие субстрата водорослями, в % от общей площади изображения фрагмента раны; w_1 – масса фрагмента бумаги с изображением поверхности раны; w_2 – масса бумаги с изображением водорослей-поселенцев. Среднее значение и стандартное отклонение рассчитывали на основании анализа трех образцов ($n = 3$).

Сообщество водорослей-поселенцев на ранах изучали под световым микроскопом. Для этого поверхность образца предварительно просматривали под стереоскопическим бинокулярным микроскопом и от таллов макроводорослей или колоний микроводорослей каждого вида скальпелем или пинцетом отделяли кусочек, необходимый для таксономической идентификации под световым микроскопом. Плотность особей определенного вида в сообществе определяли визуально в

трех случайных местах образца. Поверхность коралла и раны во время анализа постоянно увлажняли морской водой. Продолжительность просмотра одного образца составляла не более 5 мин.

Измерение освещенности

Освещенность поверхности воды и образца в аквариуме (фотосинтетически активная радиация – ФАР_n) была измерена фотометром LiCor (LI-192 CB) в 9–10, 13–14 и 17–18 ч. Относительная освещенность (ФАР) вблизи образца была рассчитана в процентах от ФАР_n.

Статистический анализ

Для статистического анализа данных был использован t-тест. Различия считались значимыми при $P < 0.05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Всего на фрагментах поврежденных колоний было обнаружено 92 вида водорослей. Относительное количество видов водорослей различных отделов было следующим: Bacillariophyta (B) – 9%, Cyanobacteria (C) – 22%, Chlorophyta (Ch) – 17%, Phaeophyta (Ph) – 13% и Rhodophyta (Rh) – 39%. После первого месяца колонизации проективное покрытие поверхности ран водорослями составляло 3–7%. Водоросли заселяли лишь мертвую часть колонии, не покрытую тканью коралла. После третьего месяца содержания поврежденных колоний в аквариуме проективное покрытие поверхности ран водорослями увеличилось до 40–90% (см. рисунок, В). После шести месяцев содержания на ярком и умеренном свете раны полностью зарастали коралловыми полипами (см. рисунок, Г), а на слабом свете – только частично.

В конце первого месяца экспозиции на ранах было обнаружено 52 вида водорослей: 41 вид – на ярком свете, 34 вида – на умеренном и только 17 видов – на слабом. Относительное количество видов водорослей (первых поселенцев) разных порядков на ранах было следующим: на ярком свете – 13% (B), 28% (C), 14% (Ch), 12% (Ph) и 33% (Rh); на умеренном свете – 9% (B), 32% (C), 18% (Ch), 9% (Ph) и 32% (Rh); на слабом – 22% (B), 17% (C), 11% (Ch), 22% (Ph) и 28% (Rh). На ярком и умеренном свете доминировали или часто встречались такие виды, как *Nitzschia longissima*, *N. closterium* и *N. seriata* (B); *Leptolyngbya tenuis* и *Calothrix* sp. (C); *Ulva clathrata* и *Derbesia marina* (Ch); *Hinckia mitchelliae* (Ph); *Ceramium flaccidum* (Rh). В конце третьего месяца опыта при высокой освещенности количество видов водорослей, поселившихся на ранах, увеличилось до 60, из них определено 13% (B), 23% (C), 23% (Ch), 13% (Ph) и 28% (Rh). В условиях с умеренной освещенностью было найдено 86 видов, из них 9% (B), 24% (C), 16% (Ch), 13% (Ph) и 38% (Rh). При низкой освещенности количество видов водорослей было значительно меньше, чем на ярком и умеренном свете, из 42 видов водорослей было обнаружено 12% (B), 17% (C), 5% (Ch), 17% (Ph) и 9% (Rh). В то же время такие водоросли-первопоселенцы, как *Lyngbya semiplena*, *Calothrix contarenii* (C), *Herposiphonia*

secunda, *Spermothamnion* sp. и *Stylonema alsidii* (Rh), *Cladophora vagabunda*, *Cladophora* sp. (Ch), не были найдены. На ранах продолжали расти водоросли, отмеченные ранее как доминирующие или часто встречаемые. Кроме того, были отмечены новые доминанты: *Lyngbya majuscula*, *Oscillatoria* sp., *Spirulina subsalsa* (C), *Ulva compressa* (Ch), *Polysiphonia* sp. (Rh) – на ярком свете; *Licmophora lyngbyei* (B), *L. majuscula*, *Oscillatoria* sp., *Tolypothrix* sp. (C), *Rhipidosiphon javensis* (Ch), *Sphacelaria novae-hollandiae*, *S. rigidula* (Ph), *Polysiphonia* sp. (Rh), *Diatoma* sp. (B), *Jania capillacea*, *Gelidiopsis intricata* (Rh) – на слабом свете.

Наибольшая средняя скорость восстановления ткани коралла на поврежденных участках была отмечена в первый месяц содержания колоний кораллов в аквариуме при умеренной освещенности (20–30% ФАР_n) – 0.22 ± 0.06 мм в сутки. На ярком свете (70–90% ФАР_n) она составляла 0.19 ± 0.06 мм в сутки, т.е. также была высокой. На слабом свете (2–5% ФАР_n) средняя скорость восстановления ткани коралла на поврежденных участках была ниже, чем на ярком и умеренном свете, и составляла 0.12 ± 0.09 мм в сутки. В течение второго и третьего месяцев скорость регенерации значительно ($P < 0.05$) уменьшалась: до 0.07 ± 0.02 мм в сутки на ярком свете, до 0.08 ± 0.01 мм в сутки – на умеренном и до 0.05 ± 0.02 мм в сутки – на слабом.

ОБСУЖДЕНИЕ

Динамика колонизации водорослями механических повреждений коралловых колоний

В естественных условиях обрастание колоний кораллов водорослями зависит прежде всего от степени повреждения ткани коралла или от ее физиологического состояния. Мертвые колонии (или части колоний) заселяются водорослями сразу же после повреждения (Diaz-Pulido, McCook, 2002; Titlyanov et al., 2008). Так, после массового обесцвечивания кораллов на Большом Барьерном рифе Австралии все погибшие или потерявшие большую часть популяции зооксантелл колонии (или части колоний) кораллов в течение одного–двух месяцев были заселены водорослями, в то время как другие менее пострадавшие колонии восстанавливались и водорослями не заселялись (Diaz-Pulido, McCook, 2002). Как было показано ранее (Titlyanov et al., 2006b) и в настоящей работе, водоросли не могут колонизировать механически поврежденную мягкую ткань коралла (до этого здоровую), но сразу же поселяются на поврежденном скелете (см. рисунок, В). Механически поврежденная живая ткань быстро (в течение 2–4 нед.) восстанавливается, а осевшие на нее споры или фрагменты водорослей замуровываются в скелет. По нашим данным, это происходит в диапазоне освещенности от 2 до 90% ФАР_n. Однако водоросли поселяются на живой ткани коралловых полипов, ослабленных повышенной температурой (перенесших обесцвечивание ткани) (Diaz-Pulido, McCook, 2002), болезнями (Weil et al., 2006; Sussman et al., 2006) или негативным аллелопатическим воздействием других орга-

низмов (McCook et al., 2001; Diaz-Pulido, McCook, 2004; Titlyanov et al., 2005). Ослабленные полипы не способны очистить поверхность ткани коралла от попавших на нее частичек, в том числе спор и фрагментов водорослей. На ослабленной ткани коралла чаще всего поселяются синезеленые (Diaz-Pulido, McCook, 2002) или красные водоросли, такие как *Centroceras clavulatum* или *Ceramium* spp., имеющие ризоиды, способные проникать в живую ткань коралла (Titlyanov et al., 2005). Мертвая часть раны сразу после повреждения коралла является благоприятным субстратом для заселения водорослями. Здесь осевшие споры водорослей обычно прикрепляются не к голому субстрату, а к пленке, состоящей из мукуса, остатков ткани коралла, органических и неорганических частичек, осевших на его поверхность (Crossland, 1987; Diaz-Pulido, McCook, 2002, 2004).

В наших экспериментах к концу первого месяца экспозиции на мертвых частях ран было обнаружено 53 вида водорослей, доминировали, главным образом, микроскопические и тонко нитчатые Bacillariophyta и Cyanobacteria. Зависимости видового состава водорослей-первопоселенцев от освещения не установлено. Преобладание синезеленых водорослей в составе первопоселенцев отмечено ранее на кораллах, подвергшихся обесцвечиванию (Diaz-Pulido, McCook, 2002) или воздействию тонкой струей воды и осмотическому шоку (Titlyanov et al., 2005). После трех месяцев наблюдений проективное покрытие водорослями мертвой поверхности ран достигло 80–90%, а количество видов водорослей, поселившихся на ранах, увеличилось до 92. При яркой и умеренной освещенности доминировали нитчатые и тонко разветвленные водоросли, обычные для водорослевого торфа. При слабой освещенности преобладали, главным образом, красные водоросли, часто известковые, но не торфообразующие виды.

Сравнение видового состава водорослей, обрастающих искусственные механические повреждения на колониях коралла *Porites lutea*, помещенных в море (Titlyanov et al., 2008) и в аквариумы, показало, что видовой состав водорослей в аквариумах в 1.5 раза выше, чем в море. На некоторых ранах кораллов, помещенных в аквариумы, доминировали редко встречаемые виды водорослей, такие как *Nitzschia longissima* (B), *Derbesia marina*, *Rhipidosiphon javensis* (Ch), *Sphacelaria rigidula* (Ph) и *Ceramium flaccidum* (Rh). Мы предполагаем, что отсутствие травоядных животных в аквариумах дало возможность этим видам водорослей достичь репродуктивной стадии и размножиться. В море молодые части большинства нитчатых водорослей постоянно выедаются рыбами, что затрудняет их размножение и распространение (Bakus, 1967, 1969).

Взаимоотношения между водорослями-поселенцами и коралловыми полипами на поврежденных колониях

Как было показано в предыдущих (Titlyanov et al., 2005, 2006а) исследованиях и в настоящей работе, механически поврежденная ткань кораллов полностью восстанавливается уже через 2–3 нед. после повреждения. В этот период споры водорослей могут беспрепят-

ственно прорастать и закрепляться на мертвой поверхности ран, но не могут поселиться на поврежденной ткани, так как регенерирующая ткань коралла способна к самоочищению, одним из механизмов которого является замуровывание посторонних предметов в скелет коралла (Titlyanov et al., 2005). На следующем этапе восстановления, когда ткань коралла начинает занимать поверхность мертвой части раны, уже выросшие на ней водоросли создают физическое, а иногда и химическое (Titlyanov et al., 2005) препятствие, мешающее продвижению ткани коралла. При этом скорость восстановления тканей полипов (или скорость зарастания ран) постепенно снижается.

Конкуренция водорослей и коралловых полипов на этом этапе обычно заканчивается или полной регенерацией полипов на мертвой поверхности раны (см. рисунок, Г), или зарастанием раны плотным сообществом нитчатых водорослей, а также отдельными крупными талломами водорослей или кальцинированными корками. Победа в конкурентной борьбе коралловых полипов и водорослей-поселенцев за субстрат в это время зависит, главным образом, от физиологического состояния конкурентов, размеров и токсичности водорослей-поселенцев, а также от внешних факторов, таких как световые условия обитания и активность травоядных и, возможно, кораллоядных рыб (McCook et al., 2001).

При заживлении раны ткань коралла замуровывается в скелет встретившиеся на ее пути водоросли (Titlyanov et al., 2005). Однако ранее нами было показано, что при заселении ран синезелеными водорослями *Lyngbya majuscula* и *L. semiplena* ткань коралла приостанавливает продвижение по поверхности раны, так как не может ни перерасти, ни замуровать их в скелет, вероятно, из-за присутствия в этих водорослях токсинов (Титлянов, Титлянова, 2008).

Мы не нашли значимых различий в скорости восстановления кораллов в диапазоне освещенности от 20 до 90% ФАР_п. Причиной этого, по нашему мнению, является близкое физиологическое состояние полипов кораллов, обитающих в данном диапазоне освещенности, а также сходство плотности и композиции водорослевых сообществ, конкурирующих с полипами за субстрат. Снижение интенсивности света до 2–5% ФАР_п приводило к резкому (в 2–3 раза) падению скорости восстановления колоний, что, вероятно, было обусловлено как снижением уровня автотрофной продукции коралла, так и изменением видового состава водорослей-конкурентов. При низкой освещенности на ранах часто поселялись красные известковые корковые водоросли, являющиеся серьезным препятствием для продвижения ткани коралловых полипов, зарастающих рану.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Титлянов Э.А., Титлянова Т.В. Конкурентные взаимоотношения водорослей и кораллов на поврежденных рифах // Биол. моря. 2008. Т. 34, № 4. С. 235–255.
- Bakus G.J. The feeding habits of fishes and primary production at Eniwetok, Marshall Island // Micronesica. 1967. Vol. 3. P. 135–149.

- Bakus G.J.* Energetics and feeding in shallow marine waters // Int. Rev. Gen. Exp. Zool. 1969. Vol. 4. P. 275–369.
- Bruckner A.W., Bruckner R.J.* Condition of restored *Acropora palmata* fragments of Mona Island, Puerto Rico, 2 years after the Fortuna Reefer ship grounding // Coral Reefs. 2001. Vol. 20. P. 235–243.
- Connell J.H., Hughes T.P., Wallace C.C.* et al. A long-term study of competition and diversity of corals // Ecol. Monogr. 2004. Vol. 74. P. 179–210.
- Crossland C.J.* In situ release of mucus and DOC lipid from the coral *Acropora variabilis* and *Stylophora pistillata* in different light regimes // Coral Reefs. 1987. Vol. 6. P. 35–42.
- Diaz-Pulido G., McCook L.* The fate of bleached corals: patterns and dynamics of algal recruitment // Mar. Ecol. Prog. Ser. 2002. Vol. 232. P. 115–128.
- Diaz-Pulido G., McCook L.* Top-down and bottom-up processes interact with seaweed recruitment on a coral reef // Ecology. 2003. Vol. 84. P. 2026–2033.
- Diaz-Pulido G., McCook L.* Algal recruitment on a coral reef: interactions with corals, other benthic organisms, and substrate types // Coral Reefs. 2004. Vol. 23. P. 225–233.
- Glynn P.W.* Coral mortality and disturbance to coral reefs in the tropical eastern Pacific // Global ecological consequences of the 1982–83 El Niño-southern oscillation. Amsterdam: Elsevier. 1990. P. 55–126.
- Littler M.M., Littler D.S.* Relationships between macroalgal functional form groups and substrata stability in a subtropical rocky-intertidal system // J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 1984. Vol. 74. P. 13–34.
- Littler M.M., Littler D.S.* Structure and role of algae in tropical reef communities // Algae and human affairs. Cambridge: Cambridge Univ. Press. 1988. P. 30–56.
- Marshall P.A.* Skeletal damage in reef corals: relating resistance to colony morphology // Mar. Ecol. Prog. Ser. 2000. Vol. 200. P. 177–189.
- McCook L.J., Jompa J., Diaz-Pulido G.* Competition between corals and algae on coral reefs: a review of evidence and mechanisms // Coral Reefs. 2001. Vol. 69. P. 400–417.
- Moyer J.T., Emerson W. K., Ross M.* Massive destruction of scleractinian corals by the muricid gastropod, *Drupella*, in Japan and Philippines // The Nautilus. 1982. Vol. 96. P. 69–82.
- Nakano Y.* Global environmental change and coral bleaching // Coral reefs of Japan. Tokyo: Ministry of the Environment. 2004. P. 42–48.
- Price J.R., Scott F.J.* The turf algal flora of the Great Barrier Reef. Part I. Rhodophyta. Townsville: James Cook University of North Queensland. 1992. 266 p.
- Sakai K., Muzik K., Nakamura S., Nishihara M.* A note on resurvey of coral communities and *Acanthaster* populations around Okinawa Island, Japan, in 1984 // Galaxea. 1984. Vol. 7. P. 41–52.
- Sussman M., Bourne D.G., Willis B.L.* A single cyanobacterial ribotype is associated with both red and black bands on diseased corals from Palau // Dis. Aquat. Org. 2006. Vol. 69. P. 111–118.
- Titlyanov E.A., Titlyanova T.V., Yakovleva I.M.* et al. Regeneration of artificial injuries on scleractinian corals and coral/algal competition for newly formed substrate // J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 2005. Vol. 323. P. 27–42.
- Titlyanov E.A., Titlyanova T.V., Yakovleva I.M., Sergeeva O.S.* Three stages of injuries regeneration on scleractinian corals // Galaxea. 2006a. Vol. 8. P. 39–50.
- Titlyanov E.A., Kiyashko S.I., Titlyanova T.V.* et al. Coral-algal competition as determined from the rates of overgrowth, physiological condition of polyps of the scleractinian coral *Porites lutea*, and structure of algal associations within boundary areas // Proc. 10th Coral Reef Symp. Okinawa. 2006b. P. 1931–1942.
- Titlyanov E.A., Titlyanova T.V., Yakovleva I.M.* Interaction between benthic algae (*Lyngbya bouillonii*, *Dictyota dichotoma*) and scleractinian coral *Porites lutea* in direct contact // J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 2007. Vol. 342. P. 282–291.
- Titlyanov E.A., Titlyanova T.V., Chapman D.* Dynamics and patterns of algal colonization of mechanically damaged and dead colonies of the coral *Porites lutea* // Bot. Mar. 2008. Vol. 51. P. 285–296.
- Turner S.J.* The biology and population outbreaks of the corallivorous gastropod *Drupella* on Indo-Pacific reefs // Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev. 1994. Vol. 32. P. 461–530.
- Weil E., Smith G.W., Gil-Agudelo D.L.* Status and progress in coral reef disease research // Dis. Aquat. Org. 2006. Vol. 69, no. 1. P. 1–7.
- Yamaguchi M.* *Acanthaster planci* infestations of reefs and coral assemblages in Japan: a retrospective analysis of control efforts // Coral Reefs. 1986. Vol. 5. P. 23–30.
- Yamazato K., Kiyano T.* Reproduction of *Acanthaster planci* in Okinawa // Micronesica. 1973. Vol. 9. P. 185–195.

УЛЬТРАСТРУКТУРА СПЕРМАТОЗОИДОВ У ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ ШЕСТИ СЕМЕЙСТВ ДВУСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ ИЗ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО ЯПОНСКОГО МОРЯ

© 2009 г. А. Л. Дроздов^{1,2}, С. Н. Шарина¹, С. А. Тюрин¹

¹Институт биологии моря ДВО РАН, Владивосток 690041;

²Академия экологии, морской биологии и биотехнологии ДВГУ, Владивосток 690000
e-mail: anatoliyld@mail.ru

Статья принята к печати 29.01.2009 г.

Описана ультраструктура спермиев семи видов двустворчатых моллюсков – представителей шести семейств: Arcidae (*Anadara broughtonii*, *Arca boucardi*), Anomiidae (*Pododesmus macrochisma*), Tellinidae (*Macoma tokyoensis*), Ostreidae (*Crassostrea gigas*), Myidae (*Mya japonica*) и Trapezidae (*Trapezium liratum*). Все изученные спермии – это типичные хвостатые спермии, адаптированные к наружному осеменению, которые, однако, имеют специфичное строение. Отличия касаются формы головки, строения акросомы и количества митохондрий. Исследованным представителям семейств двустворчатых моллюсков свойственен определенный тип морфологии спермиев: у Arcidae головка пулевидная или бочонковидная, в средней части 4 или 5 митохондрий; у Anomiidae головка коническая, акросома с периакросомным материалом, 4 митохондрии (характерной особенностью спермиев является осевой стержень, входящий в периакросомный материал и состоящий из пучка актиновых филаментов); у Myidae головка коническая, изогнутая, 4 митохондрии; у Tellinidae головка пулевидная, периакросомный материал содержит фибриллярный компонент, 4 митохондрии; у Trapezidae спермии конической формы со сферической акросомой. Сферические спермии *C. gigas* похожи на спермии *Saccostrea commercialis* и *Crassostrea virginica*, но имеются различия в субструктуре акросомы. Морфология спермиев свидетельствует о правильности синонимизации семейства Crassostreidae с семейством Ostreidae.

Ключевые слова: акросома, сперматозоиды, двустворчатые моллюски, ультраструктура.

Sperm ultrastructure in representatives of six bivalve families from Peter the Great Bay, Sea of Japan.
A. L. Drozdov^{1,2}, S. N. Sharina¹, S. A. Tyurin¹ (¹Institute of Marine Biology, Far East Branch, Russian Academy of Sciences, Vladivostok 690041; ²Academy of Ecology, Marine Biology and Biotechnology, Far Eastern State University, Vladivostok 690000)

This paper describes the sperm ultrastructure of seven bivalve species belonging to six families: Arcidae (*Anadara broughtonii*, *Arca boucardi*), Anomiidae (*Pododesmus macrochisma*), Tellinidae (*Macoma tokyoensis*), Ostreidae (*Crassostrea gigas*), Myidae (*Mya japonica*), and Trapezidae (*Trapezium liratum*). The spermatozoa of all investigated species are of the classical type; however, each of them exhibits specific morphology. The differences are found in the shape of the head, the fine acrosome structure, and the number of mitochondria. Representatives of the above bivalve families demonstrate specific features of sperm morphology: Arcidae – a bullet-like or barrel-like head, four or five mitochondria in the middle part; Anomiidae – a conical head, the acrosome with periacrosomal material lying in a deep invagination of the nucleus, four mitochondria; Myidae – a conically shaped curved head, four mitochondria; Tellinidae – a bullet-like head, four mitochondria; Trapezidae – a conically shaped head with a spherical acrosome. The spherical spermatozoa of *C. gigas* are similar to those of *Saccostrea commercialis* and *Crassostrea virginica*, they only differ in the fine structure of the acrosome. The sperm morphology of the oyster species is further evidence in support for the synonymization of the family Crassostreidae with the family Ostreidae. (Biologiya Morya, Vladivostok, 2009, vol. 35, no. 3, pp. 205–211).

Key words: acrosome, spermatozoa, bivalves, ultrastructure.

Двустворчатые моллюски, как правило, имеют наружное осеменение, и для них характерны типичные хвостатые спермии. Однако в пределах этого общего плана строения морфология спермиев двустворчатых моллюсков весьма разнообразна. Для ряда семейств Bivalvia характерны определенные варианты внешней морфологии спермиев. Исследованные ранее тихоокеанские виды семейств Rectinidae, Mutilidae и Veneridae имеют те же планы строения спермиев, что и виды этих семейств из Азовского, Черного и Каспийского морей (Дроздов, Касьянов, 1985; Тюрин Дроздов, 2003). Морфология спермиев Bivalvia может быть использована

при установлении систематического статуса не только отдельных видов, но и таксонов в ранге семейства или подсемейства (Карпевич, 1961; Baccetti, Afzelius, 1976; Franzen, 1983; Дроздов, Иванков, 2000; Drozdov, Tyurin, 2004).

Из 20 тыс. видов двустворчатых моллюсков в Японском море обитает более 200 видов. В данной работе описана ультраструктура спермиев представителей шести семейств из четырех отрядов надотряда Autobranchia, причем спермии представителей семейств Anomiidae и Trapezidae описаны впервые. Спермии *Crassostrea gigas* (семейство Ostreidae), изученные ра-

нее (Bozzo et al., 1993), были исследованы нами с целью сравнения спермиев *C. gigas* из разных регионов.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Исследованы сперматозоиды семи видов двусторчатых моллюсков из шести разных семейств (систематика дана по: Lutaenko, 2005): отряд Arcoida, семейство Arcidae – *Arca boucardi* Jousseaume, 1894 и *Anadara broughtonii* (Schrenck, 1867); отряд Ostreoida, семейство Anomiidae – *Pododesmus macrochisma* (Deshayes, 1839), семейство Ostreidae – *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793); отряд Veneroida, семейство Trapezidae – *Trapezium liratum* (Reeve, 1843), семейство Tellinidae – *Macoma tokyoensis* Makiyama, 1927; отряд Myoida, семейство Myidae – *Mya japonica* Jay, 1856.

A. broughtonii, *A. boucardi* и *C. gigas* были собраны в зал. Восток Японского моря; *M. japonica*, *M. tokyoensis* и *T. liratum* – в Амурском заливе Японского моря; *P. macrochisma* – в северной части зал. Петра Великого Японского моря во время 24-го рейса НИС "Академик Опарин". Для ультраструктурного исследования сперматозоидов кусочки семенников фиксировали в 2.5% глутаральдегиде на 0.5 М какодилатном буфере с добавлением хлорида натрия до тоничности морской воды. Материал дофиксировали в 1% OsO₄ на какодилатном буфере, обезвоживали по стандартной методике в спиртах, затем заключали в смесь эпон-аралдит. Ультратонкие срезы получали на ультратоме Ultracut фирмы Reichert. Для изучения выбирали срезы серебристого и золотистого цвета. Срезы последовательно окрашивали уранилацетатом и цитратом. Срезы просматривали в электронном микроскопе JEM-100B.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Моллюски всех семи изученных видов имеют классические спермии с головкой и жгутиком, адаптированные к наружному осеменению. Жгутик отходит от дистальной центриоли, которая вместе с проксимальной центриолью и митохондриями формирует среднюю часть. Апикальная часть ядра увенчана акросомой, содержащей акросомный пузырек и периакросомный материал.

Anadara broughtonii

Головка спермия имеет пулевидную форму (рис. 1А, Б; 2А). Средние размеры головки – 2.8 и 1.9 мкм в длину и ширину соответственно. Акросома расположена в апикальной части головки. Она представлена удлиненным в виде конуса акросомным пузырьком, который заполнен электронно-плотным содержимым и окружен собственной мембраной. Под акросомным пузырьком находится гетерогенный относительно электронно-прозрачный периакросомный материал. Высота акросомы – 1 мкм. Ядро заполнено гомогенным электронно-плотным содержимым. Нижняя часть ядра образует небольшие углубления, в которые частично погружены митохондрии. Средняя часть спермия образована четырьмя митохондриями, заполненными пластинчатыми кристами. Диаметр митохондрий – 0.8 мкм. От дистальной центриоли отходит хвостовой жгутик диаметром 0.2 мкм, который построен по классической схеме: центральные микротрубочки окружены девятью дуплетами.

Arca boucardi

Головка спермия бочонковидной формы (рис. 1В, Г; 2Б). Средние размеры головки – 3.2 и 2.6 мкм в длину и ширину соответственно. Акросома представлена конусообразным акросомным пузырьком. Под акросомным пузырьком находится гетерогенный относительно электронно-прозрачный периакросомный материал. Высота акросомы – 1.2 мкм. Средняя часть спермия образована пятью митохондриями, заполненными частыми пластинчатыми кристами. Диаметр митохондрий – 0.8 мкм.

Pododesmus macrochisma

Головка спермия конической формы (рис. 1Д, Е; 2В). Средние размеры головки составляют 5.2 и 2 мкм в длину и ширину соответственно. Акросома представлена удлиненным конусообразным акросомным пузырьком, заполненным электронно-плотным содержимым. Под акросомой находится гетерогенный относительно электронно-прозрачный периакросомный материал. Длина акросомы – 1.2 мкм. Ядро бутылковидное. В ядре имеется канал, достигающий его базальной части; в канал погружен фибриллярный периакросомный материал. В средней части лежат 4 митохондрии диаметром 1 мкм.

Macoma tokyoensis

Головка спермия пулевидной формы (рис. 1Ж, З; 2Г). Средние размеры головки – 3.2 и 2 мкм в длину и ширину соответственно. Акросома представлена удлиненным в форме пирамиды акросомным пузырьком с каналом, содержащим фибриллярный материал. Длина акросомы – 0.8 мкм. Ядро заполнено гомогенным электронно-плотным содержимым. Имеются 4 митохондрии диаметром 0.8 мкм.

Crassostrea gigas

Головка спермия сферической формы (рис. 1И, К; 2Д), ее размер 2 и 2.5 мкм в длину и ширину соответственно. Акросома представлена акросомным пузырьком, содержащим электронно-прозрачный материал. В апикальной части акросомного пузырька присутствует ламинарная структура. Периакросомный материал состоит из электронно-прозрачного материала и осевого стержня – пучка актиновых филаментов. Осевого стержень располагается в центре периакросомного материала в углублении ядра. Высота акросомы – 0.6 мкм. Нижняя часть ядра образует углубления, в которые частично погружены 4 митохондрии диаметром 0.8 мкм и проксимальная центриоль.

Mya japonica

Головка спермия вытянутой конической изогнутой формы (рис. 1Л, М; 2Е). Средние размеры головки составляют 5.5 и 1.5 мкм в длину и ширину соответственно. Акросомный пузырек в виде конуса. Высота акросомы – 1.2 мкм. В средней части сперматозоида располагаются 4 сферические митохондрии. Диаметр митохондрий – 0.8 мкм.

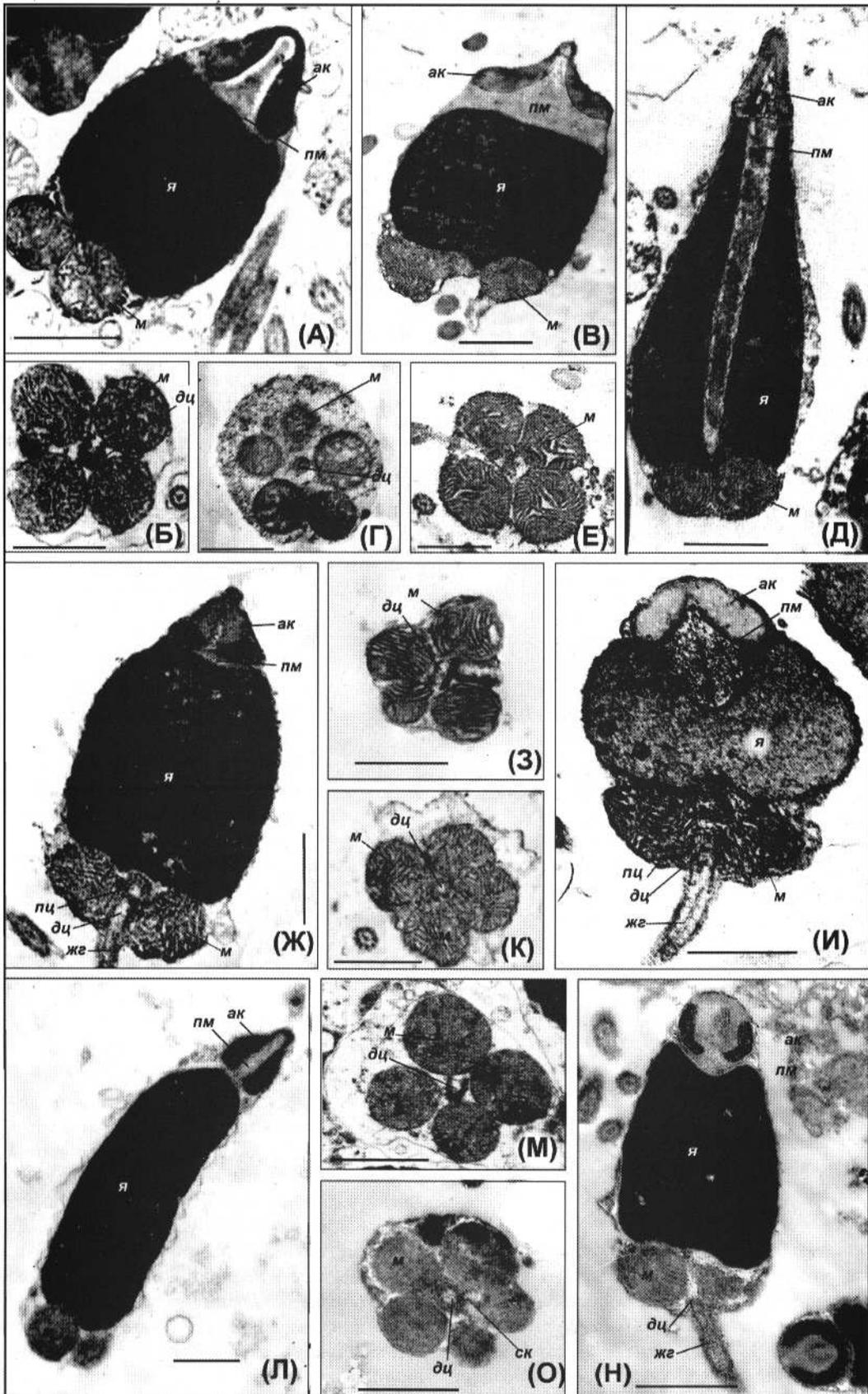


Рис. 1. Продольные и поперечные срезы средней части спермиев исследованных видов двустворчатых моллюсков. А, Б – *Anadara broughtonii*; В, Г – *Arca boucardi*; Д, Е – *Pododesmus macrochisma*; Ж, З – *Macoma tokyoensis*; И, К – *Crassostrea gigas*; Л, М – *Mya japonica*; Н, О – *Trapezium liratum*. Условные обозначения: ак – акросома, дц – дистальная центриоль, жг – жгутик, м – митохондрии, пм – периакросомный материал, пц – проксимальная центриоль, ск – сателлитный комплекс, я – ядро. Масштаб 1 мкм.

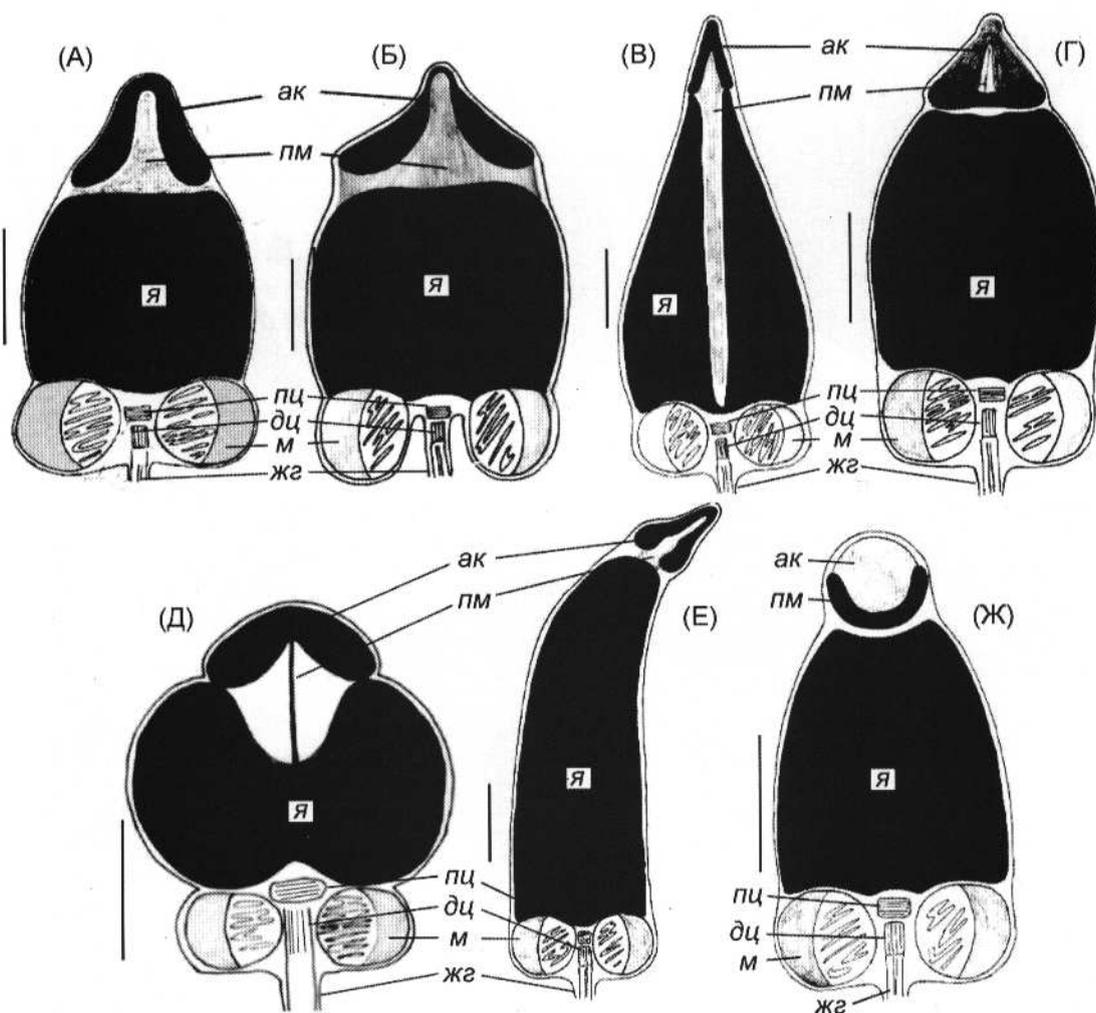


Рис. 2. Схемы строения спермиев исследованных видов двустворчатых моллюсков. А – *Anadara broughtonii*, Б – *Arca boucardi*, В – *Pododesmus macrochisma*, Г – *Macoma tokyoensis*, Д – *Crassostrea gigas*, Е – *Mya japonica*, Ж – *Trapezium liratum*. Обозначения, как на рис. 1. Масштаб 1 мкм.

Trapezium liratum

Головка спермия конической формы (рис. 1Н, О; 2Ж). Средние размеры головки – 2.6 и 1.4 мкм в длину и ширину соответственно. Диаметр сферической акросомы – 0.8 мкм. В средней части сперматозоида располагаются 5 сферических митохондрий. Диаметр митохондрий – 0.6 мкм.

Сравнительная характеристика описанных сперматозоидов представлена в таблице.

ОБСУЖДЕНИЕ

Двустворчатые моллюски – исключительно водные животные, что отражается на способе их размножения. Они обладают только наружным осеменением и не имеют органов копуляции. Половые продукты выметываются в воду, где и происходит оплодотворение. Как указано ранее (Пащенко, Дроздов, 1991; Дроздов, Иванков, 2000), характер оплодотворения прямым образом влияет на строение гамет, причем в большей степени – на строение сперматозоидов как более активных участников этого процесса. С необходимостью движе-

ния в воде связано наличие длинного хвоста, хорошо развитых митохондрий и акросомы, предназначенной для разрушения яйцевых оболочек.

Спермии исследованных видов имеют классическое строение (рис. 1, 2). Они состоят из головки, средней части и хвостового жгута. Головка включает в себя акросому и ядро, центральная часть – митохондрии и центриольный аппарат. Акросома состоит из акросомного пузырька и периакросомного материала. Периакросомный материал наряду с гранулярным может содержать фибриллярный компонент, а также может быть погружен в апикальное углубление ядра. Ядро заполнено гомогенным электронно-плотным содержимым. Сферические митохондрии иногда частично погружены в углубления базальной части ядра. Внутри кольца митохондрий лежат две взаимно перпендикулярные центриоли. В целом план строения спермиев является типичным для большинства исследованных видов двустворчатых моллюсков (Дроздов, Касьянов, 1985; Тюрин, Дроздов, 2003; Tyurin, Drozdov, 2005). Однако, несмотря на общий план строения, спермии разных видов различаются.

Сравнительная характеристика сперматозоидов исследованных видов двустворчатых моллюсков

Вид	Форма головки	Размеры головки (длина × ширина, мкм)	Высота акросомы, мкм	Количество митохондрий
<i>Anadara broughtonii</i>	Пулевидная	2.8×1.9	1	4
<i>Arca boucardi</i>	Бочонковидная	3.2×2.6	1.2	5
<i>Pododesmus macrochisma</i>	Коническая	5.2×2	1.2	4
<i>Macoma tokyoensis</i>	Пулевидная	3.2×2	0.8	4
<i>Crassostrea gigas</i>	Сферическая	2×2.5	0.6	4
<i>Mya japonica</i>	Изогнутая коническая	5.5×1.5	1.2	4
<i>Trapezium liratum</i>	Коническая	2.6×1.4	0.8	5

По мнению исследователей, одним из наиболее изменчивых органоидов спермиев двустворчатых моллюсков является акросома (Franzen, 1955; Kubo, 1977; Popham, 1979). У двух из описанных нами видов – представителей семейства Arcidae – акросома имеет довольно сходное строение: конусообразный акросомный пузырек размером около 1 мкм покрывает собой периакросомный материал. Периакросомный материал не погружен в ядерное углубление и состоит из слабо выраженного гранулярного компонента, фибриллярный компонент отсутствует. Подобная организация акросомы характерна и для другого представителя этого семейства – *Arca granosa* (см.: Suwanjarat, 1999). Глубокий ядерный канал с погруженным в него периакросомным материалом наблюдается у *Pododesmus macrochisma*; акросомный пузырек, как и у предыдущих видов, конусообразный. Сходный акросомный пузырек и у *Macoma tokyoensis*, однако периакросомный материал состоит из двух частей: электронно-плотной в основании акросомы и относительно электронно-прозрачной фибриллярной. Электронно-плотный периакросомный материал в основании акросомы имеется и у *Trapezium liratum*, однако акросома у данного вида, в отличие от предыдущих видов, сферическая.

Средняя часть спермиев двустворчатых моллюсков содержит митохондрии и центриоли. Центриолей две, они имеют классическое строение и располагаются под прямым углом друг к другу. Проксимальная центриоль прикрепляется пучком филаментов (жгутиковым корешком) к углублению в базальной части ядра. Жгутиковый корешок – характерная структура для большинства видов (не только двустворчатых моллюсков, но и других групп животных) с типичным акваспермием, функция которой, очевидно, состоит в закреплении жгутика в средней части спермия. Дистальная центриоль закрепляется на плазматической мембране или мембране митохондрий при помощи сателлитного, или перичентриолярного, комплекса (ручек); его функция та же, что и у жгутикового корешка (Gwo et al., 2002; Guerra et al., 2003). От дистальной центриоли отходит жгутик.

Вокруг центриолей расположены митохондрии. У большинства видов двустворчатых моллюсков 4 митохондрии, однако встречаются виды с большим количеством митохондрий – от 5 до 14. Количество мито-

хондрий может служить дополнительным диагностическим признаком при разделении близкородственных видов (Гладышев, Дроздов, 2002). У представителей семейства Arcidae может быть 4 (*Anadara broughtonii*) или 5 (*Arca boucardi*) митохондрий. Пять митохондрий и у *T. liratum*; у остальных изученных в данной работе видов 4 митохондрии.

Многие исследователи указывают на возможность использования морфологии спермиев для систематики. Специфичность формы спермиев для некоторых семейств и подсемейств двустворчатых моллюсков отмечена и в литературе. Различные типы строения спермиев двустворчатых моллюсков специфичны для таксонов разного ранга: от вида до надсемейства. Так, отличия между близкими видами могут заключаться лишь в незначительных модификациях формы головки, размерах акросомы, выраженности периакросомного материала или количестве митохондрий (Тюрин, Дроздов, 2005; Tyurin, Drozdov, 2005). Основной уровень, на котором морфология спермиев двустворчатых моллюсков играет выраженную и наиболее заметную роль, – это семейств. Для семейств двустворчатых моллюсков характерна определенная форма спермиев, в то время как акросома, как и строение средней части, могут различаться.

При сравнении спермиев трех видов одного семейства Arcidae – *A. broughtonii*, *A. boucardi* (наши данные) и *Anadara (=Arca) granosa* (Suwanjarat, 1999) – видно, что головки спермиев у этих видов по форме почти не различаются; незначительно различается и акросома. Отличия состоят в количестве митохондрий (у *A. broughtonii* – 4, а у *A. boucardi* и *A. granosa* – 5), в наличии углублений в основании ядра у *A. granosa* и в большем количестве периакросомного материала у *A. boucardi*. У представителей трех различных семейств, относящихся к отряду Veneroidea, наблюдаются довольно большие различия в строении акросомы, различается также и форма спермиев.

Не найдено двух видов животных с одинаковыми спермиями (см., например: Кусакин, Дроздов, 1994; Дроздов, Иванков, 2000). Сперматозоиды тихоокеанской устрицы *Crassostrea gigas* из зал. Петра Великого Японского моря не отличаются от спермиев этого вида, интродуцированного в прибрежье Испании (Bozzo et al., 1993) и несущественно отличаются от спермиев *Ostrea edulis* (см.: O'Foighil, 1989). Это свидетельствует

о правильности сведения семейства Crassostreidae в синонимию к семейству Ostreidae (Lutaenko, 2005). Спермии *C. gigas* похожи на спермии *Saccostrea commercialis* (см.: Healy, Lester, 1991), *Crassostrea angulata* (см.: Sousa, Oliveira, 1994) и *C. virginica* (см.: Daniels et al., 1971). Различия отмечены лишь в субструктуре акросомы. Именно акросома в первую очередь формирует контакт спермия с яйцом, а следовательно, должна обеспечивать репродуктивную изоляцию.

По морфологии спермиев *T. liratum* довольно сильно отличаются от спермиев других представителей семейства Veneridae, к которому относят трапециума некоторые авторы; для видов этого семейства не характерны спермии со сферической акросомой. В последнее время популярна точка зрения, сторонники которой предлагают выделить самостоятельное семейство Trapezidae Lamy, 1920. *T. liratum* – первый представитель семейства Trapezidae, у которого изучена ультраструктура спермиев. Полученные данные свидетельствуют о целесообразности выведения рода *Trapezium* из семейства Veneridae в самостоятельное семейство, что согласуется с позицией малакологов (Lutaenko, 2005).

У представителя семейства Anomiidae *P. macrochisma* головка спермия имеет коническую форму. Особенностью спермиев этого вида является осевой стержень, входящий в периакросомный материал. Он состоит из пучка актиновых филаментов, начинается в акросоме и проходит через ядро, достигая его базальной части. Строение спермиев аномиид напоминает строение спермиев представителей другого семейства отряда Ostreoida – морских гребешков: форма спермиев коническая, в акросоме имеются пучки филаментов, формирующие в дальнейшем акросомную нить (Тюрин, Дроздов, 2003). Это свидетельствует о том, что семейства Anomiidae и Pectinidae родственны. Осевой стержень, погруженный в ядерное углубление, отмечен у всех описанных представителей семейства Ostreidae (Daniels et al., 1971; O'Foighil, 1989; Healy, Lester, 1991; Bozzo et al., 1993; Sousa, Oliveira, 1994), которое также относится к этому отряду.

Таким образом, исследованные представители семейств двустворчатых моллюсков характеризуются определенным типом морфологии головки спермиев: у Arcidae головка бочонковидная, в средней части 4 или 5 митохондрий; у Anomiidae головка коническая, акросома с периакросомным материалом, 4 митохондрии (характерной особенностью спермиев является осевой стержень, входящий в периакросомный материал и состоящий из пучка актиновых филаментов); у Myidae головка вытянутая, коническая, слегка изогнутая, 4 митохондрии; у Tellinidae головка пулевидная, периакросомный материал содержит фибриллярный компонент, 4 митохондрии; у Trapezidae спермии конической формы со сферической акросомой.

Наши данные подтверждают представление о том, что для двустворчатых моллюсков ультраструктура спермиев не только видоспецифична, но во многих случаях она специфично характеризует таксон на уровне семейства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Гладышев Е.А., Дроздов А.Л. Ультраструктура сперматозоидов двух видов моллюсков *Geukensia demissa* и *Modiolus modiolus* (Mytilidae, Bivalvia) // Биол. моря. 2002. Т. 28, № 6. С. 463–467.
- Дроздов А.Л., Иванков В.Н. Морфология гамет животных. Значение для систематики и филогенетики. М.: Крупный год. 2000. 460 с.
- Дроздов А.Л., Касьянов В.Л. Размеры и форма гамет у морских двустворчатых моллюсков // Биол. моря. 1985. № 4. С. 33–40.
- Каревич А.Ф. Адаптивный характер морфологии сперматозоидов и яиц двустворчатых моллюсков // Зоол. журн. 1961. Т. 40, № 3. С. 340–350.
- Кусакин О.Г., Дроздов А.Л. Филема органического мира. Ч. 1: Прологомены к построению филемы. СПб.: Наука. 1994. 272 с.
- Пащенко С.В., Дроздов А.Л. Ультраструктура гамет и акросомная реакция спермиев у двустворчатого моллюска глицимериса японского // Цитология. 1991. Т. 33, № 7. С. 20–24.
- Тюрин С.А., Дроздов А.Л. Ультраструктура спермиев четырех видов морских гребешков Японского моря (Mollusca, Bivalvia) // Зоол. журн. 2003. Т. 82, № 12. С. 1513–1517.
- Тюрин С.А., Дроздов А.Л. Ультраструктура спермиев у *Mercenaria stimpsoni* и *Macra chinensis* (Mollusca: Bivalvia) из Японского моря // Биол. моря. 2005. Т. 31, № 6. С. 451–455.
- Baccetti B., Afzelius B. Fine structure of sperm cell // Monographs in Developmental Biology. Basel, Switzerland: S. Karger. 1976. Vol. 10. 253 p.
- Bozzo M.G., Ribes E., Sagrista E. et al. Fine structure of the spermatozoa of *Crassostrea gigas* (Mollusca, Bivalvia) // Mol. Reprod. Dev. 1993. Vol. 34. P. 206–211.
- Daniels E.W., Londwell A.C., McNiff J.M., Wolfgang R.W. Ultrastructure of spermatozoa from the American oyster *Crassostrea virginica* // Trans. Amer. Micr. Soc. 1971. Vol. 90. P. 275–282.
- Drozdo A.L., Tyurin S.A. Comparative sperm morphology and phylogenetic classification of recent Bivalvia from different families // Abstracts of the Conference "Mollusks of the Northeastern Asia and Northern Pacific: Ecology, Biogeography and Faunal History." October 4–6, 2004, Vladivostok, Russia. Vladivostok: Dalnauka. 2004. P. 33–34.
- Franzen A. Comparative morphological investigations into the spermatogenesis among Mollusca // Zool. Bidr. Uppsala. 1955. Vol. 30. P. 399–456.
- Franzen A. Ultrastructural studies of spermatozoa in three bivalve species with notes on evolution of elongated sperm nucleus in primitive spermatozoa // Gamete Res. 1983. Vol. 7. P. 199–214.
- Guerra R., Sousa M., Torres A. et al. Fine structure of acrosome biogenesis and of mature sperm in the bivalve molluscs *Glycymeris* sp. (Pteriomorpha) and *Eurhormalea rufa* (Heterodonta) // Helgol. Mar. Res. 2003. Vol. 57. 7–12.
- Gwo J.-C., Yang W.-T., Sheu Y.-T., Cheng H.-Y. Spermatozoan morphology of four species of bivalve (Heterodonta, Veneridae) from Taiwan // Tissue Cell. 2002. Vol. 34. P. 39–43.
- Healy J.M., Lester R.J.B. Sperm ultrastructure in the Australian oyster *Saccostrea commercialis* (Iradele & Roughley) (Bivalvia: Ostreoidae) // J. Moll. Stud. 1991. Vol. 57. P. 219–224.
- Kubo M. The formation of a temporary acrosome in the spermatozoon of *Laternula limicola* (Bivalvia, Mollusca) // J. Ultrastruct. Res. 1977. Vol. 61, no. 1. P. 140–148.

- Lutaenko K.A.* Bivalve mollusks of Ussuriysky Bay (Sea of Japan). Part 1 // Bull. Russ. Far East Malacol. Soc. 2005. Vol. 9. P. 59–81.
- O'Foighil D.* Role of the spermatozeugmata in the spawning ecology of the brooding oyster *Ostrea edulis* // Gamete Res. 1989. Vol. 24. P. 219–228.
- Popham J.D.* Comparative spermatozoon morphology and bivalve phylogeny // Malacol. Rev. 1979. Vol. 12, no. 1. P. 1–20.
- Sousa M., Oliveira E.* An ultrastructural study of *Crassostrea angulata* (Mollusca, Bivalvia) spermatogenesis // Mar. Biol. 1994. Vol. 120. P. 545–551.
- Suwanjarat J.* Ultrastructure of the spermatogenesis of the cockle *Anadara granosa* L. (Bivalvia: Arcidae) // Helgol. Mar. Res. 1999. Vol. 53. P. 85–91.
- Tyurin S.A., Drozdov A.L.* Sperm ultrastructure of two *Yoldia* species (Yoldiidae, Nuculoida, Bivalvia) from the Sea of Japan // Ruthenica. 2005. Vol. 15(2). P. 157–160.

МОРСКИЕ БИОИНВАЗИИ В ВОДАХ НОВОРОССИЙСКОГО ПОРТА ЧЕРНОГО МОРЯ¹

© 2009 г. Ж. П. Селифонова

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, Мурманск 183010
e-mail: Selifa@mail.ru

Статья принята к печати 29.01.2009 г.

Представлены результаты мониторинга балластных вод коммерческих судов и исследования биоразнообразия экосистемы Новороссийского порта. Получены данные о составе ввозимой фауны, ее обилии, жизнеспособности и происхождении видов. Установлено, что наиболее вероятен риск вселения в Новороссийскую бухту средиземноморских видов. Основные "группы риска" – веслоногие раки и многощетинковые черви. Предполагается, что судовые балластные воды могут стать главным фактором медитерризации фауны веслоногих раков (*Soropoda*) в северо-восточной части Черного моря. За период исследований в Новороссийской бухте зарегистрировано 36 видов средиземноморских копепоид. В пробах зоопланктона, собранных осенью 2005 и 2006 гг., в массовом количестве обнаружена новая для Черного моря циклопоидная копепода *Oithona brevicornis* Giesbr., 1891. Установлен статус вселенца многощетинкового червя рода *Streblospio*. Подтверждена необходимость контроля судовых балластных вод в России, а также разработки методологии, методов и законов для предотвращения занесения патогенных и потенциально опасных организмов водным транспортом.

Ключевые слова: балластные воды, голопланктон, меропланктон, инвазии, биологический контроль, экосистема Новороссийского порта, Черное море.

Marine biological invasions in waters of the port of Novorossiysk, Black Sea. J. P. Selifonova (Murmansk Marine Biological Institute, Kola Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Murmansk 183010)

This paper reports on the results of ships' ballast water monitoring and ecosystem biodiversity researches in the port of Novorossiysk. Data on the composition, abundance, viability, and origin of immigrant organisms are presented. The greatest risk is the invasion of Mediterranean species, with copepods and polychaetes as the main "groups of risk." It is suggested that ships' ballast water may become the main factor of the mediterrization of the copepod fauna in the northeastern Black Sea. During the period of investigations, 36 species of Mediterranean copepods were recorded in Novorossiysk Bay. The cyclopoid *Oithona brevicornis* Giesbr., 1891 was found in large numbers in net samples of zooplankton collected in 2005 and 2006. This is a new record for the Black Sea. The immigrant status of a polychaete of the genus *Streblospio* was established. The control of ships' ballast water in Russia, as well as the development of methodology, methods, and regulations for the prevention of invasions of pathogenic and potentially dangerous organisms via ships are a necessity. (Biologiya Morya, Vladivostok, 2009, vol. 35, no. 3, pp. 212–219).

Key words: ballast water, holoplankton, meroplankton, invasions, biological control, ecosystem, Novorossiysk port, Black Sea.

В последние годы основным источником морских антропогенных инвазий является перевозка чужеродных организмов в судовых балластных водах. Голопланктонные животные, а также меропланктонные личинки донных беспозвоночных имеют при этом наибольшие шансы для расселения, так как с балластными водами перемещаются не отдельные особи, а целые сообщества и, можно утверждать, – даже экосистемы. Показательным примером разрушительного воздействия видов-интродуцентов на морские экосистемы является проникновение и натурализация гребневика *Mnemiopsis leidyi* из вод северо-западной Атлантики в Черное море (Виноградов и др., 1989, 2000; Aquatic..., 2004).

Проблема биологических инвазий с водным транспортом как источника экологической опасности

водных ресурсов России стала интенсивно разрабатываться и обсуждаться сравнительно недавно (Звягинцев, Гук, 2006; Радашевский и др., 2008). Важный шаг, сделанный в этом направлении, – проведение регулярных исследований судовых балластных вод и их контроль в Новороссийском порту (Матишов, Селифонова, 2006, 2008). Новороссийск – крупнейший транспортный узел на юге России, располагающийся в северо-восточной части Черного моря. Пропускная способность этого порта свыше 5 тыс. судов и 100 млн. т груза в год (80% – нефть и нефтепродукты). При погрузочно-разгрузочных работах судами в бухту сбрасывается более 50 млн. т изолированного водяного балласта. Обобщенные сведения о проблеме морских биоинвазий в Новороссийском порту в литературе отсутствуют. Между тем, такая ин-

¹Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных исследований Отделения наук о Земле РАН "Состояние окружающей среды и прогноз ее динамики под влиянием быстрых глобальных и региональных природных и социально-экономических изменений" на 2009–2011 гг., проект "Экологические инвазии чужеродных организмов в Баренцево и Черное моря"; "Развитие технологий мониторинга, экосистемное моделирование и прогнозирование при изучении природных ресурсов в условиях аридного климата", проект 5.9.

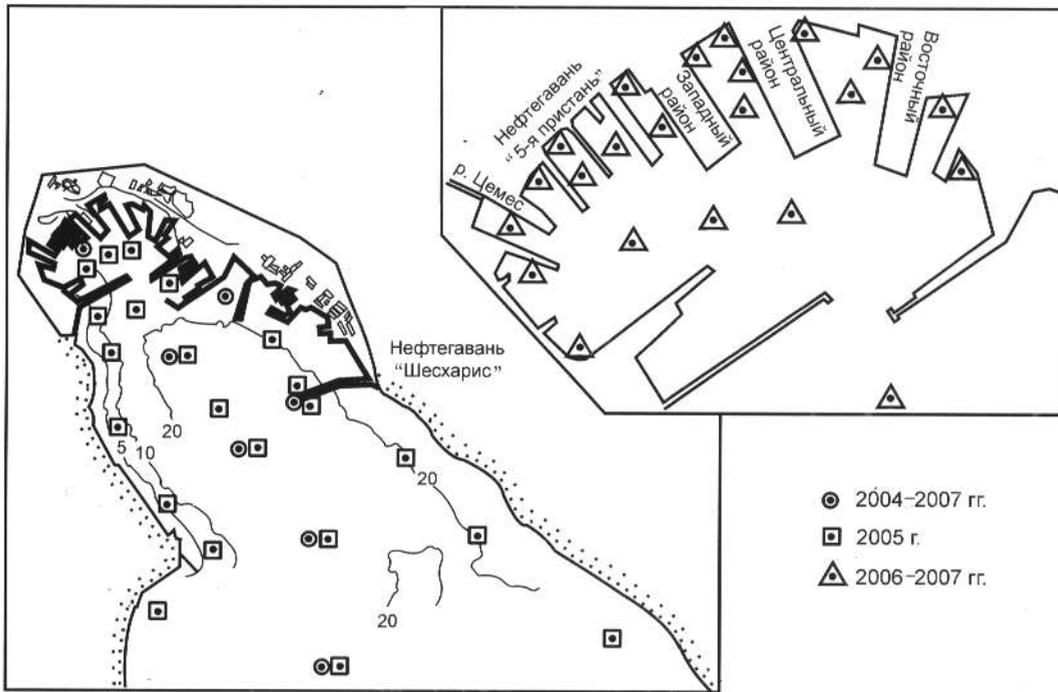


Рис. 1. Схема Новороссийской бухты и станции отбора проб.

формация крайне необходима для понимания степени изученности видов-интродуцентов в территориальных черноморских водах и для разработки национальных и международных мер, направленных на улучшение качества морской среды и промысловых ресурсов.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В 2004–2005 гг. в Новороссийском порту Мурманским морским биологическим институтом Кольского научного центра РАН впервые в России были выполнены ежемесячные гидрохимические и гидробиологические исследования балластных вод коммерческих судов (соленость морской воды, голопланктон, меропланктон). В качестве изучаемых объектов были выбраны суда, загружающиеся нефтепродуктами в гаванях "Шесхарис" и "5-я пристань" (рис. 1). Образцы балластной воды отбирали с поверхности. Соленость воды измеряли аргентометрическим методом Мора с погрешностью не более 0.02% (ГОСТ 27384-87). Пробы зоопланктона из балластных танков концентрировали методом фильтрации 80–100 л воды через газ с ячейей 100 мкм. Всего собрано 145 проб.

В 2004–2007 гг. на постоянных станциях в Новороссийской бухте (рис. 1) проведены экосистемные исследования биоразнообразия: изучен фитопланктон, нанопланктон, микропланктон, голопланктон, меропланктон, ихтиопланктон,

макрозообентос и макрофитобентос. Всего отобрано 1063 пробы. Полный перечень флоры и фауны включал 417 таксонов (нано- и микропланктон – 30, фитопланктон – 109, мезопланктон – 73, меропланктон – 57, ихтиопланктон – 27, макрозообентос – 35, макрофитобентос – 86).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В марте–апреле 2004 г. зоопланктон в балластных водах был представлен 31 таксоном голопланктона и 15 таксонами меропланктона (Звягинцев, Селифонова, 2008) (табл. 1, 2). В балластных водах танкеров "Adriatiki", "Fedor" и "Proscky" были обнаружены несвойственные Черному морю организмы (всего 14 таксонов), в том числе веслоногие раки *Calanopia elliptica*, *Clausocalanus arcuicornis*, *Corycaeus furcifer*, *Ctenocalanus vanus*, *Oithona decipiens*, *O. brevicornis*, *Oncaea mediterranea*, *O. media*, *Paracalanus nanus* и *Temora longicornis*. Плотность зоопланктона колебалась от 1.3 до 60 тыс. экз/м³. Наибольшее количество зоопланктона обнаружено в балластных водах танкера "Proscky", причем 74% составляли копеподы семейства Acartiidae. Среди них преобладали виды нечерноморского происхождения. В пробе отмечена высокая плотность *Oithona nana*

Таблица 1. Некоторые параметры водяного балласта, ввезенного в Новороссийский порт в марте–апреле 2004 г.

Название танкера	Дата отбора	Температура, °С	Соленость, ‰	Объем, тыс. м ³	Страна, порт-донор
"Adriatiki"	04.03.04	7	25.91	7.3	Греция, Агио-Теодори
"Fedor"	11.03.04.	7	22.47	27.0	Италия, Триест
"Aegean Pride"	16.04.04	10	18.19	36.5	Франция, Фос-сюр-Мер
"Sea Falcon II"	23.04.04	11	17.74	27.3	Болгария, Бургас
"Proscky"	27.04.04	11	23.00	18.6	Греция, Салоники

Таблица 2. Таксономический состав и плотность зоопланктона (экз/м³) в водяном балласте танкеров, прибывших в Новороссийский порт в марте–апреле 2004 г.

Таксон	"Adriatiki"	"Fedor"	"Prosky"	"Aegean Pride"	"Sea Falcon II"
DINOPHYTA					
<i>Noctiluca scintillans</i> (Macartney) Kof et Swezy, 1921	–	–	70	160	1600
INFUSORIA					
<i>Favella ehrenberii</i> var. <i>helgolandica</i> (Clap., Lach.)	–	–	–	7450	28000
<i>Tintinnopsis</i> sp.	–	–	800	–	–
ROTATORIA					
<i>Synchaeta</i> sp.	–	4400	–	400	3200
POLYCHAETA (меропланктон)					
<i>Nereis</i> sp.	–	–	100	–	–
Spionidae gen. sp.	–	–	200	–	–
<i>Microspio</i> sp.	–	–	1000	–	–
<i>Microspio mecznikowianus</i> (Clap, 1868)	–	–	–	–	600
<i>Pygospio</i> sp.	–	–	1000	–	–
<i>Polydora cornuta</i> Bocs., 1802	–	–	200	–	–
<i>Magelona</i> sp.	–	–	50	–	–
Typhlocolecidae gen. sp.	–	–	1000	–	–
CLADOCERA					
<i>Penilia avirostris</i> Dana, 1849	20	–	–	–	–
<i>Pleopis polyphemoides</i> (Leuck., 1859)	20	–	–	–	–
COPEPODA					
<i>Acartia clausi</i> Giesbr., 1889	990	2480	10000	20480	10010
<i>A. margalefi</i> Alcaraz, 1976	–	–	10	–	–
<i>A. discaudata mediterranea</i> Steuer, 1929	–	–	10	–	–
<i>Acartia</i> sp. 1	–	–	10	–	–
<i>Acartia</i> sp. 2	–	240	35000	–	–
<i>Calanus euxinus</i> (Hulsemann, 1991)	–	10	–	10	–
<i>Calanopia elliptica</i> (Dana, 1849)	–	–	30	–	–
<i>Centropages ponticus</i> Karav., 1894	30	60	60	–	–
<i>C. kröyeri</i> Giesbr., 1892	30	–	–	–	–
<i>Clausocalanus arcuicornis</i> (Dana, 1849)	20	160	10	–	–
<i>Corycaeus furcifer</i> Claus, 1863	10	–	–	–	–
<i>Ctenocalanus vanus</i> Giesbr., 1888	–	40	–	–	–
<i>Labidocera brunescens</i> Czern., 1868	–	10	–	–	–
<i>Oithona nana</i> Giesbr., 1892	–	50	9800	–	–
<i>O. decipiens</i> Farran, 1913	20	10	–	–	–
<i>O. similis</i> Claus, 1866	–	50	–	–	3000
<i>O. brevicornis</i> Giesbr., 1891	–	10	–	–	–
<i>Oncaea mediterranea</i> (Claus, 1863)	–	10	–	–	–
<i>O. media</i> Giesbr., 1891	–	10	10	–	–
<i>Paracalanus parvus</i> (Claus, 1863)	10	100	–	80	–
<i>P. nanus</i> Sars, 1907	–	20	–	–	–
<i>Pontella mediterranea</i> (Claus, 1863)	–	–	–	10	–
<i>Pseudocalanus elongatus</i> (Boeck, 1864)	–	340	–	–	200
<i>Temora longicornis</i> Muller, 1792	–	120	–	–	–
Науплии Copepoda	80	740	–	90	1400
HARPACTICOIDA					
CIRRIPEDIA (меропланктон)					
<i>Amphibalanus improvisus</i> Darwin, 1854	–	–	220	110	600
<i>Chthamalus fragilis</i> (Darwin, 1854)	–	–	100	–	–

Таблица 2. Окончание

Таксон	"Adriatiki"	"Fedor"	"Prosky"	"Aegean Pride"	"Sea Falcon II"
DECAPODA (меропланктон)					
<i>Pilumnus hirtellus</i> (L., 1755)	—	10	—	—	—
<i>Pontophilus trispinosus</i> Hailston, 1835	—	—	10	—	—
ISOPODA	10	—	—	—	—
BIVALVIA (меропланктон)					
<i>Mytilus galloprovincialis</i> Lam., 1819	—	—	30	—	2400
Cardiidae gen. spp.	70	10	1000	—	—
GASTROPODA (меропланктон)	20	—	20	—	—

(10 тыс. экз/м³), доминировавшей среди копепод в Черном море до середины 80-х гг. XX столетия. Во время вспышки численности хищного гребневика-вселенца *Mnemiopsis leidyi* численность *O. nana* резко сократилась, и в настоящее время ее находки в этом водоеме редки (Ковалев, 2007; Селифонова, Шмелева, 2007). Среди меропланктона в балластных водах преобладали личинки нечерноморских полихет (3.5 тыс. экз/м³) и двустворчатых моллюсков (1 тыс. экз/м³), главным образом, виды родов *Microspio* и *Pygospio* с необычной морфологией, а также голопланктонные полихеты и личинки двустворчатых моллюсков из семейства Cardiidae. Известно, что в таком количестве меропланктон регистрируется в наиболее загрязненных прибрежных участках морей (Selifonova, 2006). В балластных водах танкера "Adriatiki" найдены представители тепловодного голопланктона *Penilia avirostris*, *Centropages kroyeri* и *C. ponticus*, нехарактерные для исследованного времени года. Подавляющую часть фауны, обнаруженной в балластных водах судна "Fedor", составляли коловратки рода *Synchaeta* (4.4 тыс. экз/м³) и копеподы семейства Acartiidae (2.7 тыс. экз/м³). В популяционной структуре акарции наряду с половозрелыми особями отмечены копеподитные и науплиальные стадии. Черноморский неритический планктон (инфузории-тинтиниды, коловратки-синхеты, меропланктон и мелкие копеподы отряда Harpacticoida и *Acartia clausi*) в заметном количестве присутствовал в балластных водах танкеров "Sea Falcon II" и "Aegean Pride", один из которых следовал из болгарского порта. Следовательно, наши данные подтверждают, что в большинстве случаев забор воды в балластные танки судов производился в соответствующих портовых районах.

Соленость воды в балластных цистернах танкеров колебалась от 17.7 до 25.9‰. Соленость воды в Черном море составляет 17–18‰, а в Средиземном – 30–35‰ (Сорокин, 1982; Суховей, 1986). Таким образом, лишь на двух танкерах – "Aegean Pride" и "Sea Falcon II" – соленость балластных вод соответствовала таковой черноморской воды (17.74–18.19‰). Из этого следует, что экипажи коммерческих судов нарушают Международную конвенцию и фальсифицируют записи о замене водяного балласта в судовых журналах (Международная конвенция..., 2005).

В 2004–2005 гг. в балластных водах были обнаружены несвойственные Черному морю жизнеспособные

организмы голо- и меропланктона. Большой интерес представляет находка личинок эвфаузиевых раков на стадиях калиптопис II и фурцилия I (рис. 2). Эвфаузииды – стенобионтные организмы, чрезвычайно требовательные к условиям обитания, что делает практически невозможным их содержание в искусственных условиях (Timofeev, Selifonova, 2005). Балластные цистерны танкера "Huntestern" были заполнены водой в порту Лимасол (Кипр) 24 сентября 2004 г., в пути судно находилось 5 сут. Обнаружение живых личинок эвфаузиид в балластных водах этого судна свидетельствует об их способности в течение достаточно длительного времени выживать в судовых цистернах. Причем организмы находятся в привычной среде не только во время транспортировки, но и после сброса балластных вод в водоем-реципиент, поскольку водные массы какое-то время сохраняют свои характеристики.

Сравнительный анализ балластных вод и биоразнообразия в Новороссийской бухте выявил основные "группы риска" инвазий в северо-восточную часть Черного моря. В первую очередь, это Copepoda и Polychaeta. Отметим, например, что танкер "Prosky" за один раз сбрасывает в бухту свыше 85 млн. экз. меропланктона. Личинки нечерноморских полихет семейства Spionidae неоднократно встречались в балластных водах. В 2001 г. плотность полихеты *Streblospio* sp., обнаруженной в устье р. Цемес (рис. 3), составляла 980 экз/м², а в 2007 г. она достигала 9 тыс. экз/м² (Мельник, Смоляр, 2002; Мурина и др., 2008). В Мировом океане обитают 4 вида этого рода, из них в Черном море (в некоторых озерах на побережье Болгарии) отмечен лишь *Streblospio shrubsolii*. Представители рода

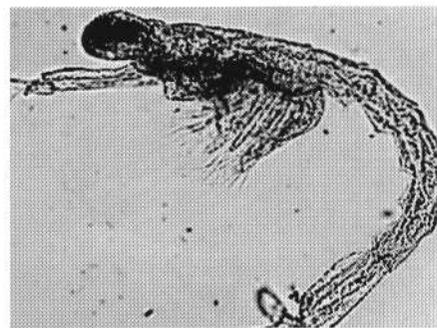


Рис. 2. Личинка эвфаузијевого рака на стадии фурцилия из балластных вод танкера "Huntestern".



Рис. 3. Общий вид полихеты *Streblospio* sp.

Streblospio доминируют в евтрофицированных слабосоленых водах, обладают устойчивостью к органическому обогащению грунтов и часто используются как индикаторы загрязнения. В Новороссийском порту биоценоз *Streblospio* sp. приурочен к устью р. Цемес (глубина 8–10 м, соленость воды 12.9‰). Этот мелкий червь размером до 10 мм населяет верхний слой илистого субстрата с запахом сероводорода. Осадки в устье р. Цемес относятся к высокоокисичным грунтам с содержанием метана 11.6 см³/кг, что является косвенным показателем наличия анаэробных процессов и крайне неблагоприятной экологической ситуации (Круглякова, 2002). Эдафические условия и гидрохимический режим в Новороссийском порту, по-видимому, оказались благоприятными для адаптации личинок *Streblospio* sp. к новым условиям существования и для образования донной материнской популяции.

По мнению Александрова (2004), с точки зрения вселения новых видов наиболее уязвимы для Черного моря приустьевые акватории и речные дельты. Под воздействием загрязнения здесь снижаются биоразнообразие экосистемы и ее устойчивость, появляются новые экологические ниши, которые заполняются вселенцами. Наиболее вероятен риск вселения в Новороссийскую бухту видов из средиземноморья, откуда поступает 62% балластных вод (рис. 4). Наглядным примером



Рис. 4. Происхождение балластных вод, сброшенных судами в Новороссийском порту (2004–2005 гг.).

инвазии могут служить периодические осенние вспышки плотности (до 1.6 тыс. экз/м³) в Новороссийском порту нового для фауны Черного моря веслоного рака *Oithona brevicornis* – обитателя прибрежных вод тропических и умеренных широт, в частности Средиземного моря (Шувалов, 1980). В 2003 г. в Новороссийском порту зарегистрирована первая вспышка плотности этого вида (Ю.А. Загородняя, устное сообщение); к сожалению, сведения о его обилии и размерно-половой структуре отсутствуют. В 2004 г. в Новороссийском порту автором данной статьи в летний и осенний сезоны найдено всего несколько половозрелых экземпляров *O. brevicornis*. В октябре 2005 г. плотность этого вида увеличилась до 1.6 тыс. экз/м³, а в октябре и ноябре 2006 г. она достигала 0.5 и 1.4 тыс. экз/м³ соответственно (Селифонова, 2009). Длина самок *O. brevicornis* составляла 0.5–0.6 мм, самцов – 0.45 мм. Половая структура популяции рачка в эти годы различалась. В октябре 2005 г. в популяции преобладали самки, из них 50% имели яйцевые мешки; в октябре–ноябре 2006 г. 80–90% популяции составляли неядучие самки и копеподиты старших возрастов; самцы и самки с яйцевыми мешками встречались в небольшом количестве (рис. 5). В 2005 и 2006 гг. численность *O. brevicornis* увеличивалась к концу осени, в феврале–мае этот вид в пробах не встречался. В 2007 г. в сентябрьских пробах было обнаружено всего несколько половозрелых особей *O. brevicornis*, а в октябре–декабре этот вид в планктоне отсутствовал.

Характер динамики развития популяции, доминирование копеподитов старших возрастов и самок с заметно развитыми яичниками позволяют предполагать, что в Новороссийском порту *O. brevicornis* образует временную популяцию, способную к размножению. По мнению Беклемишева (1969), временные или периодически возникающие зависимые популяции состоят из особей, которые проникают из независимых популяций вида в такие биотопы, где благоприятные для вида условия существуют с перерывами, по окончании благоприятного периода особи погибают. В Новороссийской бухте распространение *O. brevicornis* ограничивалось местами сброса балластных вод (порт и нефтегавань "Шесхарис"), что подтверждает его аллохтонное происхождение. Литературные сведения (Gubanova, Altu-

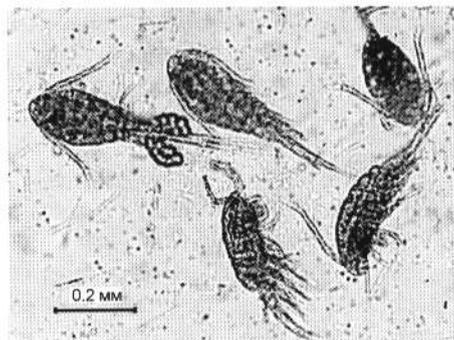


Рис. 5. *Oithona brevicornis* из проб, отобранных в Новороссийской бухте.

Таблица 3. Список средиземноморских видов *Soropoda*, обнаруженных в Новороссийской бухте в 2004–2005 гг.

Род (семейство): вид
<i>Acartia</i> (Acartiidae): <i>A. josephinae</i> Crisafi, 1974; <i>A. negligens</i> Dana, 1849.
<i>Calocalanus</i> (Paracalanidae): <i>C. pavoninus</i> Farran, 1936.
<i>Centropages</i> (Centropagidae): <i>C. kröyeri</i> Giesbr., 1892; <i>C. violaceus</i> (Claus, 1863).
<i>Clausocalanus</i> (Clausocalanidae): <i>C. furcatus</i> (Brady, 1883).
<i>Corycaeus</i> (Corycaeidae): <i>C. furcifer</i> Claus, 1863.
<i>Corycella</i> (Corycaeidae): <i>C. rostrata</i> Claus, 1863.
<i>Euterpina</i> (Tachydiidae): <i>E. acutifrons</i> (Dana, 1847).
<i>Microsetella</i> (Ectinosomatidae): <i>M. rosea</i> Dana, 1847.
<i>Oithona</i> (Oithonidae): <i>O. brevicornis</i> Giesbr., 1891; <i>O. decipiens</i> Farran, 1913; <i>O. plumifera</i> Baird, 1843; <i>O. simplex</i> Farran, 1913.
<i>Oncaea</i> (Oncaeidae): <i>O. clevei</i> Früchtl, 1923; <i>O. conifera</i> Giesbr., 1891; <i>O. dentipes</i> Giesbr., 1891; <i>O. mediterranea</i> (Claus, 1863); <i>O. media</i> Giesbr., 1891; <i>O. minuta</i> Giesbr., 1892; <i>O. subtilis</i> Giesbr., 1892; <i>O. venusta</i> Philippi, 1843; <i>O. venusta venella</i> Farran, 1929; <i>O. vodjanitskii</i> Shmel., Delalo, 1965; <i>O. zernovi</i> Shmel., 1966; <i>Oncaea</i> sp.
<i>Paracalanus</i> (Paracalanidae): <i>P. aculeatus</i> Giesbr., 1888; <i>P. indicus</i> Wolfenden, 1905; <i>P. denudatus</i> Swell, 1929; <i>P. nanus</i> Sars, 1907; <i>P. pygmaeus</i> Claus, 1863.
<i>Paroithona</i> (Oithonidae): <i>Paroithona</i> sp.
<i>Parvocalanus</i> (Paracalanidae): <i>P. crassirostris</i> (Dahl, 1894).
<i>Pleuromamma</i> (Phaennidae): <i>P. gracilis</i> (Claus, 1863).
<i>Saphirella</i> (Clausidiidae): <i>Saphirella</i> sp.
<i>Temora</i> (Temoridae): <i>T. stylifera</i> (Dana, 1849).

khov, 2007) и наши данные свидетельствуют об увеличении численности *O. brevicornis* в осенний период в портах Севастополя, Новороссийска и Туапсе, что говорит о его способности выживать в течение достаточно длительного времени на акватории портов. В свою очередь, это позволяет предполагать, что *O. brevicornis* может образовать независимую популяцию в черноморских водах.

Напомним, что в 2004–2005 гг. в Новороссийской бухте было обнаружено 36 видов средиземноморских копепоид (Селифонова, Шмелева, 2007) (табл. 3). Вполне вероятно, что многие из указанных видов являются случайной находкой (занесены с балластными водами). Общее количество средиземноморских *Soropoda*, обнаруженных в Черном море, достигает 100 таксонов (Селифонова, Шмелева, неопубликованные данные). Около 30% находок приходится на северо-восточную часть Черного моря (рис. 6). Многочисленные находки средиземноморских раков в западной части Черного моря связывают с их притоком через Босфор в процессе водообмена (Kovalev et al., 1998). Однако водообмен – не единственный путь проникновения чужеродной фауны в бассейн. Значительное количество средиземноморских видов на судоходных путях и в районах крупных портовых городов Крыма и Кавказа, вероятнее всего, можно объяснить их переносом в эти регионы с балластными водами коммерческих судов (Мурина и др., 2002; Gubanova, Altukhov, 2007; Селифонова, Шмелева, 2007; Selifonova et al., 2008; Шмелева и др., 2008). Особо следует отметить виды, регулярно встречающиеся в планктоне в районе портов Севастополя, Новороссийска и Туапсе. Это *Centropages kroyeri*, *Paracalanus indicus*, *P. aculeatus*, *O. brevicornis*, *O. decipiens*, *Oncaea media*, *O. mediterranea* и *O. venella*. Биологические инвазии с водным транспортом несомненно усилят про-

цесс медитерранизации черноморской фауны, что может привести к изменению исторически сложившегося нативного фаунистического комплекса.

В результате ежемесячного мониторинга балластных вод (март 2004 г. – октябрь 2005 г.) были сделаны первые шаги по планомерному изучению чужеродных видов в Новороссийском порту и разработана временная методика контроля судовых балластных вод. Метод включал исследование балластных вод (определение солёности, плотности морской воды) и экосистемный мониторинг акватории бухты (изучение планктона, бентоса, ихтиофауны) с последующей оценкой риска

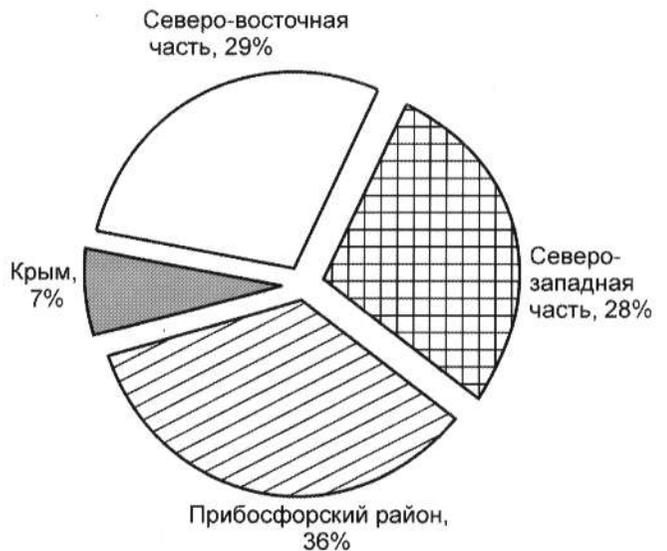


Рис. 6. Доля средиземноморских видов копепоид в различных районах Черного моря, % от общего числа видов копепоид (по: Pogumb, 1980; Виноградов и др., 1989; Kovalev et al., 1998; Селифонова, Шмелева, 2007).

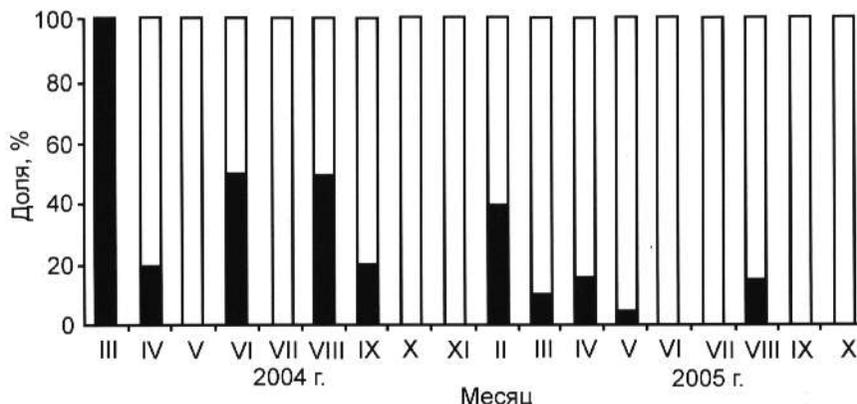


Рис. 7. Доля танкеров, прибывших в 2004–2005 гг. в Новороссийский порт для погрузки, без замены или с частичной заменой балластных вод (обозначено черным цветом).

инвазийных видов (Матишов, Селифонова, 2006, 2008). Выбранная методология наряду с ужесточением политики портовых властей привела к увеличению количества судов, предпринявших меры по управлению водяным балластом. В 2004 г. балластные воды были полностью заменены на более чем 70% танкеров, а в 2005 г. количество таких судов достигло 90% (рис. 7). Напомним, что замена балласта в Черном море является обязательной, если балласт был принят вне этого региона (Международная конвенция..., 2005).

ВЫВОДЫ

Анализ полученных данных позволяет утверждать, что балластные воды коммерческих судов – главный источник экологической опасности для внутренних и территориальных морских вод России. Отбор и анализ проб балластных вод являются одним из методов, позволяющих контролировать попадание потенциально опасных организмов в природную среду при сбросе балласта, а также оценивать эффективность мероприятий по управлению этими водами. Обнаружение в Новороссийском порту многощетинкового червя рода *Streblospio* подтверждает возможность антропогенной интродукции донной фауны в Черноморский бассейн. Наиболее вероятен риск вселения средиземноморских видов; основные "группы риска" биоинвазий – веслоногие раки и многощетинковые черви. В Новороссийской бухте зарегистрировано 36 видов средиземноморских копепод, в массовом количестве обнаружена новая для Черного моря циклопидная копепода *Oithona brevicornis*. Следовательно, судовые балластные воды могут стать главным фактором медитеранизации фауны веслоногих раков (Copepoda) в северо-восточной части Черного моря. Необходимо как можно скорее разработать научно обоснованную и обязательную для выполнения методологию контроля балластных вод в портах России. Это, в частности, позволит совместить положения Международной конвенции по контролю и управлению водяным балластом с существующими национальными морскими и прибрежными системами управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Александров Б.Г. Проблема переноса водных организмов судами и некоторые подходы к оценке риска новых инвазий // Мор. экол. журн. 2004. Т. 3, № 1. С. 5–17.
- Беклемишев К.В. Экология и биогеография пелагиали. М.: Наука. 1969. 289 с.
- Виноградов М.Е., Шушкина Э.А., Мусаева Э.И., Сорокин П.Ю. Новый вселенец в Черное море – гребневик *Mnemiopsis leidyi* (A. Agassiz) (Stenophora: Lobata) // Океанология. 1989. Т. 29, вып. 2. С. 293–299.
- Виноградов М.Е., Востоков С.В., Арашкевич Е.Г. и др. Особенности биологии гребневиков-вселенцев и их роль в экосистеме Черного моря // Виды-вселенцы в европейских морях России. Апатиты: КНЦ РАН. 2000. С. 91–113.
- Звягинцев А.Ю., Гук Ю.Г. Оценка экологических рисков, возникающих в результате биоинвазий в морские прибрежные системы Приморского края (на примере морского обрастания и балластных вод) // Изв. ТИНРО. 2006. Т. 145. С. 3–38.
- Звягинцев А.Ю., Селифонова Ж.П. Исследование балластных вод коммерческих судов в морских портах России // Рос. журн. биол. инвазий. 2008. № 2. С. 1–12 [http://www.sevin.ru/invasjour/issues/2008_2.html]
- Ковалев А.В. Почему копепода *Oithona nana* Giesbr. исчезла из планктона Черного моря в конце 80-х годов XX столетия? // Мор. экол. журн. 2007. Т. 6, № 1. С. 43. Укр. яз.
- Круглякова Р.П. Оценка техногенного загрязнения нефтепродуктами водной толщи донных осадков Новороссийской бухты // Геоэкологические исследования и охрана недр. М.: ООО "Геоинформцентр". 2002. Вып. 2. С. 11–19.
- Матишов Г.Г., Селифонова Ж.П. Опыт контроля водяного балласта торговых судов в Новороссийском порту // Вестн. ЮНЦ РАН. 2006. Т. 2, № 3. С. 62–66.
- Матишов Г.Г., Селифонова Ж.П. Новые аспекты научно-методических основ контроля судового водяного балласта в портах // Докл. РАН. 2008. Т. 422, № 4. С. 1–3.
- Международная Конвенция о контроле судовых балластных вод и осадков и управлении ими. СПб.: ЦНИМФ. 2005. 120 с.
- Мельник Р.Г., Смоляр Р.И. Динамка распределения сообществ макрозообентоса Новороссийской бухты (1997–2001 г.) // Геоэкологические исследования и охрана недр. М.: ООО "Геоинформцентр". 2002. Вып. 2. С. 62–67.
- Мурина Г.В., Шмелева А.А., Лисицкая Е.В. Годичный мониторинг меро- и голопланктона в океанариуме Севастополя

- польской бухты // Гидробиол. журн. 2002. Т. 38, № 3. С 3–11.
- Мурина В.В., Селифонова Ж.П., Мельник В.Ф. Находка многощетинкового червя *Streblospio* sp. (Polychaeta: Spionidae) в Новороссийском порту Черного моря // Мор. екол. журн. 2008. Т. 7, № 1. С. 46.
- Радашевский В.И., Ивин В.В., Звягинцев А.Ю. Создание базы данных по видам-вселенцам Северной Пацифики // Современные проблемы морской инженерной экологии: Тез. докл. междунар. науч. конф. (Ростов-на-Дону, 9–11 июня 2008). Ростов-на-Дону: ЮНЦ РАН. 2008. С 210–211.
- Селифонова Ж.П. *Oithona brevicornis* Giesbrecht (Copepoda: Cyclopoidea) в зоопланктоне портов северо-восточного шельфа Черного моря // Биол. внутренних вод. 2009. № 1. С. 33–35.
- Селифонова Ж.П., Шмелева А.А. Изучение фауны веслоногих раков Новороссийской бухты Черного моря и Азовского моря // Гидробиол. журн. 2007. Т. 43, № 5. С. 27–35.
- Сорокин Ю.И. Черное море. М.: Наука. 1982. 217 с.
- Суховай В.Ф. Моря Мирового океана. Л.: Гидрометеиздат. 1986. 288 с.
- Шмелева А.А., Мурина В.В., Гринцов В.А. и др. Беспозвоночные эстуария реки Черной (Севастополь, Черное море) // Бюл. МОИП. Отд. биол. 2008. Т. 113, № 5. С. 31–35.
- Шувалов В.С. Веслоногие рачки-циклопоиды семейства Oithonidae Мирового океана. Л.: Наука. 1980. 196 с.
- Aquatic invasions in the Black, Caspian, and Mediterranean Seas. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 2004. 313 p.
- Gubanova A., Altukhov D. Establishment of *Oithona brevicornis* Giesbr., 1882 (Copepoda: Cyclopoida) in the Black Sea // Aquat. Invasions. 2007. Vol. 2, no. 4. P. 407–410.
- Kovalev A., Besiktere S., Zagorodnyaya Yu., Kideys A. Mediterraneanization of the Black Sea zooplankton is continuing // Eco-system modeling as a management tool for the Black Sea. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers. 1998. Vol. 1. P. 199–207.
- Porumb F. Présence de quelques espèces méditerranéennes dans le zooplancton de la Mer noire // Rev. Roum. Biol. Ser. Biol. Anim. 1980. Vol. 25, no. 2. P. 167–170.
- Selifonova J.P. Taxonomic composition and distribution of meroplankton in the Novorossiysk Bay of the Black Sea // Acta Zool. Bulg. 2006. Vol. 58, no. 3. P. 387–394.
- Selifonova J.P., Shmeleva A.A., Kideys A.E. Study of copepod species from the western Black Sea in the cruise of r/v "Knorr" during May-June 2001 // Acta Zool. Bulg. 2008. Vol. 60, no. 3. P. 305–309.
- Timofeev S.F., Selifonova Zh.P. Euphausiid larvae in the ballast waters of commercial ships: evidence for a possibility for biological invasion // Crustaceana. 2005. Vol. 78, no. 11. P. 1395–1398.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИХТИОПЛАНКТОНА В ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО ЯПОНСКОГО МОРЯ В ИЮНЕ–ИЮЛЕ 2007 ГОДА¹

© 2009 г. А. С. Соколовский, Т. Г. Соколовская

Институт биологии моря ДВО РАН, Владивосток 690041

e-mail: inmarbio@mail.primorye.ru

Статья принята к печати 20.11.2008 г.

Сравнение результатов ихтиопланктонных съемок (97 станций), выполненных в июне–июле 2007 г., с данными исследований 50-х гг. прошлого столетия показало, что в настоящее время, как и 50 лет назад, в ихтиопланктоне восточной части зал. Петра Великого доминирует икра камбал (до 86%), преимущественно желтоперой *Limanda aspera* и желтополосой *Pleuronectes herzensteini*. Наиболее высокие концентрации икры этих видов отмечены в заливах Восток и Стрелок. Установлено, что интенсивность нереста камбал в 2007 г. была ниже, чем в середине прошлого столетия, однако роль восточной части зал. Петра Великого в воспроизводстве камбал остается значительной. Показана важность долговременных наблюдений в данном районе, подверженном возрастающему антропогенному воздействию.

Ключевые слова: ихтиопланктонная съемка, пространственное распределение, икра, личинки рыб, концентрация, мониторинг, камбалы.

Distribution of ichthyoplankton in the eastern Peter the Great Bay (Sea of Japan) in June–July 2007.
A. S. Sokolovsky, T. G. Sokolovskaya (Institute of Marine Biology, Far East Branch, Russian Academy of Sciences, Vladivostok 690041)

A comparison of results from ichthyoplankton surveys performed in June–July 2007 (97 stations) with data for the 1950s shows that at present, as 50 years ago, the ichthyoplankton of the eastern Peter the Great Bay is dominated by the eggs of flatfishes (up to 86%), primarily the yellowfin sole *Limanda aspera* and the brown sole *Pleuronectes herzensteini*. The concentration of eggs of these species was the highest in Vostok and Strelok bights. The spawning intensity of flatfishes in 2007 was lower than in the middle of the past century; however, the role of the eastern Peter the Great Bay for their reproduction remains as great as before. In view of high anthropogenic pressure, long-term monitoring is important in this area. (Biologiya Morya, Vladivostok, 2009, vol. 35, no. 3, pp. 220–224).

Key words: ichthyoplankton survey, distribution, fish eggs, larvae, concentration, monitoring, flatfishes.

В комплексе наблюдений за состоянием ихтиофауны значение ихтиопланктонных исследований особенно велико в тех районах, где они проводятся на протяжении достаточно длинного отрезка времени. В Японском море это зал. Петра Великого, в котором регулярные ихтиопланктонные съемки выполняются с 1949 г. (Веденский, 1949, 1951; Кагановская, 1954; Перцева-Остроумова, 1955, 1961; Нуждин, 1987; Давыдова, 1994).

Большой интерес при мониторинговых исследованиях зал. Петра Великого представляет его восточная часть, где расположены заливы второго порядка: Стрелок, Восток и Находка. Именно в этих районах в июне–июле 1951 и 1952 гг. совместными усилиями ученых Тихоокеанского научно-исследовательского рыбохозяйственного центра и Института океанологии АН СССР были проведены помесечные ихтиопланктонные съемки (Перцева-Остроумова, 1961). Сезон съемок был приурочен ко времени массового нереста промысловых видов камбал, который проходит в весенне-летний период в прибрежных мелководных районах (Моисеев, 1954; Иванков и др., 1972). Учет икры камбал позволяет оценить эффективность воспроизводства этих рыб в различных частях залива.

С 2003 г. в зал. Восток и прилегающих районах проводятся ежегодные комплексные ихтиологические работы,

включающие и сборы ихтиопланктона (Соколовский и др., 2005). В июне–июле 2007 г. район исследований был значительно расширен. В целях долгосрочного мониторинга состояния ихтиофауны мы попытались повторить ихтиопланктонные съемки 50-х гг. прошлого столетия и сопоставить полученные результаты с материалами более чем полувековой давности, чтобы более объективно оценить роль этого района в воспроизводстве камбал.

Материал и методика. В июне и июле 2007 г. на исследовательском судне "Профессор Насонов" были выполнены две ихтиопланктонные съемки. Сеть станций, орудия и методика проведения ловов были практически такими же, как и во время ихтиопланктонных съемок 1951–1952 гг. (рис. 1).

Ихтиопланктон собирали икорной сетью (ИКС-80), предназначенной для сбора икры и личинок рыб. Горизонтальный или поверхностный лов выполняли на самом малом ходу судна (на циркуляции) при скорости 3.0 узла, при этом сеть находилась в полупогруженном состоянии. Лов осуществляли в светлое время суток, его длительность составляла 10 мин. На отдельных станциях в прибрежной зоне, где в поверхностных слоях воды изобиловали плавающие куртины саргассумов или других макрофитов, длительность лова во избежание порыва ихтиопланктонной сети сокращали до

¹Работа выполнена при поддержке грантов "Биобезопасность ДВ морей России" (по программе Президиума РАН № 11), РАН (№ 06-04-96034), "Мониторинг биоразнообразия ДВ морей России" и ДВО–РФФИ (№ 06-04-96039) "Репродуктивная биология".

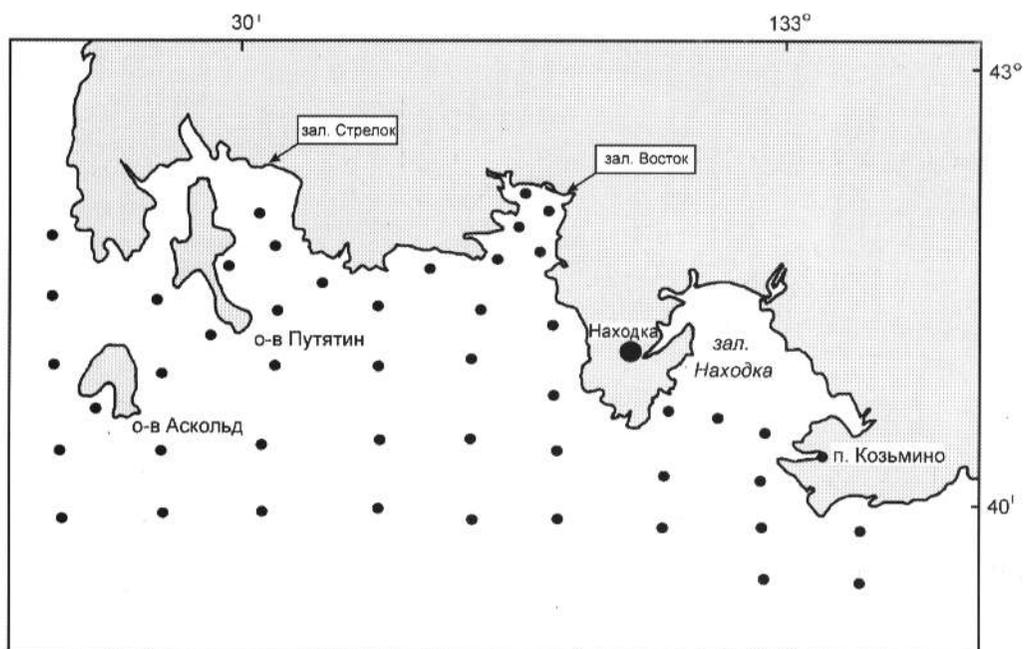


Рис. 1. Расположение икhtiопланктонных станций в восточной части зал. Петра Великого в 2007 г.

5–2 мин. Результаты таких ловов пересчитывали на 10-минутный лов.

Камеральную обработку икhtiопланктонных проб осуществляли в лаборатории икhtiологии Института биологии моря имени А.В. Жирмунского (ИБМ) ДВО РАН по методике, разработанной ранее (Соколовская, Беляев, 1987), с помощью микроскопа "Olympus" SZX9 и бинокля МБС-10. При идентификации икры камбал и других видов рыб руководствовались работами Перцевой-Остроумовой (1955, 1961). Диаметр каждой икринки, желтка и жировой капли (если таковая имелась) измеряли с помощью окуляр-микрометра бинокля МБС-10. Мелких личинок рыб измеряли с помощью

окуляр-микрометра с точностью до 0.1 мм, а более крупных – миллиметровой линейкой.

Для определения таксономического статуса личинок и мальков рыб северо-западной части Тихого океана (до 200 видов), собранной нами и хранящейся в лаборатории икhtiологии ИБМ ДВО РАН, определителем "An atlas of the early stages of fishes in Japan" (1987), а также собственными разработками (Соколовский, Соколовская, 1997, 2003).

Данные по каждой обработанной пробе заносили в икhtiопланктонные карточки; всего было собрано и обработано 94 пробы.

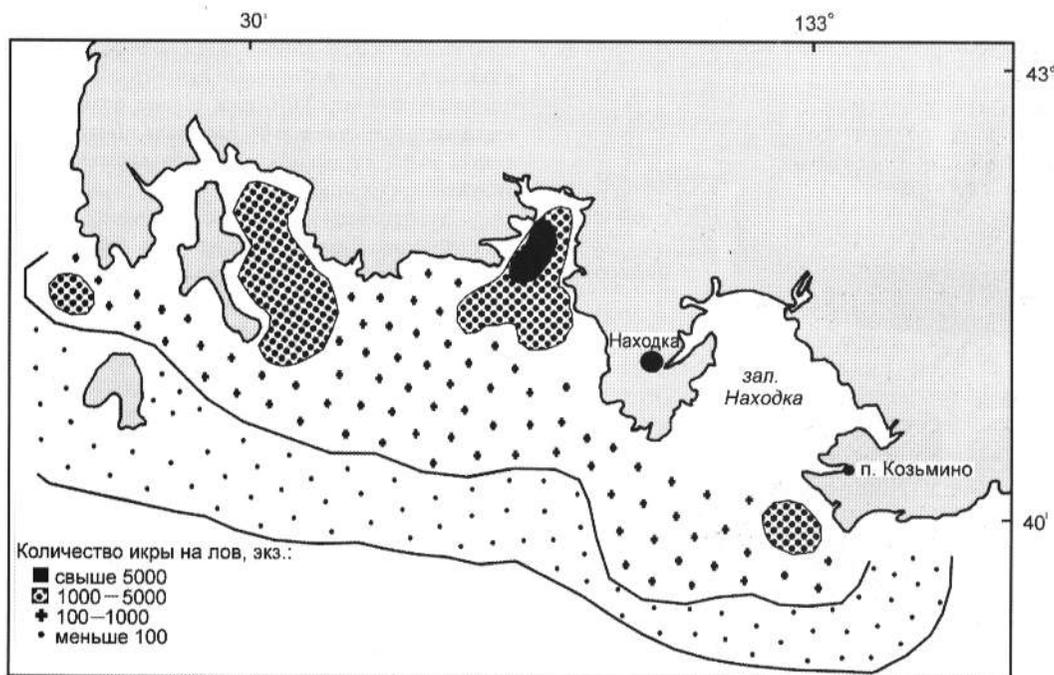


Рис. 2. Распределение икры в восточной части зал. Петра Великого в июне 2007 г.

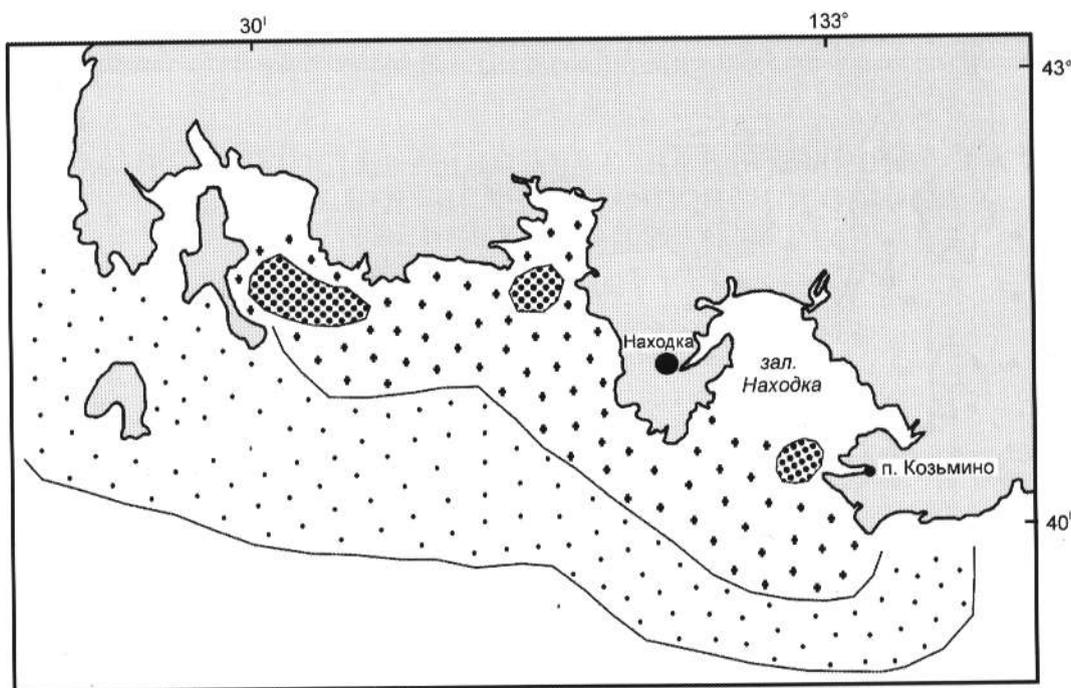


Рис. 3. Распределение икры в восточной части зал. Петра Великого в июле 2007 г. Условные обозначения, как на рис. 2.

Карты распределения икры рыб на исследуемой акватории составлены по принятым правилам интерполяции первичных данных между соседними станциями.

Результаты и обсуждение. Первая съемка (47 станций) была проведена 6–15 июня. Температура воды на поверхности в районе исследований в этот период изменялась от 10.6 до 14.0°C. Икра камбал и других видов рыб присутствовала практически в каждой ихтиопланктонной пробе, однако ее распределение по району исследований было неравномерным (рис. 2).

Все значительные скопления икры были приурочены к мелководной зоне с глубинами менее 50 м. Наиболее высокая концентрация икры (5685 экз/лов) отмечена в зал. Восток, причем основу уловов составляла икра желтоперой камбалы

Limanda aspera – до 5163 экз/лов. Второе место по численности занимала икра желтополосой камбалы *Pleuronectes herzensteini* – до 898 экз/лов.

Обширные площади со скоплениями икры свыше 1000 экз/лов были отмечены и в зал. Стрелок. Основу уловов, как и в зал. Восток, составляла икра двух видов камбал: желтоперой (до 1400 экз/лов) и желтополосой (до 704 экз/лов). Количество икринок малоротой камбалы *Glyptocephalus stelleri* в некоторых ихтиопланктонных пробах из зал. Стрелок достигало 620 экз/лов. Икра других видов камбал – палтусовидной *Hippoglossoides dubius* и длиннорылой *Limanda punctatissima* – присутствовала в пробах в небольшом количестве. В районе зал. Стрелок почти на каждой станции кроме икры камбал также в небольшом количестве встречалась икра японского анчоуса *Engraulis japonicus*. Там же 13 июня при температуре воды 12.0°C на куртинах плавающей саргассовой водоросли *Sargassum pallidum* была обнаружена характерная кладка икры японского полурыла *Hyporhamphus sajori* (940 отложенных икринок).

В восточной части исследованной акватории, прилегающей к зал. Находка, численность икры в ихтиопланктонных пробах в июне 2007 г. была невысокой (рис. 2). В небольшом скоплении икры на участке к югу от б. Козьмино доминировала икра недавно отнерестившегося японского анчоуса *E. japonicus* (до 1004 экз/лов), остальная икра принадлежала разным видам камбал. Икра других видов рыб в июньских ихтиопланктонных пробах не отмечена.

Пространственное распределение икры камбал в июне 2007 и 1951–1952 гг. в целом почти не различалось. Как и в настоящее время, основные концентрации икры в 50-е гг. были сосредоточены в районе заливов Восток и Стрелок. Максимальные уловы икры желтоперой камбалы (до 8344 экз/лов) были зарегистрированы в зал. Стрелок. В прошлом веке наиболее интенсивный нерест желтоперой камбалы проходил в восточной части Уссурийского залива, в частности в б. Андреева, где уловы ее икры достигали 14570 экз/лов (Перцева-Остроумова, 1961).

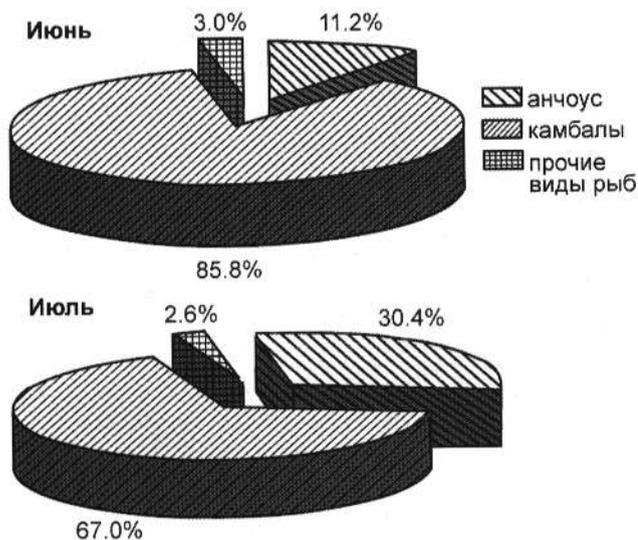


Рис. 4. Соотношение в уловах ихтиопланктонной сетью икры камбал, японского анчоуса и других видов рыб в июне и июле 2007 г. в восточной части зал. Петра Великого.

Максимальное количество икры (экз/лов) отдельных видов камбал по материалам ихтиопланктонных съемок в восточной части зал. Петра Великого в июне–июле 1951–1952 и 2007 гг.

Вид	1951–1952 гг.	2007 г.
Палтусовидная (<i>Hippoglossoides dubius</i>)	687	36
Желтоперая (<i>Limanda aspera</i>)	8344	5163
Остроголовая (<i>Cleisthenes herzensteini</i>)	325	505
Длиннорылая (<i>Limanda punctatissima</i>)	4055	81
Желтополосая (<i>Pleuronectes herzensteini</i>)	1322	898
Малоротая (<i>Glyptocephalus stelleri</i>)	640	620
Колочая (<i>Acanthopsetta nadeshnyi</i>)	400	Не встречена

Личинки рыб в июньских пробах отмечены на четырех станциях: на двух станциях в зал. Восток обнаружены личинки мойвы *Mallotus villosus* (4 и 2 экз.), а у о-ва Аскольд также на двух станциях – личинки шлемоносных бычков *Gymnocanthus* sp. (4 и 2 экз.).

Вторая ихтиопланктонная съемка (47 станций) была проведена 12–17 июля. Температура воды на поверхности в этот период изменялась от 15 до 18°C. Судя по количественному распределению икры, массовый нерест камбал практически завершился. Площадь относительно высокой концентрации икры (свыше 1000 экз/лов) по сравнению с таковой в июне существенно уменьшилась (рис. 3). Как и в июне, в уловах ихтиопланктона доминировала икра желтоперой камбалы – до 865 экз/лов. В июле в пробах была обычной и икра малоротой камбалы – до 470 экз/лов. Икра желтополосой камбалы, которая в июне по численности была на втором месте, в июле в небольшом количестве (менее 40 экз/лов) встречалась лишь на отдельных станциях. Очевидно, нерест у этого вида камбал практически завершился. В то же время, в июле в районе южнее зал. Восток отмечены скопления икры остроголовой камбалы *Cleisthenes herzensteini* – до 505 экз/лов (рис. 3).

Распределение икры промысловых видов камбал в июле 2007 г. в основном было таким же, как и в июне. Небольшое пятно повышенной концентрации икры желтоперой камбалы обнаружено в июле у б. Козьмино. Кроме икры камбал в ихтиопланктонных пробах, взятых в районе исследования в июле, присутствовала икра японского анчоуса (до 520 экз/лов), а в зал. Восток на трех станциях икра пиленгаса *Lisa haematocheila* – до 7–8 икринок в пробе. Интенсивность нереста камбал в июле снижалась, в результате этого изменилось и соотношение видов в ихтиопланктоне: большую роль в нем стала играть икра японского анчоуса (рис. 4).

В июльских пробах больше, чем в июньских, отмечено личинок рыб, в первую очередь японского анчоуса. В зал. Восток встречались личинки иглы-рыбы *Syngnathus schlegeli* и липариса *Liparis* sp. Личинки рыб семейства Cottidae (5 экз.) присутствовали в пробах ихтиопланктона, взятых у южной оконечности о-ва Путятин. Следует отметить, что материалы по личинкам рыб в поверхностном ихтиопланктоне не дают полного представления об их видовом составе в районе исследований, так как дневные ловы непоказательны. У личинок всех видов хорошо выражена суточная вертикальная миграция: в светлое время они, как правило, перемещаются из поверхностных горизонтов в более глубокие.

Для сравнения полученных нами результатов по численности икры рыб в восточной части зал. Петра Великого с данными 50-х гг. мы сочли корректным сопоставить сведения по максимальным уловам за 10-минутный горизонтальный лов по отдельным видам камбал (см. таблицу), так как считать средние уловы икры отдельных видов камбал по материалам Перцевой-Остроумовой (1961) не представляется

возможным. Как видно из приведенных материалов (см. таблицу), во время съемок 2007 г. максимальное количество икры на один горизонтальный лов икорной сетью таких видов камбал, как остроголовая, малоротая и желтополосая, почти не отличалось от такового в период исследований 1951–1952 гг. Существенно выше, чем в 2007 г., в 50-е гг. были максимальные уловы икры палтусовидной, желтоперой и длиннорылой камбал.

Данные наших съемок показывают, что восточная часть зал. Петра Великого как место воспроизводства камбал по-прежнему имеет большое значение, а высокие показатели численности икры ряда видов вселяют надежду на постепенное восстановление их запасов. Полученные материалы могут использоваться как сравнительная база при дальнейших ихтиопланктонных наблюдениях в данном районе.

Авторы выражают признательность капитану НИС "Профессор Насонов" С.Д. Олейнику за четкое выведение судна на плановые точки взятия проб, а также членам экипажа этого судна за непосредственную помощь в работе с ихтиопланктонной сетью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Веденский А.П. Опыт поиска скоплений минтая по плавающей икре // Изв. ТИНРО. 1949. Т. 29. С. 35–49.
- Веденский А.П. О методике горизонтального лова икорной сеткой // Изв. ТИНРО. 1951. Т. 35. С. 188–189.
- Давыдова С.В. Встречаемость икры дальневосточной сардины и японского анчоуса в заливе Петра Великого (Японского моря) // Изв. ТИНРО. 1994. Т. 115. С. 130–136.
- Иванков В.Н., Иванкова З.Г., Волкова Т.Д. Типы икрометания и сроки нереста камбал залива Петра Великого // Уч. зап. ДВГУ. 1972. Т. 60. С. 49–61.
- Кагановская С.М. О распределении икры и личинок некоторых рыб в зал. Петра Великого // Изв. ТИНРО. 1954. Т. 42. С. 165–175.
- Моисеев П.А. Треска и камбалы дальневосточных морей // Изв. ТИНРО. 1954. Т. 40. 288 с.
- Нуждин В.А. Распределение икры и личинок минтая в северо-западной части Японского моря // Популяционная структура, динамика численности и экология минтая. Владивосток: ТИНРО. 1987. С. 74–80.
- Перцева-Остроумова Т.А. Определительные таблицы пелагической икры рыб зал. Петра Великого // Изв. ТИНРО. 1955. Т. 43. С. 1–26.
- Перцева-Остроумова Т.А. Размножение и развитие дальневосточных камбал. М.: Изд. АН СССР. 1961. 484 с.
- Соколовская Т.Г., Беляев В.А. Рекомендации по сбору и обработке ихтиопланктона зоны течения Куроисио. Владивосток: ТИНРО. 1987. 70 с.
- Соколовский А.С., Соколовская Т.Г. К идентификации личинок шлемоносных бычков залива Петра Великого

- (Японское море) // Изв. ТИНРО. 1997. Т. 122. С. 567–574.
- Соколовский А.С., Соколовская Т.Г.* Личинки и мальки рыб рода *Liparis* (Pisces, Liparidae) из северо-западной части Японского моря // Биол. моря. 2003. Т. 29, № 5. С. 339–350.
- Соколовский А.С., Соколовская Т.Г., Долганов С.М.* Таксономический состав ихтиофауны залива Восток: Материалы Дальневост. конф. "Сохранение морской биоты", 4–8 октября, 2005 г. Владивосток: Дальнаука. 2005. С. 23–24.
- An atlas of the early stages of fishes in Japan / Ed. M. Okiyama. Tokyo: Tokai Univ. Press. 1987. 1154 p.

ВЗАИМООТНОШЕНИЯ КОСАТКИ *ORCINUS ORCA* И СИВУЧА *EUMETOPIAS JUBATUS* В РАЙОНЕ ОСТРОВА БРАТ ЧИРПОВЕВ (КУРИЛЬСКИЕ ОСТРОВА)¹

© 2009 г. П. А. Пермяков¹, В. Н. Бурканов²

¹Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН, Владивосток 690041;

²Камчатский филиал Тихоокеанского института географии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский 683000;
National Marine Mammal Laboratory, AFSC, NMFS, NOAA, Seattle, 98115, USA

¹e-mail: ampermax@mail.ru

²e-mail: Vladimir.Burkanov@noaa.gov

Статья принята к печати 29.01.2009 г.

На о-ве Брат Чирпове, одном из пяти крупнейших репродуктивных лежбищ на Курильских островах, наблюдали за размножением и поведением сивучей во время подходов к берегу косаток. Работы проводились в течение шести сезонов (в мае–июле 2002–2007 гг.). Общая продолжительность времени наблюдений составила 289 сут. Появление косаток у берега и поведение животных регистрировали визуально. За все время наблюдений косатки были отмечены у лежбища 104 раза. В подавляющем большинстве случаев (95 раз) сивучи не проявляли заметной реакции на появление хищников и между ними не происходило каких-либо взаимодействий. Ответная реакция сивучей в виде беспокойства проявлялась лишь при девяти подходах косаток, из которых попытки охоты косаток на сивучей отмечены в пяти случаях. В трех из них косатки атаковали сивучей, однако все атаки были unsuccessful. Отмечены два прямо противоположных типа ответной реакции сивучей на подход косаток – спасение на берегу (в трех случаях) и массовый сход животных с лежбища в воду с образованием плотной активно плавающей и вокализирующей группы (в шести случаях). Такое поведение отмечено у сивучей впервые. Результаты наблюдений указывают на низкую степень взаимоотношений двух видов в районе исследуемого лежбища и на отсутствие негативного влияния хищничества косаток на численность сивучей на о-ве Брат Чирпове в репродуктивный период.

Ключевые слова: сивуч, косатка, хищник–жертва, охотничье поведение, оборонительная тактика.

Interactions between the killer whale *Orcinus orca* and the Steller sea lion *Eumetopias jubatus* in the vicinity of Brat Chirpoev Island (Kuril Islands). P. A. Permyakov¹, V. N. Burkanov² (¹Pacific Institute of Oceanology, Far East Branch, Russian Academy of Sciences, Vladivostok 690041; ²Kamchatka Division of the Pacific Institute of Geography, Far East Branch, Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatski 683000; National Marine Mammal Laboratory, AFSC, NMFS, NOAA, Seattle, 98115, USA)

Observations of breeding Steller sea lions and their interactions with killer whales were performed between May–July for six consecutive seasons (2002–2007) in the area of Brat Chirpoev Island, which is one of the five largest sea lion rookeries in the Kuril Islands. Throughout the period of observation (289 days), killer whales were seen approaching the rookery 104 times. In ninety-five cases, the approach of killer whales had no noticeable effect on the sea lions. Harassment of sea lions was only observed on nine occasions. In five of these events, active stalking of sea lions occurred, and three of them culminated in attacks of killer whales, all unsuccessful. Two types of response were observed: either the sea lions hauled out on land (three cases) or, on the contrary, they left the rookery and formed dense groups, actively moving and vocalizing in the water (six cases). This is the first report of such social behavior in Steller sea lions. Because of the low frequency of near-shore hunting events and unsuccessful predation attempts by killer whales at the study site, we conclude that predation by killer whales has no significant impact on the Steller sea lion population breeding on Brat Chirpoev Island. (Biologiya Morya, Vladivostok, 2009, vol. 35, no. 3, pp. 225–228).

Key words: killer whale, Steller sea lion, predator–prey, hunting behavior, defensive tactics.

Сивуч является эндемиком северной части Тихого океана и широко распространен в водах Дальнего Востока России. В начале 1960-х гг. общая численность этого вида на Курильских островах оценивалась в 20 тыс. особей (Белкин, 1966). Несмотря на отсутствие промысла, к началу 1990-х гг. она сократилась на большей части ареала на 70–80% (Braham et al., 1980; Перлов, 1982; Челноков, 1983; Loughlin et al., 1992; Burkanov, Loughlin, 2005). Приблизительно в это же время наблюдалось снижение численности и других видов морских млекопитающих, например, обыкновенного тюленя *Phoca vitulina* и калана *Enhydra lutris* (см.: Pitcher, 1990; Burn,

Doroff, 2005). По мнению ряда авторов, одной из возможных причин значительного сокращения численности ластоногих, в частности сивучей, могло стать хищничество со стороны косаток (Loughlin, 1987; Williams et al., 2004). Однако в настоящее время практически отсутствуют фактические данные о взаимоотношениях косаток и сивучей. В нашей работе приведены данные наблюдений за поведением косаток и сивучей, полученные во время исследования биологии последних в 2002–2007 гг. (конец мая – третья декада июля) на о-ве Брат Чирпове, который входит в группу островов Черные Братья в центральной части Курильской гряды.

¹Работа выполнена при финансовой поддержке Национальной лаборатории США по изучению морских млекопитающих (NMML/AFSC/NMFS/NOAA) и Аляскинского центра исследований жизни моря (Alaska SeaLife Center).

Таблица 1. Продолжительность наблюдений и количество встреч косаток в 2002–2007 гг.

Показатель	2002	2003	2004	2005	2006	2007	Всего
Количество дней:							
пробытия на острове	37	50	51	53	56	42	289
с видимостью 300 м и более	30	46	37	41	45	38	237
Количество регистраций косаток	6	14	15	40	12	17	104

Материал и методика. Общая продолжительность работы на лежбище составила 289 сут. Лежбище сивучей располагается у юго-западной стороны острова на трех широких, отделенных друг от друга и наклонно спускающихся к морю базальтовых плитах. От уреза воды дно круто понижается, поэтому уже в нескольких метрах от лежбища глубина превышает 10 м. На расстоянии 50 м от берега вдоль лежбища тянется полоса зарослей ламинарии (*Laminaria* sp.) шириной 20–30 м. Между водорослями и берегом имеется пространство открытой воды, так называемое внутреннее озеро шириной около 50 м. Наблюдательный пункт располагался на склоне берега непосредственно над лежбищем на высоте около 70 м над уровнем моря. Наблюдали за лежбищем ежедневно с 6–7 ч утра до 10–11 ч вечера, регулярно (через 1–1.5 ч) осматривая прилегающую к лежбищу акваторию. Поведение косаток в зависимости от реакции сивучей относили к одной из четырех категорий: проход без задержки мимо лежбища; активность в районе лежбища, не вызывающая у сивучей заметной реакции; активность, не связанная с охотой, но вызывающая беспокойство сивучей; охота на сивучей. Для наблюдения использовали бинокли (БП 8 × 30) и подзорные трубы (Bausch and Lomb, ЗРТ × 15–60). Расстояние до животных определяли на глаз, результаты наблюдений записывали в журнал. Для фото- и видеодокументации использовали фотоаппарат Canon EOS Rebel и видеокамеру Sony. Статистическая обработка материалов выполнена с использованием статистических средств приложения MS Office Excel.

Результаты. За все время наблюдений косаток видели в районе лежбища 104 раза (табл. 1). В среднем косатки появлялись в пределах видимости от 6 до 40 раз за сезон. Численность косаток в группах варьировала от 1 до 23 особей. В большинстве случаев (62%) косатки находились на значительном удалении от берега (> 300 м) (табл. 2А); в 40 случаях они подходили к лежбищу ближе 300 м, однако проявляли интерес к сивучам лишь в пяти случаях (табл. 2Б).

Три раза хищники приблизились к лежбищу открыто со стороны моря и перемещались вдоль полосы ламинарии на виду у лежащих на берегу тюленей. Такое "патрулирование" у лежбища продолжалось 30–50 мин. Дважды оно закончилось уходом хищников. В одном случае взрослая самка, преодолев на большой скорости заросли ламинарии, пыталась поймать сивуча в воде у самого берега. Попытка оказалась неуспешной, и косатка, круто развернувшись у линии прибой, снова вышла за полосу водорослей. Два раза косатки внезапно появлялись у лежбища уже во внутреннем озере между полосой водорослей и берегом. Они стремительно двигались вдоль линии прибой и атаковали плавающих в воде сивучей. Обе атаки закончились промахами, и сразу после завершения бросков хищники отошли от лежбища за границу зарослей ламинарии. В обоих случаях продолжительность пребывания косаток у лежбища не превышала 10 мин. Повторных атак хищников мы не наблюдали.

Сивучи не обращали внимания на косаток, находящихся на удалении более 100 м от лежбища. При приближении хищников на расстояние менее 100 м тюлени в половине случаев проявляли беспокойство (табл. 2). В трех случаях сивучи оставались на берегу и громким ревом сопровождали каждое появление на поверхности воды фонтанов и спинных плавников. Находящиеся в воде тюлени не стремились выйти на лежбище и оставались в зарослях ламинарии. В шести случаях при появлении косаток до трети находившихся на берегу сивучей в панике сходили в воду и оставались там до ухода хищников. В воде они разделялись на две неравные группы. Меньшая, состоящая из взрослых самцов, сбившихся в плотную подвижную группу, находилась в полосе водорослей непосредственно напротив косаток. Примерно вдвое большая по численности вторая группа, состоящая из самок и молодых животных, находилась ближе к берегу. Обе группы сивучей активно перемещались по прибрежной акватории, то соединяясь, то снова разъединяясь и активно вокализируя в ответ

Таблица 2. Сведения о встречах и активности косаток в 2002–2007 гг.

Показатель	Количество встреч по годам						Всего	%	В среднем за сезон		
	2002	2003	2004	2005	2006	2007			M(X)	SD	Cv
А. Распределение числа визуальных регистраций косаток в зависимости от расстояния до них от лежбища											
Более 1000 м	3	5	5	9	4	0	26	25	4	2.9	67.9
От 1000 до 300 м	1	5	4	18	3	7	38	37	6	6.1	95.6
От 300 до 100 м	1	2	4	5	3	7	22	21	4	2.2	58.9
Менее 100 м	1	2	2	8	2	3	18	17	3	2.5	84.3
Б. Характеристика и повторяемость различных видов поведения косаток в районе лежбища											
Следование без задержки мимо лежбища	5	7	15	30	8	12	77	74	12.8	9.2	71.3
Активность, безразличная по отношению к сивучам	0	4	0	7	2	5	18	17	3.0	2.8	94.3
Поведение, вызывающее беспокойство сивучей, но не сопровождающееся атаками	0	1	0	1	2	0	4	4	0.7	0.8	122.5
Нападения на сивучей	1	2	0	2	0	0	5	5	0.8	1.0	118.0
Всего	6	14	15	40	12	17	104	100	17.3	11.7	67.6

на каждое появление косаток. При этом тюлени не выходили за полосу прибрежных водорослей, которые, очевидно, казались им надежным укрытием. Из оставшихся на лежбище животных одни громким ревом реагировали на появление косаток, другие были безразличны к происходящему. Поведение сивучей возвращалось к нормальному в течение часа после ухода хищников: звери выходили на берег и успокаивались.

Обсуждение. Поведение косаток во время охоты на сивучей укладывается в рамки описанных ранее охотничьих тактик этого вида. Патрулирование полосы водорослей, сопровождающееся атакой со стороны моря, может быть отнесено к так называемой загонной охоте (corralling) (Lopez, Lopez, 1985), в то время как нападение, направленное вдоль линии берега, соответствует прибрежной охоте (near-shore foraging) (Baird, Dill, 1995).

Необычным было поведение сивучей. Только в трех случаях из девяти во время появления косаток сивучи оставались на берегу. В шести случаях находящиеся на лежбище животные в панике сходили в воду навстречу хищникам. При этом они образовывали две плотные группы, отличающиеся по численности и возрастно-половому составу. Объединение в группу для противодействия хищникам является обычной формой защитного поведения стадных животных. По сообщениям рыбаков, подобное поведение наблюдается у сивучей и в открытом море. Однако массовый сход сивучей с лежбища в воду при появлении у берега косаток противоречит логике и, возможно, обусловлен не самим подходом косаток, а паникой, вызываемой отдельными сивучами, неожиданно увидевшими косаток у берега. Большая часть животных оказывалась в воде, вероятно, даже не понимая источника опасности. Такие массовые сходы сивучей с лежбища в воду, спровоцированные, например, скатыванием камней со склона берега, тенью резко пикирующих птиц или другими неожиданными явлениями, случаются на лежбище регулярно. Поведение оказавшихся в воде сивучей аналогично их поведению при встрече с хищниками в открытом море. Объединение в большую группу как защитная реакция на нападение косаток отмечено и у другого вида ушастых тюленей – южного морского льва *Otaria flavescens* (см.: Briga et al., 2005).

Таким образом, полученные данные показывают, что в большинстве случаев косатки проходили мимо лежбища сивучей, не проявляя интереса к большому скоплению потенциальных жертв. Такое поведение хищников, питающихся морскими млекопитающими, кажется не совсем логичным. Возможно, это связано с тем, что в большинстве случаев косатки относились к рыбацкому экотипу (Bigg et al., 1990), возможно также, что они просто не замечали сивучей. Из-за большого расстояния мы не могли определить экотип косаток. В то же время трудно согласиться и с тем, что косатки не замечали сивучей. Если эти хищники регулярно питаются тюленями, им должны быть хорошо знакомы места скоплений сивучей не только в районе островов Черные Братья, но и на большей части Курильской Гряды, поскольку район охоты хищных косаток простирается на сотни километров (Baird, Dill, 1995). По нашему мнению, безразличие косаток к лежбищу обусловлено низким приоритетом сивучей в их диете.

Сивучи, как правило, не реагировали на появление косаток в районе лежбища. На большом расстоянии (более 100 м) они едва ли видели хищников, так как острота зрения сивучей на воздухе невысокая (Андреев, 1978), а звуки вдохов-выдохов косаток, вероятно, неслышны на лежбище из-за постоянного шума прибоя и рева зверей. В большинстве случаев находившиеся в воде сивучи могли не реагировать

на косаток и по той причине, что по поведению и характеру акустической активности определяли их как неопасных представителей рыбацкого экотипа (Baird, Stacey, 1988; Deecke et al., 2005).

Судя по большим межгодовым колебаниям в количестве подходов косаток к острову и по высоким коэффициентам вариации показателей встреч этих хищников и их активности (табл. 1, 2), подход косаток к о-ву Брат Чирпоев обусловлен не наличием там лежбища сивучей и потенциальной пищи, а какими-то другими переменными, которые остались за пределами нашего наблюдения и анализа. На случайность подходов косаток к лежбищу указывает и слабая корреляция между количеством встреч и продолжительностью наблюдений на острове ($r = 0.44$) (табл. 1).

Поскольку охота косаток на таких крупных морских млекопитающих, как сивуч, является хорошо заметным и визуально надежно регистрируемым событием, мы не могли пропустить его при данной интенсивности наблюдений, даже если бы оно происходило на расстоянии нескольких сотен метров от лежбища. Таким образом, наши исследования 2002–2007 гг. позволяют сделать вывод, что хищничество косаток не может быть существенным фактором, влияющим на численность сивучей репродуктивного лежбища о-ва Брат Чирпоев.

Мы искренне признательны В.С. Дьячкову, В.В. Кошечеву и П.Г. Паршуту за помощь в проведении наблюдений, а также благодарны В.А. Буркановой, Е. Гурари, Е.Г. Мамаеву, В.В. Мельникову, А.М. Трухину и Т.С. Шулежко за помощь в подготовке этой статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Андреев Ф.В. Функциональная морфология глаза ластоногих // Морские млекопитающие. М.: Наука. 1978. С. 6–16.
- Белкин А.Н. Летнее распределение, запасы, перспективы промысла и некоторые черты биологии сивуча, обитающего на Курильских островах // Изв. ТИНРО. 1966. Т. 58. С. 69–95.
- Перлов А.С. О снижении численности сивучей: Тез. докл. 8-го Всесоюз. совещ. по изучению, охране и рациональному использованию морских млекопитающих, Астрахань, 5–8 сентября 1982 г. С. 284–285.
- Челюков Ф.Г. Численность сивучей и их взаимоотношения с котиками на юго-восточном лежбище острова Медный (Командорские острова) // Биол. моря. 1983. № 4. С. 20–24.
- Baird R.W., Dill L.M. Occurrence and behaviour of transient killer whales: seasonal and pod-specific variability, foraging behaviour and prey handling // Can. J. Zool. 1995. Vol. 73. P. 1300–1311.
- Baird R.W., Stacey P.J. Foraging and feeding behavior of transient killer whales // Whalewatcher. 1988. Vol. 22, no. 1. P. 11–15.
- Bigg M.A., Olesiuk P.F., Ellis G.M. et al. Social organization and genealogy of resident killer whales (*Orcinus orca*) in the coastal waters of British Columbia and Washington State // Repts. Int. Whaling Comm. Spec. Iss. 1990. Vol. 12. P. 383–405.
- Braham H.W., Everitt R.D., Rugh D.J. Northern sea lion population decline in the eastern Aleutian Islands // J. Wildlife Manag. 1980. Vol. 44, no. 1. P. 25–33.
- Briga M., Holsbeek L., Cammareri A.J. Killer whale predation on sea lions at Punta Norte, Argentina: sea lion antipredatory behaviour and evolution of predatory interactions // Proc. 19th Annu. Conf. of the European Cetacean Society. La Rochelle, France. 2005. P. 53.

- Burkanov V.N., Loughlin T.R.* Distribution and abundance of Steller sea lions, *Eumetopias jubatus*, on the Asian coast, 1720's-2005 // *Mar. Fish. Rev.* 2005. Vol. 67, no. 2. P. 1–62.
- Burn D.M., Doroff A.M.* Decline in sea otter (*Enhydra lutris*) populations along the Alaska Peninsula, 1986–2001 // *Fish. Bull.* 2005. Vol. 103, no. 2. P. 270–279.
- Deecke V.B., Ford J.K.B., Slater P.J.B.* The vocal behaviour of mammal-eating killer whales: communicating with costly calls // *Anim. Behav.* 2005. Vol. 69. P. 395–405.
- Lopez J.C., Lopez D.* Killer whales (*Orcinus orca*) of Patagonia, and their behavior of intentional stranding while hunting nearshore // *J. Mammal.* 1985. Vol. 66, no. 1. P. 181–183.
- Loughlin T.R.* Report of the Workshop on the Status of Northern Sea Lions in Alaska. Natl. Mar. Mammal Lab. Seattle, Washington. 1987. P. 28.
- Loughlin T.R., Perlov A.S., Vladimirov V.A.* Range-wide survey and estimation of total number of Steller sea lions in 1989 // *Mar. Mammal Sci.* 1992. Vol. 83, no. 3. P. 220–239.
- Pitcher K.W.* Major decline in number of harbor seals, *Phoca vitulina richardsi*, on Tugidak Island, Gulf of Alaska // *Mar. Mammal Sci.* 1990. Vol. 6, no. 2. P. 121–134.
- Williams T.M., Estes J.A., Doak D.F., Springer A.M.* Killer appetites: assessing the role of predators in ecological communities // *Ecology.* 2004. Vol. 85, no. 12. P. 3373–3384.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК *OITHONA SIMILIS* (COPEPODA: CYCLOPOIDA) В БЕЛОМ МОРЕ

© 2009 г. В. Г. Дворецкий, А. Г. Дворецкий

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, Мурманск 183010

e-mail: vdvoretskiy@mmbi.info

Статья принята к печати 29.01.2009 г.

Проанализирована пространственная изменчивость размеров тела и морфологических структур в популяции массового планктонного рачка *Oithona similis* в Белом море. Отмечена тенденция к снижению длины цефалоторакса самцов с севера на юг. Относительная длина антеннул у рачков увеличивалась по мере продвижения от центральной части моря к северной, а также от восточной к западной. Выявлена прямая связь между соленостью воды и средними размерами рачков и обратная связь с абсолютной (и относительной) длиной антеннул. Обнаруженные морфологические вариации имеют адаптивное значение и детерминируются факторами среды.

Ключевые слова: *Oithona similis*, морфология, температура, соленость, Белое море.

Variability of morphological characteristics in *Oithona similis* (Copepoda: Cyclopoida) in the White Sea. V. G. Dvoretsky, A. G. Dvoretsky (Murmansk Marine Biological Institute, Kola Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Murmansk 183010)

The spatial variability of the body size and morphological structures of the planktonic copepod *Oithona similis* in the White Sea was studied. From north to south, there was a tendency for the male cephalothorax length to decrease. In moving from the central to the northern part of the sea and from the eastern to the western part, the relative antennules length in both sexes increased. The average body size of copepods was positively and the absolute (and relative) lengths of the antennules were negatively correlated with water salinity. The morphological variations have adaptive significance and are determined by environmental factors. (Biologiya Morya, Vladivostok, 2009, vol. 35, no. 3, pp. 229–232).

Key words: *Oithona similis*, morphology, temperature, salinity, White Sea.

Веслоногие ракообразные (Copepoda) доминируют в составе зоопланктона северных и арктических морей. В Белом море наибольшую среднегодовую численность имеют *Pseudocalanus minutus* Kroyer, 1845; *Calanus glacialis* Jaschnov, 1955; *Metridia longa* Lubbock, 1854 и *Oithona similis* Claus, 1866. Биология крупных видов изучена достаточно хорошо (Прыгункова, 1974; Pertzova, Kosobokova, 2001), в то время как данных о мелких видах, в том числе *O. similis*, недостаточно. Плотность популяции ойтоны в Белом море высока в течение всего года (400–6000 экз/м³, иногда свыше 10 000 экз/м³). На ее долю в отдельные сезоны приходится до 90–95% суммарного обилия зоопланктона (Иванова, 1963; Прыгункова, 1974). Сравнительное исследование морфологических особенностей популяций этого вида имеет практическое значение с точки зрения проблемы биологических индикаторов при характеристике гидрологического режима отдельных акваторий. Ранее морфологическая изменчивость *O. similis* в Белом море была исследована Шуваловым (1964, 1965). Основное внимание автор уделял изучению вариаций размеров тела рачков на акватории Кандалакшского залива. Целью нашей работы было исследование изменчивости размеров и отдельных морфологических структур *O. similis* в различных районах Белого моря в связи с гидрологическими условиями.

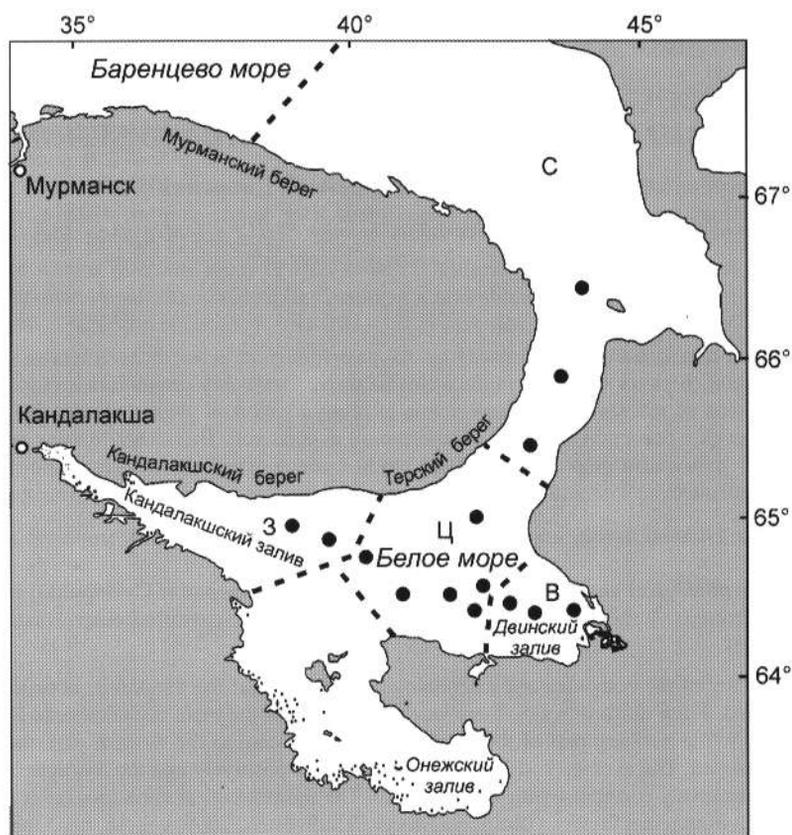
Материал и методика. Материалом послужили сборы зоопланктона, выполненные на 14 станциях в июне 2001 г. в ходе рейса НИС "Дальние Зеленцы" Мурманского морского биологического института РАН (см. рисунок). На каждой станции осуществляли тотальные ловы или ловы в слое 0–100 м сетью Джеди (168 мкм, 0.1 м²), измеряли температуру и соленость водной толщи. На основе кластерного анализа гидрологических характеристик станции были объединены в группы, соответствующие следующим условным районам: С – северный, В – восточный, Ц – центральный, З – западный (табл. 1).

Для исследования морфологической изменчивости из материала каждой зоны Белого моря отбирали по 50–100 экз. половозрелых самцов и самок *Oithona similis*. У рачков измеряли длину цефалоторакса (Lc), общую длину антеннул (La) и отношение длины антеннул к длине тела рачка (La/Lc, %). Всего проанализировано 1450 особей. Измерения осуществляли с использованием микроскопов МБС-10 и ЛОМО ЕС БИММ Р-11-1, последний был оборудован видеокамерой JVC ТК-С1380. Для выявления действия факторов среды на морфологические показатели *O. similis* использовали средневзвешенные значения температуры и солености воды. Математическую обработку данных вели методами описательной статистики и корреляционного анализа, сравнение средних проводили при помощи непараметрического критерия Манна-Уитни.

Результаты. Средняя длина цефалоторакса самок *Oithona similis* в пределах исследованной акватории варьировала незначительно. Установлены достоверные отличия длины тела самок при попарном сравнении С-З и Ц-З районов ($p = 0.009–0.018$). Самые крупные самки отмечены на востоке (табл. 2). Длина тела самцов была сходной во всех районах, и при парном сравнении акваторий достоверных отличий данного показателя не установлено ($p = 0.203–0.954$). Длина цефалоторакса у самок была достоверно больше, чем у самцов ($p < 0.001$).

Наименьшая длина антеннул у особей обоих полов отмечена в восточной части акватории, наибольшая – в северной (табл. 1). При попарном сравнении средней длины антеннул в разных районах во всех случаях выявлены достоверные отличия этих показателей как для самцов, так и для самок ($p = 0.026–0.001$).

Относительная длина антеннул у рачков увеличивалась по мере продвижения от центральной части моря к северной и



Карта-схема отбора проб зоопланктона в июне 2001 г. и границы условных районов Белого моря. Районы: С – северный, Ц – центральный, В – восточный и З – западный.

от восточной к западной (табл. 2). Не удалось установить значимых отличий ($p = 0.305$) при сравнении данных показателей у самок в центральном и северном районах, в остальных случаях при парном сравнении показателей в разных районах отличия были достоверны ($p = 0.009-0.001$).

Значения относительной длины антеннул были достоверно более высокими у самцов во всех выделенных районах ($p < 0.001$).

Полученные значения морфологических показателей ойтаны (размеры тела, абсолютная и относительная длина антеннул) хорошо коррелировали с температурой и соленостью воды (табл. 3). В районах с относительно высокой соленостью и низкой температурой воды у рачков отмечены более длинные антеннулы и меньшая степень расчлененности тела. Также хорошо прослеживалась прямая связь между соленостью воды и средней длиной тела самцов и самок. Температура оказывала менее выраженный противоположный эффект на данные показатели.

Обсуждение. Наши данные по размерному составу популяции *Oithona similis* хорошо соотносятся с результатами,

полученными ранее для губы Чупа Белого моря (Шувалов, 1964, 1965). Анализ средних значений морфологических характеристик позволяет говорить о наличии в пределах исследованной акватории четырех группировок ойтаны, отличающихся по морфологическим показателям. Известно, что размеры веслоногих ракообразных подвержены значительной изменчивости в зависимости от сезона исследования.

Основной причиной, обуславливающей подобные вариации, большинство авторов считают температурный режим (Ковалев, 1964; Богоров, 1974). Поэтому различия в морфологии особей, отмеченные нами в исследованных районах, связаны, скорее всего, с вариациями факторов окружающей среды, главным образом, абиотических. Обратная корреляция температуры воды и средних размеров рачков характерна также для популяций *O. similis*, обитающих в водах канадской Арктики, в Гренландском, Северном и Баренцевом морях (Nielsen et al., 2002; Дворецкий, 2007, 2008), а также в море Ирмингера (Castellani et al., 2007). Однако в Белом море на длину тела рачков соленость оказывала более выраженное влияние, чем температура. Очевидно, основной причиной

Таблица 1. Гидрологические характеристики выделенных районов в Белом море в июне 2001 г.

Район	Температура, °С			Соленость, ‰		
	мин.	макс.	ср.	мин.	макс.	ср.
Северный	6.3	6.8	6.5	28.29	30.30	29.21
Центральный	6.7	8.6	7.7	26.92	27.44	27.19
Восточный	6.8	16.5	10.5	23.37	27.98	26.30
Западный	8.0	8.5	8.3	27.06	27.19	27.12

Примечание. Мин., макс., ср. – минимальное, максимальное и среднее значение параметра во всей водной тоще или в слое 0–50 м.

Таблица 2. Показатели морфологической изменчивости *Oithona similis* (среднее \pm ошибка среднего) в Белом море

Показатель	Район			
	северный	восточный	центральный	западный
	С а м ц ы			
Lc, мкм	414 \pm 23	413 \pm 22	409 \pm 22	412 \pm 22
La, мкм	653 \pm 15	603 \pm 14	615 \pm 17	629 \pm 18
La/Lc, %	158.3 \pm 7.4	146.9 \pm 8.2	150.0 \pm 6.8	153.6 \pm 7.1
	С а м к и			
Lc, мкм	461 \pm 33	463 \pm 31	462 \pm 32	462 \pm 31
La, мкм	708 \pm 12	632 \pm 29	698 \pm 20	666 \pm 24
La/Lc, %	150.1 \pm 9.9	134.6 \pm 5.0	149.4 \pm 10.9	141.4 \pm 7.5

Таблица 3. Корреляция морфологических характеристик *Oithona similis* с гидрологическими условиями

Показатель	Температура, °C		Соленость, ‰	
	r	P	r	P
	С а м ц ы			
Lc, мкм	-0.614	0.020	0.783	< 0.001
La, мкм	0.550	0.042	-0.805	< 0.001
La/Lc, %	0.641	0.013	-0.832	< 0.001
	С а м к и			
Lc, мкм	-0.693	0.006	0.775	0.001
La, мкм	0.632	0.015	-0.857	< 0.001
La/Lc, %	-0.595	0.025	0.508	0.064

Примечание. P – уровень значимости.

этого является то, что в Белом море амплитуда колебаний солености достигает 8‰, тогда как в высокоарктических морях, например в открытых районах Баренцева моря, в летний период она не превышает 3‰ (Матишов и др., 2000).

Мы показали наличие пространственных вариаций абсолютных и относительных показателей длины антеннул у *O. similis*. Большинство авторов считают, что строение отдельных внешних органов имеет приспособительное значение для морских ракообразных и подвергалось отбору в течение длительного периода времени (Maug, 1963; McLaughlin, 1979). Немаловажна и функция того или иного органа. Антеннулы у копепоид представляют собой органы, способствующие активному движению, парению, поиску и обнаружению добычи (Landry, 1980). Кроме того, у самцов они играют важную роль при копуляции (Шувалов, 1980). Судя по всему, обнаруженные нами вариации длины антеннул имеют адаптивное значение. Для обеспечения плавучести рачков очень важно, чтобы относительная площадь различных выростов тела была достаточно большой, что позволяет им "парить" в воде, не затрачивая энергию на перемещение из одного слоя в другой (Алеев, Хворов, 1985).

В нашем случае хорошо прослеживается тенденция к увеличению длины антеннул у рачков по мере продвижения от холодных районов с высокой соленостью к более теплым районам с относительно низкой соленостью. Скорее всего, это связано с понижением вязкости воды при повышении ее температуры и снижении солености. Помимо океанологических факторов определенную роль в формировании морфологических различий могут играть внутривидовые связи, особенно в тех случаях, когда наблюдается существенное отличие в соотношении самцов и самок в популяции.

Если учитывать, что антеннулы у самцов выполняют копулятивную функцию, можно предположить, что вариации длины этих структур обусловлены более высокой частотой спаривания в условиях, когда самцов в популяции гораздо меньше, чем самок.

Авторы благодарят к.г.н. Д.В. Моисеева за гидрологические данные, а также двух анонимных рецензентов за ценные замечания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алеев Ю.Г., Хворов С.А. Плавучесть как функция жизненных форм гидробионтов // Гидробиол. журн. 1985. Т. 21, № 6. С. 24–28.
- Богоров В.Г. Планктон Мирового океана. М.: Наука. 1974. 320 с.
- Дворецкий В.Г. Характеристика зоопланктона прибрежной зоны Восточного Мурмана Баренцева моря // Комплексные исследования процессов, характеристик и ресурсов российских морей Северо-Европейского бассейна. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН. 2007. Вып. 2. С. 441–452.
- Дворецкий В.Г. Распределение и репродуктивные свойства *Oithona similis* (Copepoda, Cyclopoidea) в южной части Баренцева моря // Вопр. рыболовства. 2008. Т. 9, № 1(33). С. 66–82.
- Иванова С.С. Зоопланктон губы Чупа // Материалы по комплексному изучению Белого моря. М.; Л.: Наука. 1963. Вып. 2. С. 17–31.
- Ковалев А.В. Сезонные изменения размеров некоторых пелагических Copepoda Черного моря // Зоол. журн. 1964. Т. 43, вып. 1. С. 133–136.

- Матишов Г., Макаревич П., Тимофеев С. и др. Биологический атлас морей Арктики 2000: планктон Баренцева и Карского морей // НОАА Атлас НЕСДИС 39. Вашингтон, округ Колумбия: Типография правительства США. 2000. 348 с.
- Прыгункова Р.В. Некоторые особенности сезонного развития зоопланктона губы Чупа Белого моря // Исслед. фауны морей. 1974. № 13(21). С. 4–55.
- Шувалов В.С. Сезонная изменчивость размеров *Oithona similis* Claus (Copepoda, Cyclopoida) в Белом море // Материалы рыбохозяйственных исследований Северного бассейна. 1964. Вып. 4. С. 68–72.
- Шувалов В.С. Сезонная изменчивость размеров и некоторые особенности биологии *Oithona similis* Claus (Copepoda, Cyclopoida) в Белом море (Кандалакшский залив) // Океанология. 1965. Т. 5, вып. 2. С. 338–347.
- Шувалов В.С. Веслоногие рачки-циклопиды семейства Oithonidae Мирового океана. Л.: Наука. 1980. 198 с.
- Castellani C., Irigoien X., Harris R.P., Holliday N.P. Regional and temporal variation of *Oithona* spp. biomass, stage structure and productivity in the Irminger Sea, North Atlantic // J. Plankton Res. 2007. Vol. 29. P. 1051–1070.
- Landry M.R. Detection of prey by *Calanus pacificus*: implications of the first antennae // Limnol. Oceanogr. 1980. Vol. 25, no. 3. P. 545–549.
- Mayr E. Animal species and evolution. Cambridge, Massachusetts: Belknap Press; Harvard Univ. Press. 1963. 797 p.
- McLaughlin P.A. Comparative morphology of recent Crustacea. San Francisco: W.H. Freeman. 1979. 177 p.
- Nielsen T.G., Møller E.F., Satapoomin S. et al. Egg hatching rate of the cyclopoid copepod *Oithona similis* in arctic and temperate waters // Mar. Ecol. Prog. Ser. 2002. Vol. 236. P. 301–306.
- Pertzova N.M., Kosobokova K.N. Zooplankton of the White Sea // Ber. Polarforsch. 2000. Vol. 359. P. 30–41.

Институты и лаборатории

ТРОПИЧЕСКАЯ МОРСКАЯ БИОЛОГИЧЕСКАЯ СТАНЦИЯ КИТАЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК НА ОСТРОВЕ ХАЙНАНЬ

© 2009 г. Ж. Донг¹, Я. Жанг¹, Ж. Су¹, Х. Хуи¹, Э. А. Титлянов², Т. В. Титлянова²

¹Институт океанологии Южно-Китайского моря КАН, Гуанчжоу 510301, КНР;

²Институт биологии моря ДВО РАН, Владивосток 690041

От китайских авторов

Морская биологическая научно-исследовательская станция Китайской академии наук (КАН) была основана на п-ве Лухуитон о-ва Хайнань близ г. Санья в 1981 г. Станция расположена на площади 14 га, включает 7000 м² прудов для марикультуры и прилегающую морскую акваторию. Она имеет статус Национальной экспериментальной станции (НЭС). В течение последних двух десятилетий сотрудники НЭС достигли значительных успехов в культивировании жемчужниц, спирулины (синезеленая водоросль), а также в изучении и использовании морских биоресурсов.

Научно-исследовательские работы на НЭС ведутся по нескольким направлениям.

1. Исследование коралловых рифов

Работы в этом направлении были начаты в 60-е гг. прошлого века сотрудниками Института океанологии Южно-Китайского моря КАН (г. Гуанчжоу) и продолжаются по сегодняшний день. Показано, что герматипные кораллы рифов вдоль п-ва Лухуитон представлены 12 семействами, 24 родами и 81 видом. На рифах о-ва Хайнань найдено 700 видов моллюсков. Отмечена высокая продуктивность экосистем зал. Санья, поддерживаемая островной речной системой, апвеллингом и азотфиксацией бактериальных сообществ.

2. Азотфиксация в мангровых сообществах

В течение нескольких лет проводились сезонные измерения азотфиксации в манграх. Большинство азотфиксирующих бактерий было изолировано и выращено в лаборатории. Установлено, что высокой способностью к азотфиксации обладают симбиотические бактерии мангровых растений. Впервые было показано, что основным источником азотистых питательных веществ в мангровых зарослях Китая являются азотфиксирующие бактерии.

3. Реконструкция процесса изменения внешних условий в Южно-Китайском море в различных временных диапазонах

Были реконструированы следующие процессы: 1) образование и развитие структуры кораллового рифа в позднем голоцене; 2) периодическое обесцвечивание кораллов при низко- и высокотемпературном воздействии в позднеисторическое время; 3) изменение уровня воды в Южно-Китайском море в голоцене и его связь с климатическими условиями; 4) цикличность в штормовых явлениях в Южно-Китайском море в последнее тысячелетие; 5) динамика формирования глубоководных донных осадков в Южно-Китайском море, особенно в его южной части, в последние 40 тыс. лет; 6) динамика южноазиатских летних муссонов в последние 10 млн. лет.

4. Апвеллинг и фитопланктонные сообщества в зал. Санья

Проведен мониторинг температуры воды на разных глубинах в течение нескольких лет в зал. Санья. Показано

существование термоклина с июля по август, что подтверждает наличие апвеллинга в этом районе. Установлено, что пелагические цианобактерии вносят значительный вклад в обогащение вод "новым азотом", полученным в результате азотфиксации. Исследование морских цианобактерий в различных экосистемах зал. Санья, включая коралловые рифы, показало, что азотфиксация является основным источником растворенных в воде питательных веществ.

5. Использование морских растений и животных для получения лекарств и пищевых добавок

В течение последних 10 лет из морского биологического материала было произведено одно лекарственное средство и получены три биологически активных добавки к пище, а также оформлено около 10 сертификатов на функциональную пищу. Было подано 18 заявок на патенты по получению пищевых добавок; опубликовано более 80 научных статей и 2 монографии.

6. Биомониторинг зал. Санья

Станция является полевой базой для мониторинга климатических, гидрологических и биологических (биоразнообразие, продуктивность) изменений в морских экосистемах. В соответствии с требованиями Китайской сети экосистемных исследований (Chinese Ecosystem Research Network, CERN), в которую станция входит с 2002 г., она предоставляет данные по мониторингу в центр CERN. На НЭС ведутся природоохранные работы по организации заповедных зон и национальных парков. Станция обладает хорошей технической базой, оснащена современным оборудованием и приборами. Здесь работают не только ученые станции и Института океанологии Южно-Китайского моря, но и исследователи из других институтов КАН и даже из других стран. Особые связи НЭС имеет с Гонконгским университетом науки и технологии. В результате исследований опубликовано более 160 статей, получено 20 патентов. Хайнаньская станция дважды получала самую высокую оценку (премию) от руководства провинции Хайнань за научно-исследовательские работы по изучению и внедрению в производство биологически активных веществ и добавок (Zhang et al., 2000, 2008; Huang et al., 2001; Qi et al., 2004; Long et al., 2006; Wu et al., 2006).

НЭС обладает большим потенциалом для развития совместных исследований китайских и российских морских биологов. Ниже российские соавторы этой публикации (Э.А. Титлянов и Т.В. Титлянова) делятся впечатлениями о своей работе на НЭС в 2008 г.

Много лет назад директор Института биологии моря АН СССР Алексей Викторович Жирмунский, напугавший сотрудников института, отправляющихся в биологическую экспедицию в тропики, сказал, что каждый, кто считает себя настоящим морским биологом, должен побывать, а еще лучше поработать в тропиках, так как разнообразие и буйство жизни в теплых морях не только поражают, но и рожают новые оригинальные научные идеи. Многие из нас, тогда еще очень



Рис. 1. Лабораторный корпус тропической Морской биологической станции КАН.

молодых, последовали словам Алексея Викторовича и посвятили изучению морской тропической флоры и фауны не один год своей жизни.

Сообщества коралловых рифов мелководных заливов и лагун мы изучали вначале с научно-исследовательских судов, а сейчас продолжаем исследовать с суши. К сожалению, в настоящее время организованные морские и наземные биологические экспедиции практически прекратились и большинство из нас, зараженных тропиками, пытается самостоятельно найти путь к теплым морям. Но это не так просто. Во-первых, в России нет теплых морей, а во-вторых, в "смутное" время наша страна потеряла или испортила дружеские отношения со многими тропическими странами. Поэтому каждый, кто нашел путь к тропическому морю, стремится сообщить о нем интересующимся коллегам. Нам хотелось бы рассказать морским биологам о тропической морской биологической станции Китайской академии наук (КАН) на о-ве Хайнань.

Мы попали на станцию не случайно, а по соглашению о намерениях между Институтом биологии моря имени А.В. Жирмунского РАН и Институтом океанологии Южно-Китайского моря КАН, а также по приглашению руководителя лаборатории по мониторингу коралловых рифов Института океанологии д-р Хуанг Хуи. В аэропорту г. Санья нас встре-



Рис. 2. Сбор водорослей на сублитерали, Т.В. Титлянова (фото Э.А. Титлянова).

тил молодой сотрудник этой лаборатории аспирант Ли Ши Бо. И вот мы на станции. Жарко и мокро – настоящие тропики. Поселили нас в гостевом доме станции: три большие комнаты, кухня и душевая. С утра в лабораторию. Станция расположена за пределами г. Санья: ни шумных улиц, ни шикарных отелей, слева – джунгли, справа – море, а прямо перед нами в 50 м от моря среди зеленых лужаек, на которых растут грибы и чинно гуляют куры под командой боевого петуха, трехэтажное здание лабораторного корпуса бело-голубого цвета (рис. 1).

В лаборатории уже все подготовлено для работы: микроскоп "Olympus", компьютер, аквариумы, подключен Интернет. Выход к морю свободный, ни документов, ни особых разрешений. В это время (октябрь, сезон дождей) других приезжих на станции нет, поэтому обед в столовой приготовлен для нас двоих: пойманная рыба, рис, овощи, и всего по 6 юаней за персону. На станции мы проработали две недели и, несмотря на ежедневный проливной дождь, смогли собрать и обработать водоросли (определить до вида, сделать гербарий, отнять в море и аквариуме), собранные в трех местах: напротив станции и в окрестностях г. Санья (рис. 2). Мы работали на мелководье, а Ши Бо собирал материал на более удаленных участках акватории. На этих трех станциях нам удалось найти около 200 видов водорослей, из них 6 видов – новые для Хайнаня и 2 вида – для Китая. Мы также отметили, что риф сильно пострадал во время последней природной катастрофы, вызвавшей гибель кораллов при повышении температуры воды в сухой и жаркий период в июле–августе 1998 г. Напротив станции, где вода чище, кораллы восстанавливаются лучше, чем на двух других станциях.

И вот последний день. Вся информация о собранных водорослях (список видов, фотографии водорослей) передана Ши Бо. Мы уехали с благодарностью к нашим китайским коллегам д-ру Хуанг Хуи и аспиранту Ли Ши Бо, с надеждой продолжить исследования на этой станции. До скорой встречи, Хайнань и коллеги!

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Huang L.M., Huang X.P., Chen D.J., Tan Y.H. Strategy on protection and management of coastal marine ecosystems in China // Proc. Int. Symp. on Protection and Management of Coastal Marine Ecosystems. UNEP. Bangkok. 2001. P. 218–229.
- Long L.J., Song Y., Wu J. et al. Development of an efficient method for the preparative isolation and purification of chlorophyll *a* from a marine dinoflagellate *Amphidinium carterae* by high-speed counter-current chromatography coupled with reversed-phase high-performance liquid chromatography // Anal. Bioanal. Chem. 2006. Vol. 386, no. 7–8. P. 2169–2174.
- Qi S.H., Zhang S., Huang H. et al. New briaranes from the South China Sea gorgonian *Junceella juncea* // J. Nat. Prod. 2004. Vol. 67. P. 1907–1910.
- Wu J., Xiao Z.H., Song Y. et al. Complete assignments of ¹H and ¹³C NMR data for two 3β,8β-epoxy mexicanolides from the fruit of a Chinese mangrove *Xylocarpus granatum* // Magn. Reson. Chem. 2006. Vol. 44, no. 1. P. 87–89.
- Zhang Q.M., Yu K.F., Zhao H.T. The biogeomorphology of Luhuitou fringing reef of Sanya City, Hainan Island of China // Chin. Sci. Bull. 2000. Vol. 46 (Suppl.). 97.
- Zhang Y., Dong J., Yang Z. et al. Phylogenetic diversity of nitrogen-fixing bacteria in mangrove sediments assessed by PCR-denaturing gradient gel electrophoresis // Arch. Microbiol. 2008. Vol. 190, no. 1. P. 19–28.

К 80-ЛЕТИЮ ГЕННАДИЯ ГРИГОРЬЕВИЧА ПОЛИКАРПОВА

В 2009 г. выдающемуся гидробиологу и экологу, основателю морской радиоэкологии, академику Национальной академии наук Украины Геннадию Григорьевичу Поликарпову исполняется 80 лет.

Г.Г. Поликарпов родился 16 августа 1929 г. в селе Большая Глушица Самарской области России. В 1952 г. он окончил Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского, а в 1957 г. в МГУ им. М.В. Ломоносова защитил кандидатскую диссертацию по специальности "биофизика (радиоэкология)". С 1956 г. Г.Г. Поликарпов работает на Севастопольской биологической станции им. А.О. Ковалевского, которая в 1964 г. была преобразована в Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского Национальной академии наук Украины.

В этом институте под руководством акад. Г.Г. Поликарпова были выполнены многие глубокие исследования, связанные с изучением миграции радионуклидов в морских биоценозах и эффектов воздействия ионизирующей радиации на водных животных и растения. Широко известны научные работы Г.Г. Поликарпова, в которых была разработана и применена радиоэкологическая концептуальная модель зон воздействия хронического ионизирующего облучения на все уровни организации жизни во всем возможном диапазоне доз ионизирующей радиации (так называемые зоны Поликарпова). Первоначально идея о зональности действия на живые системы разных мощностей ионизирующей радиации в различных дозах (от подфоновых уровней до уровней максимально возможных в земных условиях) была сформулирована Г.Г. Поликарповым еще в 1977 г. в докладе на конгрессе радиобиологов в Болонье (Италия). В настоящее время эти работы развиты далее в концепцию радиационной защиты окружающей среды, подробно изложенную Международной комиссией по защите окружающей среды.

Приоритетная монография Г.Г. Поликарпова "Радиоэкология морских организмов", изданная "Атомиздатом" в 1964 г., – первая публикация специалиста в области радиоэкологии в СССР, которая была переведена на английский язык и издана за рубежом (1966 г.). В ней впервые в мировой литературе в монографическом виде были изложены и обоснованы понятия и проблемы морской радиоэкологии. К настоящему времени список научных публикаций этого крупного радиоэколога и гидробиолога, заслуженного деятеля науки и техники Украины, лауреата Государственной премии Украины по науке и технике насчитывает более 700 трудов.

Академику Г.Г. Поликарпову как крупному ученому-радиоэкологу и активному члену общества неоднократно приходилось применять свои знания для решения острых экологических проблем, возникающих в эпоху бурного технического прогресса. В 1950–1960-х гг. Г.Г. Поликарпов принимал активное участие в аргументации запрета на превращение Черного моря в могильник радиоактивных отходов. Директор Института биологии южных морей того времени чл.-корр. АН УССР проф. В.А. Водяницкий писал впоследствии в своих "Записках натуралиста" (М.: Наука, 1975, с. 182): "Работы ИнБЮМ по водообмену и радиоэкологии сыграли большую роль в отклонении предложений западных держав о сбросе отходов атомных производств в глубины Черного моря".

Г.Г. Поликарпов принимал активное участие в радиоэкологическом исследовании и разработке контрмер по пре-

одолению последствий аварии, произошедшей в 1986 г. на Чернобыльской АЭС, как в ближней зоне вокруг нее, так и в более отдаленных регионах, включая Черное море и другие моря Средиземноморского бассейна.

Выдающийся научно-теоретический и практический вклад акад. Г.Г. Поликарпова в становление, развитие и использование достижений морской радиоэкологии на благо современного общества был высоко оценен мировой научной общественностью, и 18 июня 2008 г. в г. Берген (Норвегия) на Генеральной ассамблее Международного союза радиоэкологии (МСР) ему были вручены высшие награды МСР – диплом В.И. Вернадского "В знак признания выдающегося вклада в развитие радиоэкологии" и золотая медаль В.И. Вернадского "За крупный вклад в радиоэкологию".



Г.Г. Поликарпов.

В наше время все более острой и неотложной становится проблема сохранения биологического разнообразия и приемлемых условий жизни на планете в условиях все более глубоких антропогенных преобразований окружающей среды. В качестве ответа на жизненно важную потребность современного индустриального общества привести в гармонию отношения человека и природы, отношения экологии и экономики, в конце XX в. была создана новая базисная концепция этики – экологическая этика. Академик Г.Г. Поликарпов стоял у истоков формирования и развития этой новой этической концепции.

Основоположниками организационного оформления экоэтики выступили проф. О. Кинне (Германия, Ольдендорф/Луге, Международный институт экологии) и акад. Г.Г. Поликарпов, которые осуществили теоретическое формирование концепции экоэтики и провели большую организационную работу, создав 25 марта 1998 г. Международный союз экоэтики (МСЭЭ), который возглавили проф. О. Кинне как президент и акад. Г.Г. Поликарпов как вице-президент. Наибольшее внимание в своей деятельности члены МСЭЭ

уделяют работе с молодым поколением: школьниками, студентами, молодыми учеными – с теми, кому принадлежит будущее.

Одна из замечательных черт Г.Г. Поликарпова как ученого – его умение организовать коллективные исследования специалистов в различных областях знаний для решения наиболее сложных научных задач. Примером может послужить его многолетнее плодотворное сотрудничество с одним из авторов (Ю.П. Зайцевым) и его коллегами из Одесского филиала ИнБЮМ в области морской нейстонологии и экологии. Результатом этого сотрудничества стали публикации, в которых освещались вопросы радиоэкологии нейстона, обосновывалась его ключевая роль в жизни моря. Совместные исследования, развивающие фундаментальное наследие В.И. Вернадского, привели также к обнаружению оксифобонтов среди бактерий, водорослей и грибов в сероводородной батиали Черного моря, выявили "горячие точки" в морской экосистеме, дали новые материалы к характеристике контурных биоценозов моря.

Научная деятельность Г.Г. Поликарпова отмечена многими престижными международными и государственными наградами. Среди них такие, как диплом В.И. Вернадского "В знак признания выдающегося вклада в развитие радиоэкологии и в распространение ее знаний" и золотая медаль В.И. Вернадского Международного союза радиоэкологии "За крупный вклад в радиоэкологию" (18.06.2008, г. Берген, Норвегия); Государственная премия Украины по науке и технике

(2007 г.); медаль "60 лет победы в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг." (2005 г.); медаль "Защитник Отечества" (1999 г.); почетное звание "Заслуженный деятель науки и техники Украины" (1998 г.); Почетная грамота Президиума АН Украины, ЦК профсоюзов АН Украины "За многолетнюю плодотворную работу, весомый личный вклад в развитие ИнБЮМ им. А.О. Ковалевского АН Украины и в связи со 125-летием со дня основания института" (1996 г.); диплом и памятная медаль имени проф. Н.В. Тимофеева-Ресовского за разработку проблем морской радиоэкологии (1995 г.); грамота Советского комитета по программе ЮНЕСКО "Человек и биосфера" за активную работу по реализации Национальной программы ЮНЕСКО "Человек и биосфера" в Украинской ССР (1987 г.); грамота Президиума Верховной Рады УРСР "За самоотверженную работу по ликвидации аварии на Чернобыльской атомной электростанции и устранению ее последствий" (1986 г.); Почетная грамота Верховной Рады УРСР "За многолетнюю научную работу и успехи в развитии морской радиобиологии" (1979 г.); Памятная серебряная медаль Объединенных Наций "Использование атомной энергии в мирных целях" (1977 г.); орден "Знак Почета" (1971 г.).

Ученые-коллеги из Украины и других стран мира поздравляют академика Г.Г. Поликарпова с юбилеем и желают ему дальнейших выдающихся творческих достижений в его неустанной и очень полезной научной и общественной деятельности.

Ю. П. Зайцев, В. Н. Золотарев, В. Н. Егоров

О КНИГЕ С.А. ОСТРОУМОВА "ГИДРОБИОНТЫ В САМООЧИЩЕНИИ ВОД И БИОГЕННОЙ МИГРАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ"

(М.: МАКС-Пресс. 2008. 200 с.)

Загрязнение вод является одной из важнейших экологических проблем во всем мире. Ежегодно публикуются государственные отчеты о состоянии окружающей среды в Российской Федерации, в которых приводятся свидетельства высокой актуальности этой проблемы и для нашей страны.

В области изучения взаимодействий химических веществ (в том числе поллютантов, загрязняющих водные объекты) и организмов есть несколько важнейших направлений исследований. В их число входит изучение негативных воздействий поллютантов на организмы, а также исследование роли организмов в очищении вод от химических веществ, попадающих в окружающую среду. Весь сложный комплекс процессов самоочищения водной среды – очень важная область современных исследований в экологии. Проблемы самоочищения вод и роли в этом гидробионтов исключительно важны для формирования качества воды в морских и пресноводных объектах, для экологической безопасности и устойчивого развития всех стран, включая Россию.

Исследования именно в этой актуальной области обобщены в рецензируемой книге, написанной ведущим научным сотрудником Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова доктором биологических наук С.А. Остроумовым. В этой книге на основе нескольких десятков работ автора по данной тематике анализируются и тщательно систематизируются данные о биологических механизмах и фундаментальных закономерностях формирования качества воды и ее самоочищения в природных экосистемах. В книге сделаны обобщения, которые в совокупности составляют элементы качественной теории полифункциональной роли гидробионтов в самоочищении вод морских и пресноводных экосистем.

Данные обобщения структурируют большой объем научной информации о роли гидробионтов в процессах самоочищения водных экосистем. Автор сформулировал представления о структурно-функциональных блоках биологического механизма самоочищения, которые помогают разработать теорию этого механизма. Существенным элементом новизны является то, что использованы новые экспериментальные результаты автора о воздействии поверхностно-активных веществ (ПАВ), синтетических моющих средств, нефтяных углеводородов и некоторых тяжелых металлов (Cu, Cd, Pb, Hg) на гидробионтов, в том числе на водные растения (макрофиты) и на водных беспозвоночных-фильтраторов.

Материал книги организован следующим образом.

В первой части рассматривается теория биоконтроля качества воды и биомеханизмов самоочищения воды (автор использует новое понятие экзометаболизма поллютантов в водной экосистеме).

Во второй части содержится более подробное изложение теории самоочищения воды, развиваемой автором. Первый раздел второй части информирует о загрязнении водных экосистем и связанной с этим важности процессов самоочищения (некоторые данные о загрязнении вод России и других стран). Освещены процессы, снижающие качество воды в водоемах и водотоках (раздел 2). Это служит доказательством важности и необходимости противостоящих снижению качества воды экологических процессов самоочищения вод. По-

этому логично то, что далее следует специальный раздел, в котором кратко суммируются и сводятся в систему основные процессы (физические, химические, биотические), ведущие к очищению воды в водных экосистемах (раздел 3). Многочисленность и разнообразие этих процессов делают насущно необходимым создание концепции основных блоков, в которые объединяются и группируются процессы самоочищения вод, что сделано автором в следующем оригинальном разделе (4) "Основные структурно-функциональные блоки механизма самоочищения водных экосистем". Благодаря этому анализу и проработке большого фактического материала возникает совершенно новая картина самоочищения вод – комплексный экологический механизм формирования и поддержания качества вод.

Каждый механизм требует энергообеспечения для своего функционирования. Поэтому логически необходим раздел (5), в котором проанализированы источники энергии биотических механизмов самоочищения водных экосистем. В следующем разделе (6) доказываем, что практически всё биоразнообразие водных организмов вовлечено в самоочищение воды. Далее в книге анализируются такие важные вопросы, как надежность системы самоочищения воды и механизмы обеспечения надежности (раздел 7); регуляция функционирования биоты, участвующей в очищении воды (раздел 8); связь самоочищения и стабильности водной экосистемы (раздел 9). Концептуальные итоги проведенного автором анализа приводят его к возможности назвать механизм самоочищения примером макросимбиотической системы и высоких эколого-биосферных технологий (раздел 10).

Особенно хотелось бы отметить раздел 11, в котором впервые подробно исследуется отношение механизма самоочищения к внешним (антропогенным) воздействиям на водоем. Этот раздел полностью основан на оригинальных экспериментальных исследованиях С.А. Остроумова и содержит большой объем нового фактического материала. Автором обнаружено новое явление: подавление фильтрационной активности организмов-фильтраторов (например, двусторчатых моллюсков) при воздействии некоторых широко распространенных видов химического загрязнения водной среды. Оказалось, что такое опасное действие оказывают синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ) – обязательный компонент разнообразных моющих средств, выпускаемых промышленностью и используемых в большом количестве. Фильтрация и очищение воды моллюсками и другими беспозвоночными-фильтраторами – один из важнейших биологических процессов, вносящих незаменимый вклад в самоочищение вод как в пресноводных, так и в морских экосистемах. За эти работы С.А. Остроумов удостоен Диплома о научном открытии (№ 274). Он обнаружил ярко выраженное ингибирование фильтрационной активности мидий (*Mytilus edulis*, *M. galloprovincialis*), устриц (*Crassostrea gigas*) и других видов моллюсков при воздействии анионного ПАВ додецилсульфата натрия, катионного ПАВ тетрадецилтриметиламмонийбромида, неионогенного ПАВ Тритона X-100, многих смесевых ПАВ-содержащих препаратов (в том числе синтетических моющих средств). Недавно им обнаружено аналогичное ингибирование фильтрации воды при воздействии на

моллюсков металлов и нефтепродуктов, а также при воздействии ПАВ на зоопланктонные организмы.

Далее следуют разделы, в которых сделаны серьезные фундаментальные обобщения: "Некоторые общие тенденции и принципы функционирования механизма самоочищения воды" (12), "Связь представлений о самоочищении с фундаментальными концепциями экологии и геохимии" (13), "Связь представлений о самоочищении с некоторыми общебиологическими концепциями. Репарация на различных уровнях организации живых систем" (14).

Следующие несколько разделов (15–20) посвящены прикладным вопросам, среди которых следующие: природоохранная и ресурсоохранная практика (15), фитотехнологии, фиторемедиация, использование ветландов (16). В небольшом, но насыщенном новой информацией разделе 16 изложены новые эксперименты автора, вносящие вклад в разработку фитотехнологий очищения вод от таких опасных загрязняющих веществ, как синтетические поверхностно-активные вещества. Учитывая достоинства фитотехнологий (экономичность, энергосбережение, простота и надежность в эксплуатации) и их бурное развитие во всем мире, данное направление работ автора следует только приветствовать.

Прикладные вопросы освещены также в разделах, в которых проанализированы проблемы самоочищения в связи с биоремедиацией и фиторемедиацией (раздел 17), а также приведены некоторые дополнительные сведения о роли биоты в очищении водной среды от нефти (на примере отдельных исследований; раздел 18), о восстановлении водных объектов, нарушенных в результате антропогенных воздействий (раздел 19), о новых подходах к эколого-экономическим оценкам водной экосистемы (раздел 20). Использование разработанной в книге теории самоочищения воды в ходе функционирования водной экосистемы привело автора к совершенно новым монетарным оценкам стоимости водной экосистемы. Цифры, характеризующие стоимость одного квадратного метра водной экосистемы, по его оценкам, гораздо выше, чем полагали ранее.

Полученные С.А. Остроумовым результаты важны не только с практической стороны, но и для углубления понимания некоторых вопросов общей биологии и жизни биосферы. Это показано в разделе (21), который посвящен связи опубликованных в книге разработок в области биоконтроля качества воды и смежных проблем с общими проблемами биологии и биосферы.

В заключительных разделах книги излагаются инновации для внедрения, рекомендации для природоохранной и ресурсоохранной практики, для работ по восстановлению (ремедиации, реабилитации) водоемов и водотоков, нарушенных под воздействием антропогенных факторов, в том числе при химическом загрязнении. Примечательно, что научные результаты, изложенные в книге, активно использовались для совершенствования подготовки специалистов в области экологии, наук о биосфере и окружающей среды, а также в области общей биологии и наук о Земле в нескольких университетах России, СНГ и Прибалтики.

В монографии приведен большой библиографический список, в котором отражена обширная мировая и отечественная литература по освещаемой теме.

Предыдущая книга С.А. Остроумова "Загрязнение, самоочищение и восстановление водных экосистем" (М.: МАКС-Пресс, 2005) была удостоена Диплома конкурса Московского общества испытателей природы. Не вызывает сомнений, что и новая книга, как отмечает в предисловии чл.-корр. РАН В.В. Малахов, является ценной и полезной для научных работников, преподавателей, аспирантов, студентов, а также специалистов в области практического использования и охраны водных и водно-биологических ресурсов, для специалистов в области нормирования загрязняющих веществ и предупреждения химического загрязнения вод.

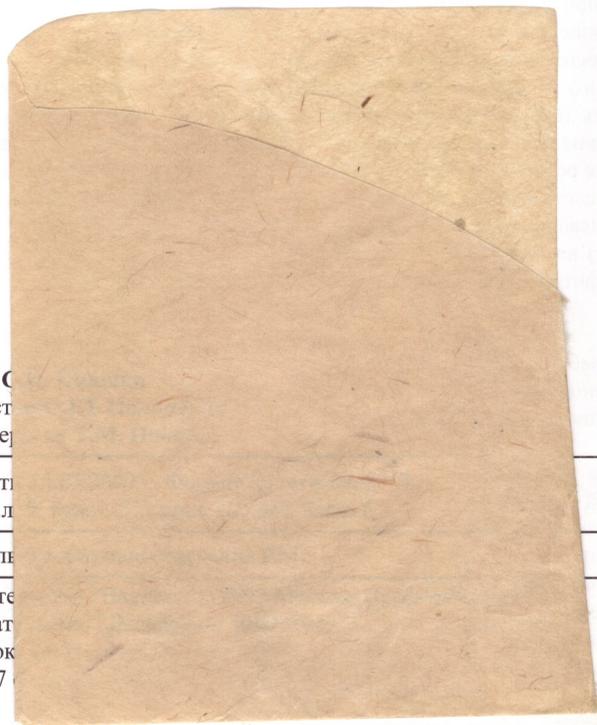
*Г. С. Розенберг,
Институт экологии Волжского бассейна РАН,
г. Тольятти*

Научный редактор С
Редактор электронной верст
Наборщик электронной вер

Сдано в набор 12.03.2009 г. Подписано к печати
Офсетная печать. Усл.печ.л. 9.25. Уч.-изд.л.

Учредители: Президиум РАН и Дал

Издатель – Научно-производственное объединение «Издате
Оригинал-макет и печать ФГУП Издат
690041, Владивосток
Изд. лиц. ИД № 05497



**Журналы, издаваемые издательством "Наука"
на английском языке**

Acoustical Physics
Applied Biochemistry and Microbiology
Astronomy Letters
Astronomy Reports
Automation and Remote Control
Biochemistry (Moscow)
Biology Bulletin
Biophysics
Colloid Journal
Computational Mathematics and Mathematical Physics
Cosmic Research
Crystallography Reports
Differential Equations
Doklady Biochemistry and Biophysics
Doklady Biological Sciences
Doklady Chemistry
Doklady Earth Sciences
Doklady Mathematics
Doklady Physical Chemistry
Doklady Physics
Entomological Review
Eurasian Soil Science
Geochemistry International
Geology of Ore Deposits
Geomagnetism and Aeronomy
Geotectonics
Glass Physics and Chemistry
Herald of the Russian Academy of Sciences
High Energy Chemistry
High Temperature
Human Physiology
Inorganic Materials
Instruments and Experimental Techniques
Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics
Izvestiya, Physics of the Solid Earth
Journal of Analytical Chemistry
Journal of Communications Technology and Electronics
Journal of Computer and Systems Sciences International
Journal of Evolutionary Biochemistry and Physiology
Journal of Experimental and Theoretical Physics
Journal of Experimental and Theoretical Physics Letters
Journal of Ichthyology
Kinetics and Catalysis
Laser Physics
Lithology and Mineral Resources
Microbiology
Molecular Biology
Oceanology
Optics and Spectroscopy
Paleontological Journal
Pattern Recognition and Image Analysis
Petroleum Chemistry
Petrology
Physics of Atomic Nuclei
Physics of Particles and Nuclei
Physics of the Solid State
Plasma Physics Reports
Polymer Science, Series A
Polymer Science, Series B
Polymer Science, Series C
Problems of Information Transmission
Proceedings of the Steklov Institute of Mathematics
Programming and Computer Software
Protection of Metals
Radiochemistry
Russian Journal of Applied Chemistry
Russian Journal of Bioorganic Chemistry
Russian Journal of Coordination Chemistry
Russian Journal of Developmental Biology
Russian Journal of Ecology
Russian Journal of Electrochemistry
Russian Journal of General Chemistry
Russian Journal of Genetics
Russian Journal of Inorganic Chemistry
Russian Journal of Marine Biology
Russian Journal of Mathematical Physics
Russian Journal of Nondestructive Testing
Russian Journal of Organic Chemistry
Russian Journal of Physical Chemistry
Russian Journal of Plant Physiology
Russian Metallurgy (Metally)
Russian Microelectronics
Semiconductors
Solar System Research
Stratigraphy and Geological Correlation
Studies on Russian Economic Development
Technical Physics
Technical Physics Letters
The Physics of Metals and Metallography
Theoretical Foundations of Chemical Engineering
Thermal Engineering
Water Resources

Академиздатцентр "Наука" РАН.

Россия, 117997, Москва, ул. Профсоюзная, 90.

Тел.: (095) 336-1600; Факс: (095) 336-0666. E-mail: compmg@maik.ru, http://www.maik.ru

© © © © " НАУКА " © © © ©

"НАУКА"

©©©©

"НАУКА"

©©©©

"НАУКА"

Журналы РАН, выходящие в свет на русском языке

- Автоматика и телемеханика*
 Агрохимия
 Азия и Африка сегодня
 Акустический журнал*
 Алгебра и анализ
 Астрономический вестник*
 Астрономический журнал*
 Биологические мембраны
 Биология внутренних вод
 Биология моря*
 Биоорганическая химия*
 Биофизика*
 Биохимия*
 Ботанический журнал
 Вестник РАН*
 Вестник древней истории
 Водные ресурсы*
 Вопросы истории естествознания и техники
 Вопросы ихтиологии*
 Вопросы философии
 Вопросы языкознания
 Восток
 Вулканология и сейсмология
 Высокомолекулярные соединения (Сер. А, В, С)*
 Генетика*
 Геология рудных месторождений*
 Геомagnetизм и аэрономия*
 Геоморфология
 Геотектоника*
 Геохимия*
 Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология
 Государство и право
 Дефектоскопия*
 Дискретная математика
 Дифференциальные уравнения*
 Доклады Академии наук*
 Журнал аналитической химии*
 Журнал высшей нервной деятельности имени И.П. Павлова
 Журнал вычислительной математики и математической физики*
 Журнал научной и прикладной фотографии
 Журнал неорганической химии*
 Журнал общей биологии
 Журнал общей химии*
 Журнал органической химии*
 Журнал прикладной химии*
 Журнал технической физики*
 Журнал физической химии*
 Журнал эволюционной биохимии и физиологии*
 Журнал экспериментальной и теоретической физики*
 Записки Всероссийского минералогического общества
 Защита металлов*
 Земля и Вселенная
 Зоологический журнал
 Известия АН. Механика жидкости и газа
 Известия АН. Механика твердого тела
 Известия АН. Серия биологическая*
 Известия АН. Серия географическая
 Известия АН. Серия литературы и языка
 Известия АН. Серия математическая
 Известия АН. Серия физическая
 Известия АН. Теория и системы управления*
 Известия АН. Физика атмосферы и океана*
 Известия АН. Энергетика
 Известия русского географического общества
 Исследование Земли из космоса
 Кинетика и катализ*
 Коллоидный журнал*
 Координационная химия*
 Космические исследования*
 Кристаллография*
 Латинская Америка
 Лесоведение
 Литология и полезные ископаемые*
 Математические заметки
 Математический сборник
 Математическое моделирование
 Международный журнал социальных наук (РАН/ЮНЕСКО)
 Микология и фитопатология
 Микробиология*
 Микроэлектроника*
 Мировая экономика и международные отношения
 Молекулярная биология*
 Наука в России
 Научная книга
 Научное приборостроение
 Неорганическая химия*
 Неорганические материалы*
 Нефтехимия*
 Новая и новейшая история
 Общественные науки и современность
 Общество и экономика
 Океанология*
 Онтогенез*
 Оптика и спектроскопия*
 Отечественная история
 Палеонтологический журнал*
 Паразитология
 Петрология*
 Письма в Астрономический журнал*
 Письма в Журнал технической физики*
 Письма в Журнал экспериментальной и теоретической физики*
 Поверхность
 Почвоведение*
 Приборы и техника эксперимента*
 Прикладная биохимия и микробиология*
 Прикладная математика и механика
 Природа
 Проблемы Дальнего Востока
 Проблемы машиностроения и надежности машин
 Проблемы передачи информации*
 Программирование*
 Психологический журнал
 Радиационная биология. Радиоэкология
 Радиотехника и электроника*
 Радиохимия*
 Расплавы
 Растительные ресурсы
 Российская археология
 Российский физиологический журнал имени И.М. Сеченова
 Русская литература
 Русская речь
 Сенсорные системы
 Славяноведение
 Социологические исследования
 Стратиграфия. Геологическая корреляция*
 США, Канада. Экономика – политика – культура
 Теоретическая и математическая физика
 Теоретические основы химической технологии*
 Теория вероятностей и ее применение
 Теплофизика высоких температур*
 Труды Математического института им. В.А. Стеклова*
 Успехи математических наук
 Успехи современной биологии
 Успехи физиологических наук
 Физика Земли*
 Физика и техника полупроводников*
 Физика и химия стекла*
 Физика металлов и металловедение*
 Физика плазмы*
 Физика твердого тела*
 Физиология растений*
 Физиология человека*
 Функциональный анализ и его применение
 Химическая физика
 Химия высоких энергий*
 Химия твердого топлива
 Цитология
 Человек
 Экология*
 Экономика и математические методы
 Электрохимия*
 Энергия, экономика, техника, экология
 Этнографическое обозрение
 Энтомологическое обозрение*
 Ядерная физика*

* Журнал издается Академиздатцентром "Наука" РАН на английском языке