

УСЛОВИЯ ОБИТАНИЯ ПРОМЫСЛОВЫХ ОБЪЕКТОВ

УДК 582.26+556.54(265.54)

Н.В. Колпаков¹, А.А. Бегун^{2*}

¹ Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный центр,
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4;

² Институт биологии моря им. А.В. Жирмунского ДВО РАН,
690041, г. Владивосток, ул. Пальчевского, 17

СОСТАВ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ
В ЭСТУАРИИ РЕКИ СУХОДОЛ (УССУРИЙСКИЙ ЗАЛИВ,
ЗАЛИВ ПЕТРА ВЕЛИКОГО) В ОСЕННИЙ ПЕРИОД.

1. ФИТОПЛАНКТОН

В сентябре 2012 г. в эстуарии р. Суходол исследованы состав и распределение фитопланктона. Всего отмечено 48 видов диатомовых водорослей. Их биомасса в поверхностном слое воды изменялась от 5,0 до 816,8 мг/м³ (199,5 ± 71,0 мг/м³): во внешнем эстуарии — 467,8 мг/м³, в глубоководной части внутреннего эстуария — 285,4 ± 117,5, на мелководных участках — 42,0 ± 16,5 мг/м³. Видовой состав и структура фитопланктона определялись расположением станций в эстуарии: во внешнем эстуарии наиболее обильными были *Dactyliosolen fragilissimus*, *Skeletonema costatum* и *Coscinodiscus oculus iridis*, на приглубых участках внутреннего эстуария — *Ulnaria ulna*, *Melosira varians* и *Stenophora pulchella*, на мелководье внутреннего эстуария — *Achnanthes lanceolata*, *S. costatum*, *Rhopalodia musculus*, *Pinnularia gibba* и *C. pulchella*. Доминирование *D. fragilissimus* и *S. costatum* свидетельствует о высоком уровне трофности вод эстуария р. Суходол.

Ключевые слова: диатомовые микроводоросли, фитопланктон, эстуарий, р. Суходол, зал. Петра Великого.

Kolpakov N.V., Begun A.A. Species composition and distribution of microalgae in the Sukhodol River estuary (Ussury Bay, Peter the Great Bay) in autumn. 1. Phytoplankton // Izv. TINRO. — 2014. — Vol. 176. — P. 115–126.

Species composition and quantitative distribution of phytoplankton in the Sukhodol River estuary were studied in September of 2012. In total, 48 species of diatoms are registered, mostly belonged to microphytobenthos (63 %). The most numerous are mesohaline species and species indifferent to salinity (in sum 69 %). The number of diatoms varied from $5.4 \cdot 10^3$ to $866.2 \cdot 10^3$ cells/l (on average $138.4 \cdot 10^3 \pm 75.9 \cdot 10^3$ cells/l), their biomass varied from 5.0 to 816.8 mg/m³ (on average 199.5 ± 71.0 mg/m³: 467.8 mg/m³ in the external estuary, 285.4 ± 117.5 mg/m³ in the deep-water part of the internal estuary, and 42.0 ± 16.5 mg/m³ on the shallows of the internal estuary). Species composition of phytoplankton is determined by water structure: *Dactyliosolen fragilissimus* (74 % of biomass), *Skeletonema costatum* (15 %) and *Coscinodiscus oculus iridis* (8 %) are the most abundant in the external estuary where brackish water spreads in the upper layer and salt water occupies the bottom layer;

* Колпаков Николай Викторович, кандидат биологических наук, заведующий лабораторией, e-mail: kolpakov@tinro.ru; Бегун Андрей Аркадьевич, кандидат биологических наук, научный сотрудник, e-mail: andrejbegun@yandex.ru.

Kolpakov Nikolay V., Ph.D., head of laboratory, e-mail: kolpakov@tinro.ru; Begun Andrey A., Ph.D., researcher, e-mail: andrejbegun@yandex.ru.

Ulnaria ulna (72 %), *Melosira varians* (12 %) and *Ctenophora pulchella* (4 %) are the most abundant in the deep-water part of the internal estuary with almost fresh water in the upper layer and brackish water at the bottom; and *Achnanthes lanceolata* (22 %), *S. costatum* (21 %), *Rhopalodia musculus* (14 %), *Pinnularia gibba* (6 %), and *C. pulchella* (5 %) dominate on the shallows of internal estuary with only one water layer occupied by fresh water. Domination of *D. fragilissimus* and *S. costatum* indicates a high level of eutrophication in the Sukhodol estuary that presumably is caused by terrigenous biogenic elements supply. The biogenic elements recycled and accumulated in the bottom sediments are dispersed in the estuarine waters by tidal and wind-driven turbulence.

Key words: diatoms, phytoplankton, estuary, Sukhodol River, Peter the Great Bay.

Введение

Эстуарии играют важную роль как нагульные биотопы и убежища многих морских и проходных животных (в первую очередь их молоди), многие эстуарные гидробионты являются промысловыми. В морях и океанах основными первичными продуцентами являются планктонные микроводоросли. В морском побережье, эстуариях, небольших озерах вклад фитопланктона в производство органического вещества снижается, на первые места выходят (в зависимости от типа водоема) макрофиты, эпифитон и другие группы автотрофов. Например, в ряде эстуариев умеренных широт вклад фитопланктона в формирование первичной продукции составляет 2,5–33,7 %, эпифитов — 18,0–61,0 и макрофитов 13,0–98,5 % (Penhale, 1977; Murray, Wetzel, 1987; Moncreiff et al., 1992; Dame et al., 2000; Hemminga, Duarte, 2000; Губелит, 2009; Geertz-Hansen et al., 2010).

В морском побережье зал. Петра Великого в последние годы выполнена серия работ по изучению качественных и количественных характеристик диатомовых водорослей, преобладающих в составе эпифитона и фитопланктона (Stonik, Orlova, 2002; Бегун и др., 2003, 2004; Левченко, Бегун, 2008; Бегун, 2012). В 2008–2012 гг. ТИПРО-центром изучены состав, распределение, сезонная динамика, запасы и продукция донной растительности в разнотипных эстуариях Приморья (Колпаков и др., 2010, 2012; Шунтов и др., 2010; Гусарова и др., 2011; Колпаков, 2013). Специальные работы по изучению микроводорослей планктона эстуариев зал. Петра Великого не проводились, некоторые сведения получены попутно при изучении морских и речных сообществ микроводорослей (Stonik, Orlova, 2002; Никулина, 2005, 2006).

В настоящей работе анализируются состав, структура и количественное распределение микроводорослей планктона и эпифитона в эстуарии р. Суходол осенью. В первом сообщении приведены данные по планктонным микроводорослям.

Материалы и методы

В основу работы положены данные съемки, выполненной 4–5 сентября 2012 г. в эстуарии р. Суходол. Пробы фитопланктона (12 станций) отбирали в пластиковые емкости объемом 1 л из поверхностного слоя воды (на глубине 0,3 м) (рис. 1). В качестве фиксатора использовали раствор Уотермея (из расчета 1,5–2,5 мл фиксатора на пробу). Клетки микроводорослей концентрировали методом осаждения до 10–50 мл и считали в камере Нажотта (0,07 мл³) и камере типа «пенал» (1 мл³) (для учета крупных и редких видов). Для определения объема и затем массы клеток микроводорослей их отождествляли с определенными геометрическими фигурами. Исследования постоянных препаратов проводили на световом микроскопе («Olympus BX41», объектив UPLanF1 100x/1.30), используя масляную иммерсию. Методики микроскопической обработки фитопланктона подробно описаны ранее (Бегун и др., 2003, 2009).

В эти же сроки (4 сентября 2012 г.) в эстуарии р. Суходол выполнена гидрологическая съёмка с измерением температуры и солености океанологическим зондом YSI-6600V2 (производство США) и отбором проб для гидрохимического анализа.

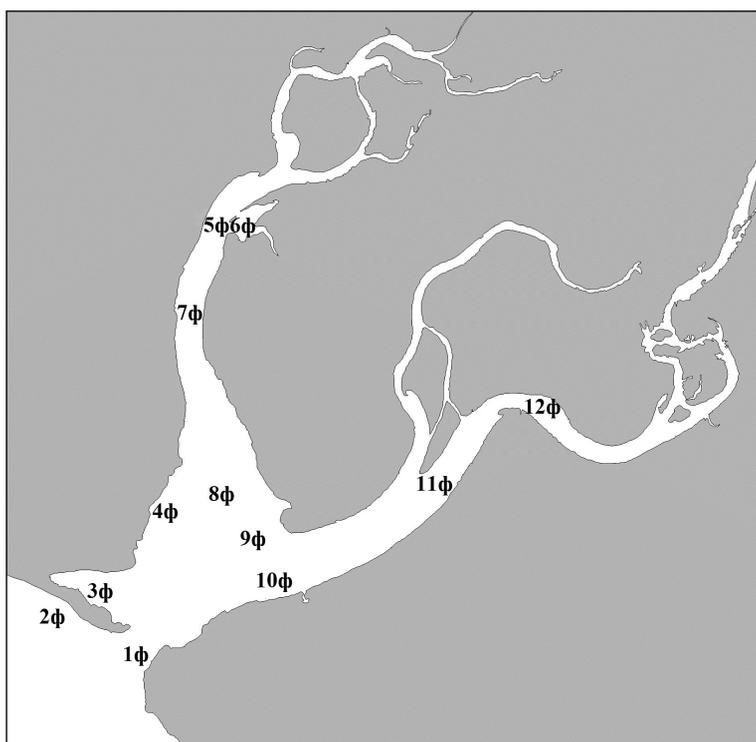


Рис. 1. Карта-схема района исследований: 1φ–12φ — станции отбора проб фитопланктона в эстуарии р. Суходол

Fig. 1. Scheme of surveyed area: 1φ–12φ — sampling stations for phytoplankton

Видовое разнообразие оценивали с помощью индекса Шеннона-Винера (H): $H = -\sum p_i \log_2 p_i$, где p_i — доля i -го вида в суммарной плотности. Индекс выравненности Пиелу (e) вычисляли по формуле $e = H/\log_2 S$, где S — общее число видов. Все статистические расчеты выполнены с использованием соответствующих модулей программы Statistica (базовые статистики, кластерный анализ) (Пузаченко, 2004). Дендрограммы строили методом UPGMA (невзвешенного парно-группового среднего), мера различий — евклидово расстояние. Для выбора приемлемой степени дробности полученных кластеров использован критерий «значимого сходства», который рассчитывается как верхняя 95 %-ная доверительная граница среднего (по всей совокупности станций) сходства между пробами (Бурковский и др., 2002).

Результаты и их обсуждение

По структуре вод эстуарий разделяется на внутренний и внешний (рис. 2). Как и в типичном случае (Зуенко, 2008), во время съемки поверхностный слой во внутреннем эстуарии р. Суходол был занят пресной или почти пресной речной водой, а в достаточно глубоких местах у дна находился клин солоноватых вод, во внешнем эстуарии поверхностный слой был занят шлейфом солоноватых вод, а у дна находились соленые морские воды (рис. 3).

В составе фитопланктона отмечены только диатомовые водоросли, всего идентифицировано 48 видов (табл. 1). По числу видов и внутривидовых форм преобладали представители микрофитобентосной жизненной формы (63 % списка) (рис. 4, а). По отношению к солености преобладали мезогалобы и индифференты (в сумме 68,9 %), что закономерно для эстуария (рис. 4, б). Суммарная доля эвгалобов и галофилов не превысила 22,2 %, отмечены в составе фитопланктона и галофобы (8,9 %).

Наиболее высокая биомасса фитопланктона отмечена в устье реки, во внешнем эстуарии и в нижней части внутреннего эстуария (рис. 5). В целом численность микроводорослей в поверхностном слое воды изменялась от $5,4 \cdot 10^3$ до $866,2 \cdot 10^3$ кл./л (в

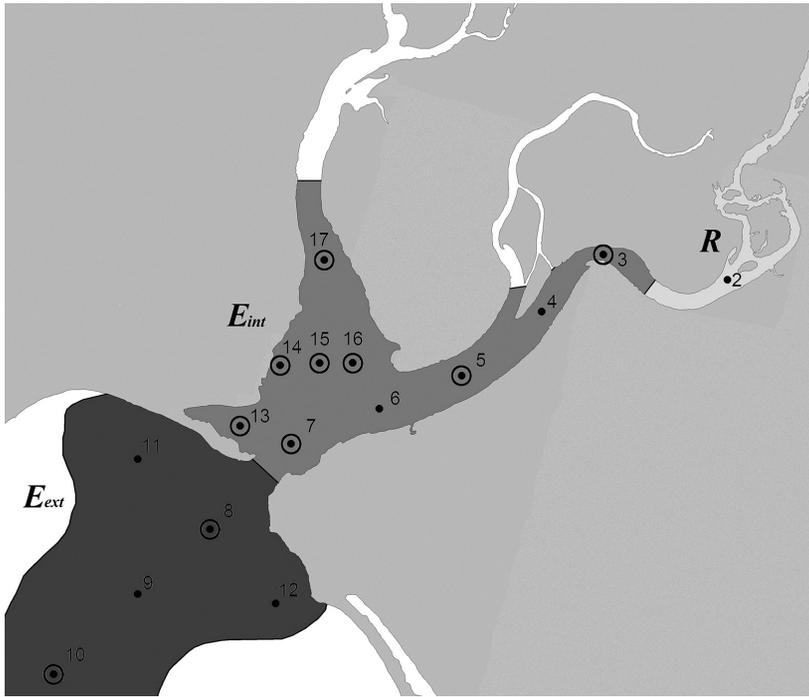


Рис. 2. Схема районирования эстуария р. Суходол: E_{ext} — внешний эстуарий; E_{int} — внутренний эстуарий; R — река. Точками обозначено расположение гидрологических станций
 Fig. 2. Scheme of the Sukhodol estuary zoning: E_{ext} — external estuary; E_{int} — internal estuary; R — river. Hydrographic stations are shown

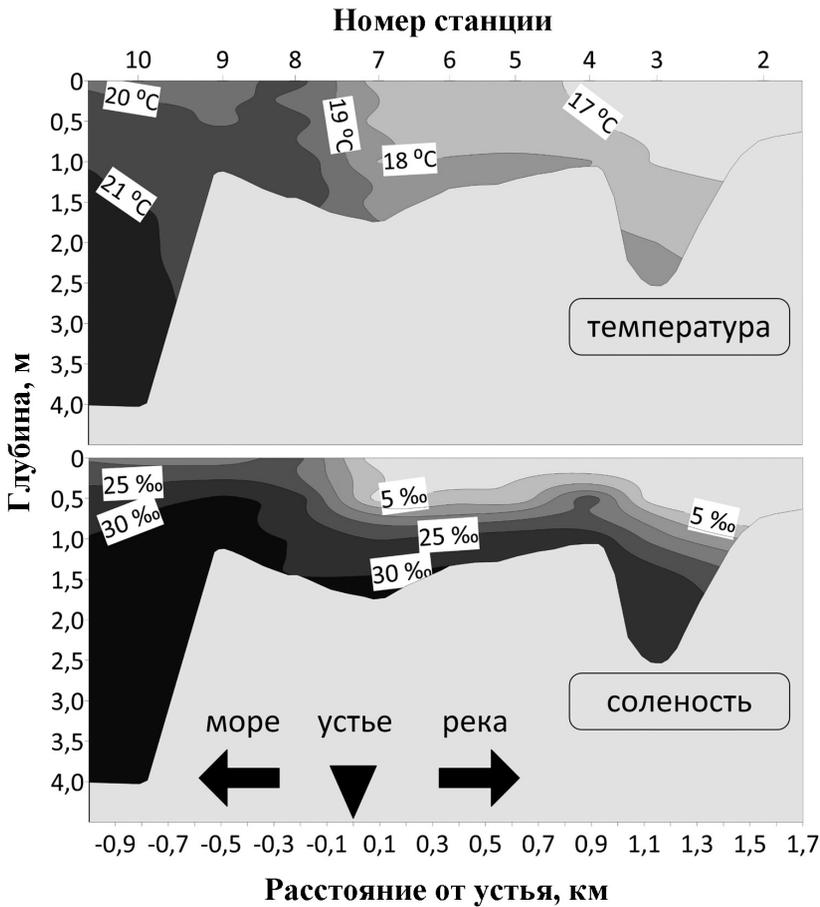


Рис. 3. Вертикальное распределение температуры и солености воды вдоль продольной оси эстуария р. Суходол
 Fig. 3. Vertical distribution of water temperature and salinity along the long axis of the Sukhodol estuary

Таблица 1

Аннотированный список диатомовых водорослей фитопланктона эстуария р. Суходол
Table 1
Annotated list of diatom species in phytoplankton microalgae of the Sukhodol estuary

Таксон	ЖФ	Г	С	ФХ
<i>Achnanthes lanceolata</i> (Brébisson ex Kützing) Grunov in Van Heurck	МФБ	i	χ - β	К
<i>Amphora ovalis</i> (Kützing) Kützing	МФБ	i	о- β	К
<i>A. pediculus</i> (Kützing) Grunov ex A. Schmidt	МФБ	i	β	К
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	ФП	i	β	К
<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>euglypta</i> (Ehrenberg) Cleve	МФБ	i	—	Б
<i>C. distans</i> W. Gregory	МФБ	eh	—	АБТ
<i>C. placentula</i> Ehrenberg	МФБ	i	о	К
<i>Coscinodiscus oculus iridis</i> Ehrenberg	БП	eh	β	К
<i>Ctenophora pulchella</i> (Ralfs ex Kützing) D.M. Williams & Round	Б-Е	mh	β - α	Б
<i>Cyclotella radiosa</i> (Grunow) Lemmermann	ФП	i	β	—
<i>Cymatopleura solea</i> (Brébisson) W. Smith	МФБ	i	β - α	К
<i>Cymbella affinis</i> Kützing	МФБ	i	о- β	Б
<i>Dactyliosolen fragilissimus</i> (Bergon) Hasle in Hasle & Syvertsen	ФП	eh	—	К
<i>Ditylum brightwellii</i> (T. West) Grunov in Van Heurck	ФП	eh	—	К
<i>Entyonema prostratum</i> (Berkeley) Kützing	МФБ	i	β	К
<i>Entomoneis paludosa</i> (W. Smith) Reimer	БП	mh	—	АБ
<i>Epithemia adnata</i> (Kützing) Brébisson	МФБ	i	β	АБТ
<i>Fragilaria capucina</i> Desmazières	БП	i	о- β	К
<i>Gomphonema acuminatum</i> Ehrenberg	МФБ	i	β	Б
<i>G. minutum</i> (C.Agardh) C. Agardh	МФБ	—	—	—
<i>G. pumilum</i> (Grunov) Reichardt & Lange-Bertalot	МФБ	—	о	—
<i>Gyrosigma acuminatum</i> (Kützing) Rabenhorst	МФБ	i	β	Б
<i>Hannaea arcus</i> (Ehrenberg) R.M. Patrick in R.M. Patrick & L.R. Freese	МФБ	i	χ	А-А
<i>Hantzschia amphioxys</i> (Ehrenberg) Grunov in Cleve & Grunov	МФБ	i	α	К
<i>Luticola mutica</i> (Kützing) D.G. Mann	МФБ	i	о- β	А-А
<i>Melosira lineata</i> (Dillwyn) C. Agardh	БП	mh	α	Б
<i>M. varians</i> C. Agardh	БП	hl	β	К
<i>Navicula cryptocephala</i> Kützing	БП	hl	α	К
<i>Neidium bisulcatum</i> (Lagerstedt) Cleve	МФБ	hb	о	А-А
<i>Nitzschia acicularis</i> (Kützing) W. Smith	ФП	i	α	К
<i>N. linearis</i> (C.Agardh) W. Smith	МФБ	i	о	Б
<i>N. longissima</i> (Brébisson) Ralfs in Pritchard	БП	mh	—	АБТ
<i>N. palea</i> (Kützing) W. Smith	МФБ	i	α	К
<i>N. sigmoidea</i> (Nitzsch) W. Smith	МФБ	mh	о	К
<i>Odontella mobiliensis</i> (J.W. Bailey) Grunov	ФП	eh	—	БТ
<i>Pinnularia gibba</i> Ehrenberg	МФБ	i	χ	Б
<i>Pleurosigma angulatum</i> (Queckett) W. Smith	МФБ	mh	—	АБ
<i>P. formosum</i> W. Smith	МФБ	eh	—	АБ
<i>Rhizosolenia setigera</i> Brightwell	ФП	eh	—	К
<i>Rhopalodia musculus</i> (Kützing) Otto Müller	МФБ	mh	о	К
<i>Seminavis ventricosa</i> (Gregory) M. Garcia-Baptista	МФБ	mh	β	АБТ
<i>Skeletonema costatum</i> (Greville) Cleve	ФП	mh	α	К
<i>Surirella brebissonii</i> Krammer & Lange-Bertalot	МФБ	i	β	К
<i>Tabellaria fenestrata</i> (Lyngbye) Kützing	БП	hb	β	Б
<i>T. flocculosa</i> (Roth) Kützing	БП	hb	χ -о	А-А
<i>Tryblionella apiculata</i> Gregory	МФБ	mh	α	—
<i>T. hungarica</i> (Grunov) Frenguelli	МФБ	mh	α	К
<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) P. Compère	МФБ	i	β	К

Примечание. Жизненная форма (ЖФ): МФБ — микрофитобентосный, Б-Е — бентосно-эпифитный, БП — бенто-планктонный, ФП — фитопланктонный. Галобность (Г): eh — эвгалобы, mh — мезогалобы, hl — галофилы, hb — галофобы, i — индифференты. Сапробность (С): α — альфа-мезосапробионт, β - α — бета-альфа-мезосапробионт, β — бета-мезосапробионт, о — олигосапробионт, о- β — олиго-бета-мезосапробионт, χ - β — ксено-бета-мезосапробионт, χ -о — ксено-олиго-мезосапробионт, χ — ксеносапробионт. Фитогеографическая характеристика (ФХ): К — космополит, Б — бореальный, АБ — аркто-бореальный, АБТ — аркто-бореально-тропический, БТ — бореально-тропический, А-А — аркто-альпийский. Проверка — данные по характеристике отсутствуют.

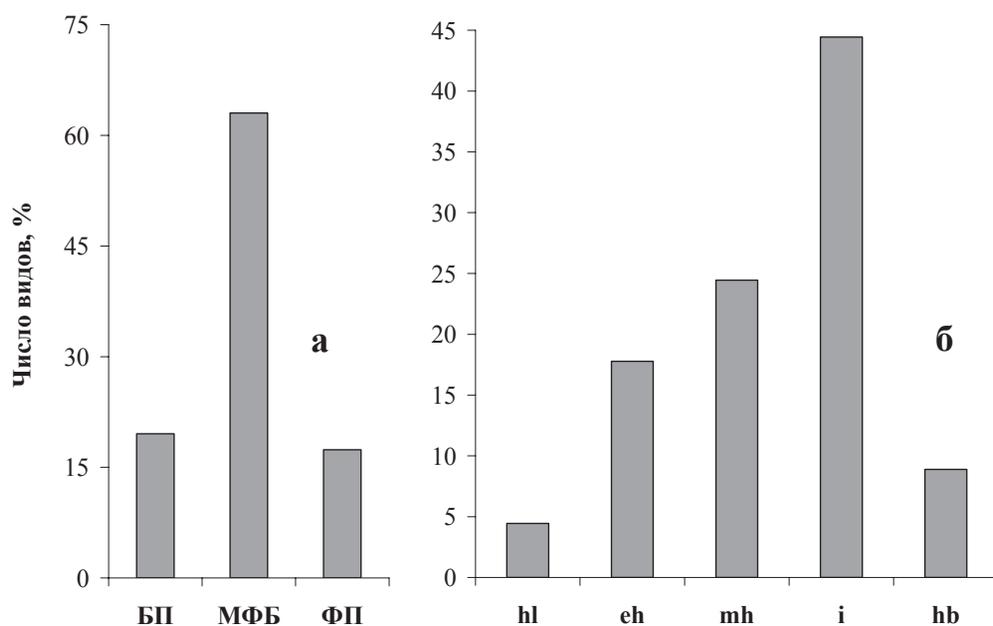


Рис. 4. Соотношение разных экологических групп фитопланктона: а — жизненные формы (БП — бентопелагические, МФБ — бентосные и ФП — планктонные таксоны); б — галобность (hl — галофилы, eh — эвгалобы, mh — мезогалобы, i — индифференты, hb — галофобы)

Fig. 4. Percentage of microalgae species belonged to certain ecological groups of phytoplankton: а — living forms (БП — benthopelagic, МФБ — benthic, ФП — planktonic); б — halobity (hl — halophiles, eh — euhalobes, mh — mesohalobes, i — indifferents, hb — halophobes)

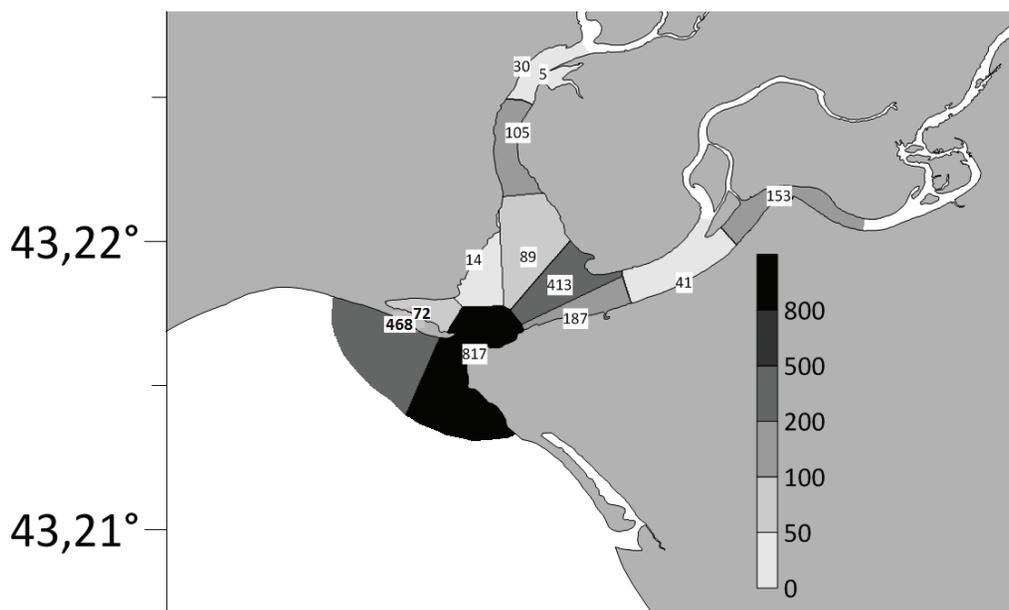


Рис. 5. Распределение микроводорослей (мг/м³) в поверхностном слое воды эстуария р. Суходол

Fig. 5. Distribution of microalgae (mg/m³) in the surface water layer of the Sukhodol estuary

среднем $138,4 \cdot 10^3 \pm 75,9 \cdot 10^3$ кл./л), биомасса — от 5,0 до 816,8 мг/м³ ($199,5 \pm 71,0$ мг/м³). Согласно опубликованным данным, обилие фитопланктона в эстуариях умеренной зоны изменяется в весьма широких пределах: 1–29300 мг/м³ (табл. 2). По сравнению с приведенными цифрами обилие диатомей в эстуарии р. Суходол в сентябре 2012 г. было умеренным и невысоким.

Number and biomass of phytoplankton in estuaries of temperate latitudes

Море	Эстуарий	Численность, кл./л	Биомасса, мг/м ³	Источник данных
Белое	Кандалакшский залив	–	40–1500	Ильяш и др., 2011
	Двинский залив	–	196–2833	
	Онежский залив	–	127–180	
Балтийское	Невская губа	–	30–5660	Макарова, 1999
	Копорская губа	–	295–378	
	Лужская губа	–	174–245	
Охотское	Амурский лиман	$0,19 \cdot 10^8$ – $0,88 \cdot 10^8$	1000–3170	Шевченко и др., 2013
	Оз. Тунайча	$45,4 \cdot 10^3$ – $841,0 \cdot 10^3$	53,8–801,9	Мотылькова, Коновалова, 2003
Японское	Тавричанский лиман	$0,6 \cdot 10^8$ – $31,1 \cdot 10^8$	2900–29300	Stonik, Orlova, 2002
Азовское	Таганрогский залив	$17,5 \cdot 10^6$	46,9	Ластивка, 1999
		$0,5 \cdot 10^6$ – $2,5 \cdot 10^6$	1–8	Макаревич и др., 2006
Черное	Тилигульский лиман	$6,8 \cdot 10^6$ – $23,2 \cdot 10^6$	1,4–3,4	Лиманно-устьевые комплексы ..., 1988
	Куяльницкий лиман	$9,4 \cdot 10^6$	0,71	
	Хаджибейский лиман	$12,1 \cdot 10^6$ – $70,1 \cdot 10^6$	16,9–95,2	
	Будакский лиман	$0,3 \cdot 10^6$ – $16,0 \cdot 10^6$	0,5–8,7	
	Аджалыкский лиман	$0,74 \cdot 10^6$ – $3,90 \cdot 10^6$	2,5–34,6	

Кластерный анализ показал (рис. 6), что по видовой структуре фитопланктона исследованные станции можно разделить на 3 группы: мелководные (менее 1 м) станции (3, 4, 5, 6, 8) и глубоководные (более 1 м) станции (1, 7, 9, 10, 11, 12) внутреннего эстуария, а также станция внешнего эстуария (2) (рис. 7). В табл. 3 представлены состав и осредненные характеристики сообщества диатомей выделенных групп станций. Во внешнем эстуарии их биомасса была равна $467,8 \text{ мг/м}^3$, в глубоководной части внутреннего эстуария — $285,4 \pm 117,5 \text{ мг/м}^3$, на мелководных участках — $42,0 \pm 16,5 \text{ мг/м}^3$.

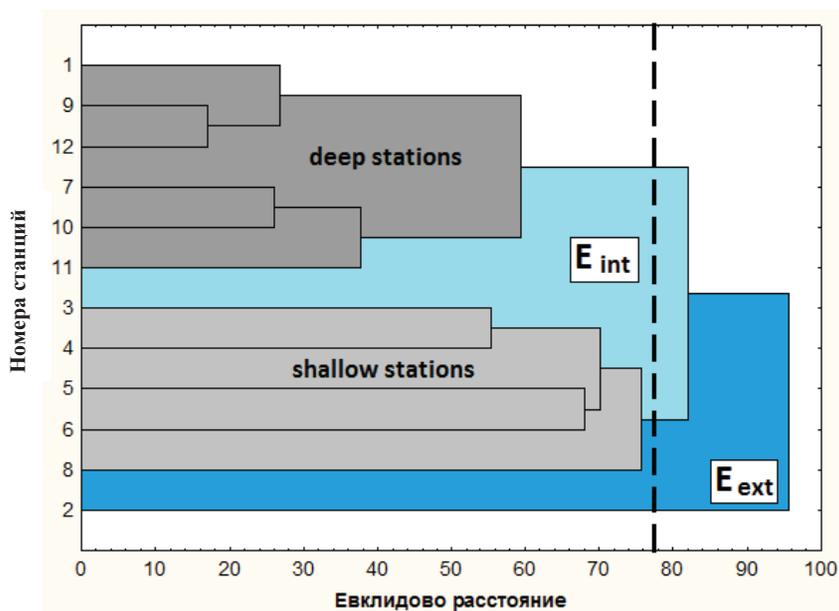


Рис. 6. Дендрограмма сходства видовой структуры фитопланктона (% по массе) на разных станциях. Пунктир — уровень «значимого сходства»; E_{int} — станции внутреннего эстуария (deep stations — глубоководные, shallow stations — мелководные); E_{ext} — станция внешнего эстуария

Fig. 6. Dendrogram of samples similarity by weight percentage of phytoplankton species. Dotted line — level of «significant similarity»; E_{int} — stations of internal estuary (deep and shallow); E_{ext} — station of external estuary

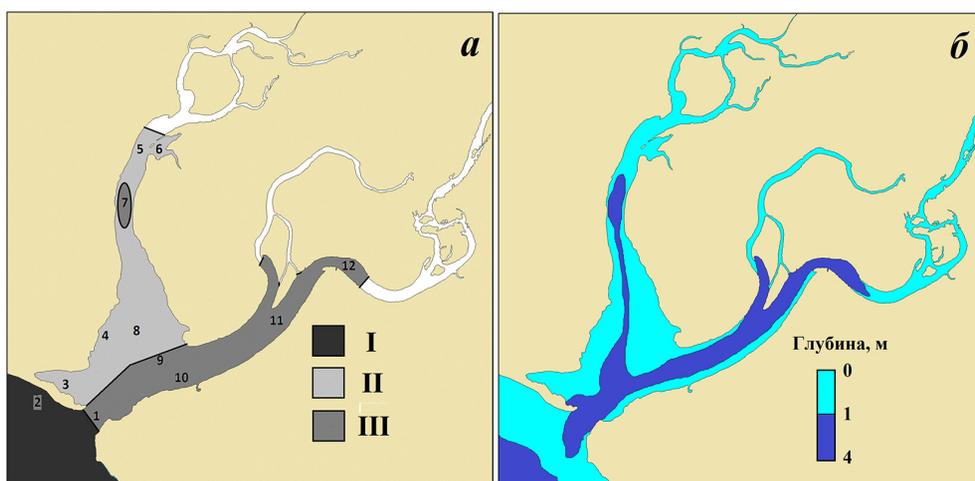


Рис. 7. Выделенные по составу фитопланктона районы (а) и рельеф дна (б) в эстуарии р. Суходол: I — внешний эстуарий; II — мелководные станции внутреннего эстуария; III — глубоководные станции внутреннего эстуария

Fig. 7. The Sukhodol estuary zoning by phytoplankton species structure (a) and bottom relief (b): I — external estuary; II — shallow internal estuary; III — deep-water internal estuary

Таблица 3

Состав (% по массе) и количественные характеристики сообществ фитопланктона выделенных районов эстуария

Table 3

Species composition (% of biomass) and quantitative parameters of phytoplankton communities, by zones of the Sukhodol estuary

Вид	Внешний эстуарий (E_{ext})	Внутренний эстуарий (E_{int})	
		Глубоководные станции (deep)	Мелководные станции (shallow)
<i>Dactyliosolen fragilissimus</i>	73,85	—	—
<i>Ulnaria ulna</i>	—	72,50	—
<i>Achnanthes lanceolata</i>	—	1,13	22,40
<i>Skeletonema costatum</i>	15,04	0,54	20,87
<i>Rhopalodia musculus</i>	—	—	14,40
<i>Melosira varians</i>	—	11,53	4,04
<i>Coccinodiscus oculus iridis</i>	8,06	—	—
<i>Pinnularia gibba</i>	—	0,72	5,82
<i>Ctenophora pulchella</i>	—	3,77	4,96
<i>Luticola mutica</i>	—	0,04	3,76
<i>Melosira lineata</i>	—	1,63	3,68
<i>Gyrosigma acuminatum</i>	—	0,80	2,90
<i>Pleurosigma angulatum</i>	0,59	—	2,38
<i>Nitzschia palea</i>	0,05	0,20	2,27
<i>Pleurosigma formosum</i>	—	—	2,21
<i>Hantzschia amphioxys</i>	—	1,48	2,02
<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>euglypta</i>	0,38	0,24	1,95
<i>Hannaea arcus</i>	—	0,51	1,76
<i>Cymatopleura solea</i>	—	1,55	—
<i>Amphora pediculus</i>	—	—	1,05
Прочие	2,03	3,37	3,53
Биомасса, мг/м ³	467,8	285,4 ± 117,5	42,0 ± 16,5
	—	40,8–813,4	5,0–89,2
H	1,27	1,74	3,56
e	0,34	0,34	0,73
Число видов	13	35	29
Число станций	1	6	5

Примечание. Над чертой — среднее ± стандартная ошибка, под чертой — пределы варьирования.

Во внешнем эстуарии и на глубоких участках внутреннего эстуария сообщество диатомовых было монодоминантным (соответственно $H = 1,27$ и $1,74$ бит/мг и $e = 0,34$ и $0,34$), а на мелководье внутреннего эстуария — полидоминантным ($H = 3,56$ бит/мг, $e = 0,73$). Кумулятивная доля первых 10 по обилию видов в первом биотопе была равна 99,7 %, во втором — 96,0 и в третьем — 85,2 % по массе (рис. 8).

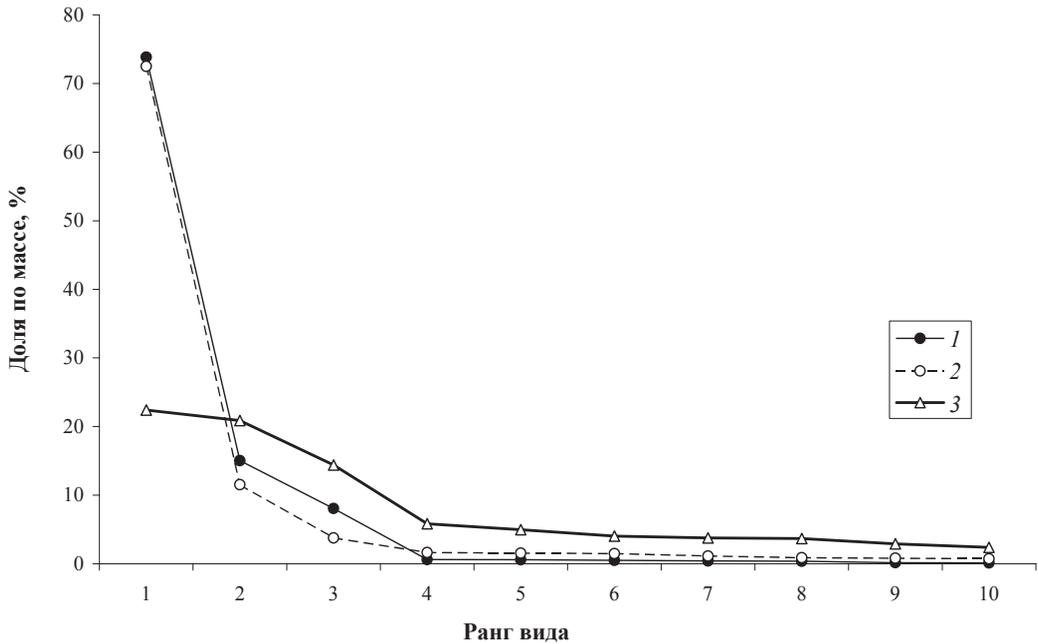


Рис. 8. Ранговые кривые обилия первых 10 видов диатомовых микроводорослей в выделенных районах: 1 — внешний эстуарий; 2 — глубоководные участки внутреннего эстуария; 3 — мелководье внутреннего эстуария

Fig. 8. Rank curves of the first 10 diatoms: 1 — external estuary; 2 — deep-water internal estuary; 3 — shallow internal estuary

Набор доминирующих видов диатомовых водорослей в исследованных биотопах существенно различался (табл. 3). Во внешнем эстуарии наиболее обильными были *Dactyliosolen fragilissimus* (73,9%), *Skeletonema costatum* (15,0%) и *Coscinodiscus oculus iridis* (8,1%), на приглубых участках внутреннего эстуария — *Ulnaria ulna* (72,5%), *Melosira varians* (11,5%) и *Stenophora pulchella* (3,8%), на мелководье внутреннего эстуария — *Achnanthes lanceolata* (22,4%), *S. costatum* (20,9%), *Rhopalodia musculus* (14,4%), *Pinnularia gibba* (5,8%) и *C. pulchella* (5,0%). На наш взгляд, такие различия в видовом составе фитопланктона определяются соленостью и вертикальной структурой вод в эстуарии. По отношению к солености во внешнем эстуарии доминировали эв- и мезогалобы, на глубоководных участках внутреннего эстуария — индифференты, галофилы и галофобы, на мелководье последнего — индифференты, мезогалобы и галофобы. Увеличение видового богатства и обилия морских видов по мере удаления от пресноводной зоны является общей закономерностью для эстуариев (Хлебович, 1974). Очевидно, что станции внешнего и внутреннего эстуария различаются величиной солености и структурой вод (см. рис. 2, 3, 7): в пределах внутреннего эстуария на мелководье отмечена однослойная структура вод (слегка осолоненная речная вода), а на глубоководных участках верхний практически пресный слой толщиной 0,5–1,0 м подстиляется солоноватыми водами; во внешнем эстуарии верхний солоноватый слой воды подстиляется солёными морскими водами. При этом, как известно, речные воды характеризуются повышенными концентрациями биогенных элементов (Ильяш и др., 2011).

Диатомовые водоросли *D. fragilissimus* и *S. costatum*, согласно классификации трофности вод по фитопланктону (Yamada et al., 1980a,b), являются индикаторами

эвтрофирования вод биогенными элементами, главным образом азотом и фосфором. Доминирование этих микроводорослей в фитопланктоне свидетельствует о высоком уровне трофности вод в результате повышения концентрации биогенов и РОВ в воде в условиях влияния природных или антропогенных источников (Ryther, Dunstan, 1971). При изучении фитопланктона в зал. Петра Великого Японского моря доминирование диатомей *D. fragilissimus* и *S. costatum* было отмечено в кутовой части Амурского залива (Тавричанский лиман), в районе устьев рек Шмидтовка, Вторая Речка, а также в зал. Находка (Стоник, Селина, 1995; Stonik, Orlova, 2002; Бегун и др., 2011), что исследователи связывают со значительным загрязнением вод бытовыми и промышленными стоками, богатыми биогенными элементами, и отсутствием очистных сооружений. Высокое обилие этих видов отмечалось осенью 2000 г. и в бухте Рында (о. Русский) в условиях отсутствия источников антропогенного загрязнения (Бегун, 2006), что может быть связано с природным эвтрофированием исследованной акватории вследствие мелководности, слабого водообмена и обильной минерализации макрофитов, способствующих обогащению вод биогенами.

Доминирование этих диатомей в эстуарии р. Суходол можно связать с накоплением здесь в результате работы маргинального фильтра (Лисицын, 1994) биогенов, поступающих с речным стоком. Второй возможный механизм обогащения эстуарных вод биогенами — рециклинг. Попавшая в донные отложения в результате лавинной седиментации органика взвешенного и растворенного органического вещества (ВОВ и РОВ) речных вод, а также от разлагающихся донных макрофитов минерализуется и вновь переходит в воду в результате взмучивания верхнего слоя грунта сгонами-нагонами и приливами-отливами. Это дополнительно стимулирует развитие фитопланктона, в результате чего донные отложения можно рассматривать как «депо» биогенных веществ (Гаркавая, Богатова, 2001).

Заключение

В осенний период 2012 г. в составе фитопланктона отмечено 48 видов диатомовых водорослей. По числу видов и внутривидовых форм преобладали представители микрофитобентосной жизненной формы (63 % списка). По отношению к солености преобладали мезогалобы и индифференты (68,9 %). Обилие фитопланктона было сравнительно невысоким ($199,5 \pm 71,0$ мг/м³). Видовой состав и структура фитопланктона определялись расположением станций в разных биотопах эстуария. Доминирование в составе диатомовых водорослей *D. fragilissimus* и *S. costatum* свидетельствует о высоком уровне трофности вод эстуария р. Суходол.

Авторы благодарны д-ру геогр. наук Ю.И. Зуенко и П.Г. Милованкину (ТИНРО-центр) за иллюстрацию статьи данными океанологических наблюдений, а также канд. биол. наук Л.А. Медведевой (БПИ ДВО РАН) за консультации при определении некоторых видов микроводорослей.

Список литературы

- Бегун А.А.** Биоиндикация состояния морской среды по диатомовым водорослям эпифитона макрофитов (залив Петра Великого, Японское море) // Изв. ТИНРО. — 2012. — Т. 169. — С. 77–93.
- Бегун А.А.** Летне-осенний фитопланктон бухты Золотой Рог (Японское море) в условиях антропогенного загрязнения // Альгология. — 2006. — Т. 16, № 4. — С. 417–434.
- Бегун А.А., Звягинцев А.Ю., Масленников С.И.** Фитопланктон в районе очистных сооружений г. Владивостока (Амурский залив, Японское море) // Науч. тр. Дальрыбвтуза. — 2011. — Т. 24. — С. 3–12.
- Бегун А.А., Звягинцев А.Ю., Мощенко А.В.** Состав, обилие и динамика сообществ микроводорослей перифитона в прибрежных водах некоторых акваторий залива Петра Великого Японского моря // Изв. ТИНРО. — 2009. — Т. 157. — С. 34–63.
- Бегун А.А., Орлова Т.Ю., Звягинцев А.Ю.** Фитопланктон Амурского залива Японского моря в районе г. Владивостока // Альгология. — 2003. — Т. 13, № 2. — С. 204–215.

Бегун А.А., Орлова Т.Ю., Селина М.С. Случай «цветения» воды в Амурском заливе Японского моря, вызванный динофитовой водорослью *Ochrysrhis marina* Dujardin, 1841 // Биол. моря. — 2004. — Т. 30, № 2. — С. 68–71.

Бурковский И.В., Столяров А.П., Колобов М.Ю. Пространственная организация и функционирование морской (эстуарной) прибрежной экосистемы // Успехи соврем. биологии. — 2002. — Т. 122, № 4. — С. 316–325.

Гаркавая Г.П., Богатова Ю.С. Современные источники эвтрофирования северо-западной части Черного моря // Наук. записки Тернопільського пед. ун-ту ім В. Гнатюка. Серія: Біологія. — 2001. — № 3(14); Спец. вип. : Гідроекологія. — С. 188–189.

Губелит Ю.И. Биомасса и первичная продукция *Cladophora glomerata* (L.) Kütz. в эстуарии реки Невы // Биол. внутр. вод. — 2009. — № 4. — С. 8–12.

Гусарова И.С., Колпаков Н.В., Ольховик А.В. Сезонная динамика макрофитобентоса эстуария реки Суходол (Уссурийский залив, залив Петра Великого) // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. — Владивосток : Дальнаука, 2011. — Вып. 5. — С. 134–141.

Зуенко Ю.И. Промысловая океанология Японского моря : монография. — Владивосток : ТИПРО-центр, 2008. — 227 с.

Ильяш Л.В., Радченко И.Г., Лисицын А.П. и др. Пространственная вариабельность состава, обилия и продукционных характеристик фитопланктона Белого моря в конце лета // Океанол. — 2011. — Т. 51, № 1. — С. 24–32.

Колпаков Н.В. Продукция макрофитов в эстуариях рек Приморья // Изв. ТИПРО. — 2013. — Т. 174. — С. 135–148.

Колпаков Н.В., Долганова Н.Т., Надточий В.А. и др. Экосистемные исследования биоресурсов прибрежных и эстуарных вод южного Приморья // ТИПРО—85. Итоги десятилетней деятельности. 2000–2010 гг. — Владивосток : ТИПРО-центр, 2010. — С. 103–128.

Колпаков Н.В., Ольховик А.В., Колпаков Е.В., Милованкин П.Г. Первые данные по составу и структуре фитоконсорциев эстуариев залива Петра Великого // Изв. ТИПРО. — 2012. — Т. 170. — С. 3–16.

Ластивка Т.В. Сезонная динамика фитопланктона // Современное развитие эстуарных экосистем на примере Азовского моря. — Апатиты : КНЦ РАН, 1999. — С. 79–95.

Левченко Е.В., Бегун А.А. Диатомовые водоросли эпифитона на макрофитах бухты Соболя (Уссурийский залив, Японское море) // Изв. ТИПРО. — 2008. — Т. 154. — С. 248–258.

Лиманно-устьевые комплексы Причерноморья: Географические основы хозяйственного освоения : монография / под ред. Г.И. Швевса. — Л. : Наука, 1988. — 303 с.

Лисицын А.П. Маргинальный фильтр океанов // Океанол. — 1994. — Т. 34, № 5. — С. 735–747.

Макарович П.Р., Ларионов В.В., Кренева К.В. Фитопланктонное сообщество Таганрогского залива Азовского моря в зимний период // Экол. моря. — 2006. — Вып. 71. — С. 73–78.

Макарова С.В. Динамика структурных показателей фитопланктона восточной части Финского залива в многолетнем аспекте : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — СПб., 1999. — 24 с.

Мотылькова И.В., Коновалова Н.В. Весенний фитопланктон озера Тунайча (южный Сахалин) // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. — Владивосток : Дальнаука, 2003. — Вып. 2. — С. 287–294.

Никулина Т.В. Оценка экологического состояния реки Раздольной (Приморье, Россия) по составу индикаторных видов водорослей // Вестн. ДВО РАН. — 2006. — № 6. — С. 71–78.

Никулина Т.В. Таксономическая структура и эколого-географическая характеристика альгофлоры бассейна реки Раздольной (Приморье) // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. — Владивосток : Дальнаука, 2005. — Вып. 3. — С. 221–236.

Пузаченко Ю.Г. Математические методы в экологических и географических исследованиях : учеб. пособие для студ. вузов. — М. : Издательский центр «Академия», 2004. — 416 с.

Стоник И.В., Селина М.С. Фитопланктон как показатель трофности вод залива Петра Великого Японского моря // Биол. моря. — 1995. — Т. 21, № 6. — С. 403–406.

Хлебович В.В. Критическая соленость биологических процессов : монография. — Л. : Наука, 1974. — 235 с.

Шевченко О.Г., Селина М.С., Орлова Т.Ю. и др. Фитопланктон Амурского лимана (Охотское море) в летние периоды 2005–2007 годов // Биол. моря. — 2013. — Т. 39, № 2. — С. 85–97.

Шунтов В.П., Бочаров Л.Н., Волвенко И.В. и др. Экосистемное изучение биологических ресурсов дальневосточных морских вод России: некоторые результаты исследований в конце 20 — начале 21-го столетия // ТИПРО—85. Итоги десятилетней деятельности. 2000–2010 гг. — Владивосток : ТИПРО-центр, 2010. — С. 25–78.

Dame R., Alber M., Allen D. et al. Estuaries of the South Atlantic Coast of North America: Their Geographical Signatures // *Estuaries*. — 2000. — Vol. 23, № 6. — P. 793–819.

Geertz-Hansen O., Montes C., Duarte C.M. et al. Ecosystem metabolism in a temporary Mediterranean marsh (Doñana National Park, SW Spain) // *Biogeosciences Discuss.* — 2010. — Vol. 7. — P. 6495–6521.

Hemminga M.A., Duarte C.M. Seagrass ecology. — Cambridge : Cambridge Univ. Press, 2000. — 298 p.

Moncreiff C.A., Sullivan M.J., Daehnick A.E. Primary production dynamics in seagrass beds of Mississippi Sound: the contributions of seagrass, epiphytic algae, sand microflora, and phytoplankton // *Mar. Ecol. Prog. Ser.* — 1992. — Vol. 87. — P. 161–171.

Murray L., Wetzel R.L. Oxygen production and consumption associated with the major autotrophic components in two temperate seagrass communities // *Mar. Ecol. Prog. Ser.* — 1987. — Vol. 38. — P. 231–239.

Penhale P.A. Macrophyte epiphyte biomass and productivity in an eelgrass (*Zostera marina* L.) community // *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* — 1977. — Vol. 26. — P. 211–224.

Ryther J.H., Dunstan W.M. Nitrogen, phosphorus, and eutrophication in the coastal marine environment // *Science*. — 1971. — Vol. 171. — P. 1008–1013.

Stonik I.V., Orlova T.Yu. Phytoplankton of the coastal waters off Vladivostok (the North-western part of the East Sea) under Eutrophic Conditions // *Ocean and Polar Research*. — 2002. — Vol. 24, № 4. — P. 359–365.

Yamada M., Tsuruta A., Yoshida Y. A list of phytoplankton as eutrophic level indicator // *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* — 1980a. — Vol. 46, № 12. — P. 1435–1438.

Yamada M., Tsuruta A., Yoshida Y. Classification of eutrophic levels in several marine regions // *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* — 1980b. — Vol. 46, № 12. — P. 1439–1444.

Поступила в редакцию 18.12.13 г.