

УДК 581.526.325

ФИТОПЛАНКТОН ЭСТУАРИЯ РЕКИ КАМЧАТКИ**Е.В. Лепская**

Вед. н. с., Камчатский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии
683000 Петропавловск-Камчатский, ул. Набережная, 18
Тел., факс: (4152) 41-27-01
E-mail: lepskaya@list.ru

БИОМАССА, ВИДОВАЯ СТРУКТУРА, РЕКА КАМЧАТКА, ПЛАНКОТРИХЕТОВЫЙ ТИП ОЗЕР, ФИТОПЛАНКТОН, ЧИСЛЕННОСТЬ, ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА, ЭСТУАРИЙ

В планктоне эстуария р. Камчатка (озера Култучное, Нерпичье, протока Озерная, устьевая часть р. Камчатка, заливы-лагуны — Тахирские озера на месте бывшего залива Тахирка) найдено 105 таксонов микроводорослей. По численности и биомассе доминировал комплекс синезеленых водорослей *Planktothrix agardhii* (Gomont) Anagnostidis & Komárek, *Limnothrix planctonica* (Woloszynska) Meffert, *Phormidium granulatum* (Gardner) Anagnostidis, *Anabaena* spp., *Aphanozomenon* cf. *flexuosum*, *Nodularia spumigena* Mertens ex Bornet & Flahault, *Woronochinia* cf. *compacta*, среди которых массовым видом был *P. agardhii*. В течение последних 100 лет произошло осолонение озерной части эстуария р. Камчатка, что привело к увеличению минерализации воды в озерах и естественной эвтрофикации озерной зоны. В результате водоемы эстуария (озера Култучное и Нерпичье) перешли в группу планктотрихетовых озер, для которых характерны высокое содержание минерального азота (2 мгN/л) в восстановленной форме (NH₄), высокое значение отношения минерального азота к минеральному фосфору (от 10 до 18), затененность придонного слоя и накопление в нем сероводорода.

THE PHYTOPLANKTON OF THE KAMCHATKA RIVER ESTUARY**E.V. Lepskaya**

Leading scientist, Kamchatka Research Institute of Fisheries and Oceanography
683000 Petropavlovsk-Kamchatsky, Naberedzhnaya, 18
Tel., fax: (4152) 41-27-01
E-mail: lepskaya@list.ru

BIOMASS, TAXONOMIC STRUCTURE, THE KAMCHATKA RIVER, PLANKTOTRICHETIC LAKE, PHYTOPLANKTON, ABUNDANCE, ECOLOGICAL STRUCTURE, ESTUARY

In the plankton of the estuarine water bodies of the Kamchatka River (the Kultuchnoe, Nerpich'e Lakes, the side channel Ozernaya, mouth area of the Kamchatka River, the Takhirskie Lakes — creeks-lagoons appeared in the place of the former Takhirka Gulf) were found 105 species, varieties and forms of microalgae. Blue-green algae *Planktothrix agardhii*, *Limnothrix planctonica*, *Phormidium granulatum*, *Anabaena* spp., *Aphanozomenon* cf. *flexuosum*, *Nodularia spumigena*, *Woronochinia* cf. *compacta* prevail in abundance and biomass with the dominant species of *Planktothrix agardhii*. The salinity of the estuary lakes is increased during last 100 years that caused an increase in water mineralization and natural eutrophication of the lake zone. As a result of natural phenomenon, the estuarine water bodies (the Kultuchnoe and Nerpichie Lakes) have turned into planktotrichetic type lakes which are characterized by a high concentration of mineral nitrogen (ammonium) up to 2 mgN/L, a high value ratio of mineral nitrogen to phosphorus (from 10 to 18), accumulation of hydrogen sulfide in the benthopelagic boundary layer and its opacity.

Эстуарий реки Камчатка находится на северо-востоке одноименного полуострова, на берегу Камчатского залива. К числу главных особенностей гидрологического режима эстуария относятся: интенсивность и периодичность обновления и характер циркуляции вод. Этими факторами определяются все гидрологические характеристики (температура, соленость, содержание растворенного кислорода и т. п.) вод внутри отдельных районов эстуария и, соответственно, биотические процессы в них.

Современные данные о морфометрии и гидрологическом состоянии эстуария р. Камчатка, а также физико-географическая характеристика района, приведены в статье С.Л. Горина (Горин, 2013).

Первые сведения о фитопланктоне эстуария приведены в работе А.А. Еленкина (Еленкин, 1914). Он подчеркивал, что нахождение в планктоне камчатских вод *Oscillatoria agardhii*, которая была уже в то время широко известна для европейских озер, а для Северной Америки — только из р. Миссури, представляет большой интерес.

С.С. Барина и Л.А. Медведева (Барина, Медведева, 1996) для устья р. Камчатка дополнили список А.А. Еленкина по результатам экологических исследований.

Е.В. Лепская (Лепская, 2010а), изучив сентябрьские пробы 2009 г., показала, что в озерной и лагунной частях эстуария доминировали синезеленые водоросли *Planktothrix agardhii* (*Oscillatoria*

agardhii) и *Limnithrix planctonica*, а в речной по видовому богатству и численности — диатомовые. Первичная продукция планктона в это время составила 100–150 мгС/м² при низкой скорости продуцирования органического вещества (P/B=0,01).

Цель настоящего сообщения — охарактеризовать современное состояние видовой и экологической структур фитопланктона, оценить его численность и биомассу, показать распределение по районам эстуария и изменчивость в безледный период, а также выявить трансформацию структурных характеристик фитопланктона эстуария, которая произошла за последние 100 лет.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Фитопланктон был собран батометром Нансена 23.09.2009, 25.06–02.07.2010 и 11–13.08.2010 в шести гидрологических районах (рис. 1, табл. 1). На большинстве станций с глубинами 2–5 м отбор проб проводили в поверхностном и придонном горизонтах. На станциях с глубиной около 10 м пробы также отбирали в промежуточном пятиметровом слое.

В работе использована современная классификация водорослей (Белякова и др., 2006а, 2006б; Водоросли..., 2006). Представителей класса диатомовых (*Bacillariophyceae*) идентифицировали по определителям (Забелина и др., 1951; Krammer, Lange-Bertalot, 1991; Round et al., 1990) с учетом современных представлений о номенклатуре этих микроводорослей (<http://www.algaebase.org>). Представителей отдела зеленых (*Chlorophyta*) водорослей — согласно определителям (Царенко, 1990; Komárek, Fott, 1983), синезеленых — по руководствам (Голлербах и др., 1953; Komárek, Anagnostidis, 2005). Экологические характеристики взяты из работ С.С. Бариновой с коллегами (Баринова, Медведева, 1996; Баринова и др., 2006) и из сборника «Водоросли...» (2006).

Данные о видовом составе водорослей эстуария р. Камчатки в 1909 г. взяты из работы А.А. Еленкина (Еленкин, 1914), в 1980-х годах — из Атласа... (Баринова, Медведева, 1996), центрических диатомовых — из статьи С.И. Генкала и Е.В. Лепской (Генкал, Лепская, 2013).

Количество «живых» водорослей в планктоне подсчитывали в 50 мл пробы, отфильтрованной на мембранные фильтры Millipore с диаметром пор 0,8 мкм после окрашивания осадка карболовым раствором эритрозина (Сорокин, Павельева, 1972) в микроскопе Olympus VX-40 при увеличении 400. Фотографирование микроводорослей проводили в микроскопе Olympus VX-43 с элект-

ронной системой для макросъемки DP21 при увеличении 1000.

Сырую биомассу рассчитывали для отдельных составляющих фитопланктона, с учетом их численности и средних клеточных объемов (табл. 2), ориентируясь при расчете на доминирующие виды.

Данные по биогенному составу вод эстуария взяты из работы Е.В. Лепской с соавторами (Лепская и др., 2010б).

Под сезонной изменчивостью в данной работе понимаются изменения характеристик фитоплан-

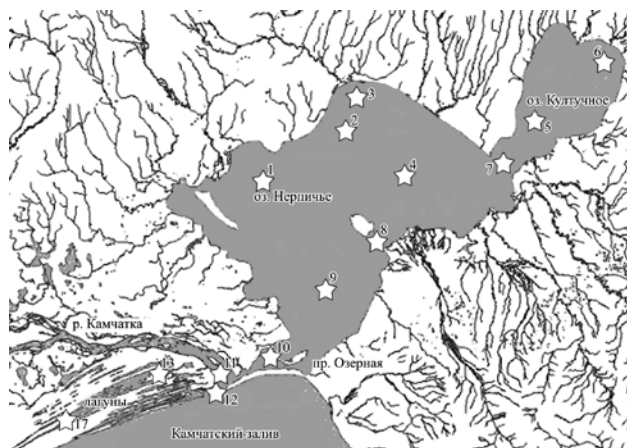


Рис. 1. Карта-схема фитопланктонных станций в эстуарии р. Камчатки

Таблица 1. Описание фитопланктонных проб и районов их отбора

Гидрологический район	№ гидр. района	Станция	Глубина, м
Оз. Култучное	5	5	10,0–10,5
		6	5,6–6,0
		7	4,9–5,1
Оз. Нерпичье (дальняя часть)	4	1	4,0–4,2
		2	5,4–5,6
		3	5,0
		4	5,0–5,4
Глубокий пролив у м. Тонкий	–	8	10,3
Оз. Нерпичье (ближняя часть)	3	9	3,5–4,0
		10	2,5–6,8
Озерная протока	2	10	2,5–6,8
		11 (река)	2,0
Р. Камчатка	1	12 (устье реки)	5,0 (прилив)
		13	0,5
Дальние и Ближние (Тахирские) лагуны, образовавшиеся на месте залива Тахирка	7	17	4,1–4,4

ктона в безледный период, так как в бассейне эстуария р. Камчатки гидрологическая весна приходится на конец июня – начало июля, гидрологическое лето — это август, а по сентябрьским данным можно получить представление о состоянии экосистемы в начале осени.

Таблица 2. Средние объемы клеток микроводорослей доминирующего комплекса

Таксон	Средний объем клетки (трихома*), мкм ³
<i>Anabaena</i> -complex (табл. 3)	380
<i>Aphanizomenon</i> cf. <i>flexuosum</i>	20
<i>Limnothrix planctonica</i>	300*
<i>Microcystis</i> sp.	2
<i>Nodularia spumigena</i>	390
<i>Planktothrix agardhii</i>	98
<i>Phormidium granulatum</i>	100
<i>Woronichinia</i> cf. <i>compacta</i>	34

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В водоемах и водотоках эстуария р. Камчатки при идентификации микроводорослей в световом микроскопе было обнаружено 87 таксонов микроводорослей из 4 отделов (Cyanophyta, Ochrophyta, Dinophyta, Chlorophyta) и 5 классов (Bacillariophyceae, Chrysophyceae, Dinophyceae, Chlorophyceae, Zygnematomphyceae) (табл. 3). Общий список водорослей данного района с учетом литературных данных насчитывает 143 вида. Из них до вида определены 88 таксонов, остальные даны со знаком открытой номенклатуры, среди которых 1 представитель синезеленых (рис. 3 (13)) и 1 представитель динофитовых (рис. 4 (22)) определены в пределах класса (табл. 3). В общем списке 24 вида относятся к отделу синезеленых водорослей, 80 — к классу диатомовых, 5 — к классу золотистых, динофитовые водоросли представлены 3 таксонами, и 31 вид отнесен к отделу зеленых водорослей. По видовому богатству выделяются диатомовые

Таблица 3. Таксономический состав (по данным разных авторов) и эколого-географическая характеристика микроводорослей эстуария р. Камчатки (прочерк означает отсутствие таксона в пробе)

№	Таксон	Еленкин, 1914	Барина, Медведева, 1996	Генкал, Лелская, 2013	Данные Лелской	Экологические характеристики		
						Место обитания	Индекс сапробности (s)	Галобность
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Отдел Суанорфита (синезеленые водоросли)								
1	<i>Anabaena flos-aquae</i> (Lyngb.) Bréb. (рис. 4 (8))	–	+	–	+	п	2,0	и
2	<i>Anabaena flos-aquae</i> var. <i>gracilis</i> (Kleb.) Elenk	+	–	–	–	–	–	–
3	<i>Anabaena lemmermanni</i> P. Richter	+	–	–	+	п	2,0	и
4	<i>Anabaena spiroides</i> Kleb. (рис. 3 (7))	+	+	–	+	п	1,35	и
5	<i>Anabaena</i> sp. (с аэротопами)	–	–	–	+	–	–	–
6	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> (L.) Ralfs.	+	+	–	+	п	1,7	гл
7	<i>Aphanizomenon</i> cf. <i>flexuosum</i> Kom. & Kov. (<i>A. flos-aquae</i> f. <i>gracile</i>) (рис. 4 (7))	–	–	–	+	п	1,6	и
8	<i>Coelosphaerium</i> sp. (рис. 3 (12))	–	–	–	+	–	–	–
9	<i>Chroococcus</i> sp. (рис. 3 (15))	–	–	–	+	–	–	–
10	<i>Gloeocapsa</i> sp. (рис. 4 (9))	–	–	–	+	–	–	–
11	<i>Gloeotrichia echinulata</i> (T.S. Smith) P. Richt.	–	+	–	–	п	1,5	и
12	<i>Gomphosphaeria</i> sp. (рис. 3 (16))	–	–	–	+	–	–	–
13	<i>Limnothrix planctonica</i> (Wolsz.) Meffert (<i>Oscillatoria planctonica</i>) (рис. 3 (8))	–	–	–	+	п	1,6	и
14	<i>Limnothrix redekei</i> (Van Goor) Meffert (<i>Oscillatoria redekei</i>) (рис. 3 (9))	–	–	–	+	п-б	1,6	и
15	<i>Merismopedia</i> sp. (рис. 4 (10))	–	–	–	+	–	–	–
16	<i>Microcystis</i> sp.	–	–	–	+	–	–	–
17	<i>Nodularia litorea</i> (Kütz.) Thur.	–	–	–	+	п-б	–	гл
18	<i>Nodularia spumigena</i> Mert. ex Born. et Flah. (рис. 4 (3))	–	–	–	+	п-б	1,8	гл

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
19	<i>Oscillatoria limosa</i> Ag.	+	-	-	-	п-б	2,0	гл
20	<i>Phormidium granulatum</i> (Gardn.) Anagn. (<i>Oscillatoria granulata</i>) (рис. 4 (4-6))	-	-	-	+	п-б	1,0	гб
21	<i>Planktothrix agardhii</i> (Gom.) Anagn. et Kom. (<i>Oscillatoria agardhii</i>) (рис. 3 (10, 11))	+	+	-	+	п-б	2,2	гл
22	<i>Tetrarcus ilsteri</i> Skuja (рис. 3 (14))	-	-	-	+	б	-	гб
23	<i>Woronichinia cf. compacta</i> (Lemm.) Kom. & Hind. (рис. 3 (17))	-	-	-	+	п	2,0	гл
24	<i>Genus sp. sp. (Pseudoanabaena ?)</i> (рис. 3 (13))	-	-	-	+	-	-	-
Отдел Ochrophyta (охрофитовые водоросли)								
Класс Bacillariophyceae (диатомовые водоросли)								
25	<i>Actinocyclus octonarius</i> Ehr.	-	-	-	+	-	-	м
26	<i>Amphora ovalis</i> (Bréb.) Kütz.	+	+	-	-	б	1,65	и
27	<i>Asterionella formosa</i> var. <i>gracillima</i> (Hantz.) Grun.	-	+	-	-	п	1,0	и
28	<i>Asterionella zigzagostellata</i> Elenk. Nov. sp.	+	-	-	-	п	1,0	и
29	<i>Aulacoseira ambigua</i> (Grun.) Krammer	-	-	+	-	п	2,6	и
30	<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehr.) Simonsen (рис. 2 (16, 17))	-	-	+	+	п-б	2,4	и
31	<i>Aulacoseira islandica</i> (O. Müll.) Simonsen	-	-	+	-	п	0,6	и
32	<i>Aulacoseira italica</i> (Ehr.) Simonsen	+	+	+	-	п-б	1,6	и
33	<i>Aulacoseira subarctica</i> (O. Müll.) Haworth	+	-	+	-	п	2,6	и
34	<i>Aulacoseira valida</i> (Grun.) Krammer	+	-	+	-	п	-	и
35	<i>Chaetoceros cf. karianus</i> Grun.	-	-	+	-	п	-	м
36	<i>Chaetoceros</i> sp. (рис. 2 (6))	-	-	+	+	-	-	-
37	<i>Conticribra guillardii</i> (Hasle) Stachura-Suchoples et Williams	-	-	+	-	п	-	гл(м)
38	<i>Ctenophora pulchella</i> (Ralfs ex. Kütz.) D.M. Williams&Round (<i>Synedra pulchella</i> (Ralfs ex. Kütz.) Kütz.) (рис. 2 (4, 5))	-	-	-	+	э	1,0-2,0	мг
39	<i>Cyclostephanos dubius</i> (Frick.) Round	-	-	+	-	б	1,4-2,0	и
40	<i>Cyclotella antiqua</i> W. Sm.	+	-	-	-	п	-	гб
41	<i>Cyclotella atomus</i> Hust.	-	-	+	+	п-б	1,0	гл
42	<i>Cyclotella choctawhatcheeana</i> Prasad	-	-	+	-	п	2,4	мг
43	<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kütz.	+	+	+	+	п-б	2,6	гл
44	<i>Cyclotella ocellata</i> Pant.	-	-	+	+	п-б	1,0	и
45	<i>Cyclotella operculata</i> (Ag.) Kütz.	+	+	-	-	п	1,0	и
46	<i>Cylindrotheca closterium</i> (Ehr.) Reimann & J.C. Lewin (рис. 3 (1, 2))	-	-	-	+	п	-	мг
47	<i>Cymatopleura elliptica</i> (Bréb.) W. Sm.	+	+	-	-	б	2,2	и
48	<i>Cymatopleura solea</i> (Bréb.) W. Sm.	+	+	-	-	б	2,35	и
49	<i>Cymbella cistula</i> (Hempr.) Kirchn.	+	-	-	-	б	1,4	и
50	<i>Diatoma tenuis</i> Ag. (<i>Diatoma elongatum</i> (Lyngb.) Ag. (рис. 3 (4))	+	-	-	+	п-б	1,4	гл
51	<i>Diatoma hiemale</i> (Lyngb.) Heib.	+	+	-	-	п-б	0,1-1,6	гб
52	<i>Didymosphenia geminata</i> (Lyngb.) M. Schmidt (<i>Gomphonema geminatum</i>)	+	+	-	-	б	0,1	и
53	<i>Diploneis cf. smithii</i> (Bréb.) Cl.	-	-	-	+	б	-	мг
54	<i>Discostella pseudostelligera</i> (Hust.) Houk et Klee	-	-	+	+	п	1,4	и
55	<i>Discostella stelligera</i> (Cl. et Grun.) Houk et Klee	-	-	+	+	п-б	0-0,5	и
56	<i>Entomoneis</i> sp. (<i>Amphyprora</i> sp.) (рис. 2 (13))	-	-	-	+	б	-	гл
57	<i>Epithemia adnata</i> (Kütz.) Bréb. (<i>Cystopleura zebra</i>)	+	-	-	-	б	2,0	и
58	<i>Epithemia turgida</i> (Ehr.) Kütz. (<i>Cystopleura turgida</i>)	+	+	-	-	б	1,0-2,0	и
59	<i>Fragilaria acus</i> (Kütz.) Lange-Bertalot (<i>Synedra acus</i> Kütz.)	+	+	-	-	п	1,85-2,0	и
60	<i>Fragilaria radians</i> (Kütz.) D.M. Williams & Round (<i>Synedra radians</i>)	+	-	-	-	-	-	-
61	<i>Fragilariforma virescens</i> (Ralfs) D.M. Williams&Round (<i>Fragilaria virescens</i> Ralfs)	+	+	-	-	п-б	1,0	и
62	<i>Frustulia</i> sp.	-	-	-	+	-	-	-
63	<i>Melosira cf. arctica</i> (Ehr.) Dickie	-	-	+	+	-	-	-
64	<i>Melosira moniliformis</i> (O. Müll.) Ag.	-	-	-	+	п-б	-	гл
65	<i>Melosira moniliformis</i> var. <i>octogona</i> (Grun.) Hust.	-	-	-	+	-	-	гл

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
66	<i>Melosira nummuloides</i> Ag.	–	–	–	+	–	2,6	гл
67	<i>Melosira varians</i> Ag. (<i>Lysigonium varians</i>)	+	+	+	+	п-б	1,85–2,6	гл
68	<i>Melosira lineata</i> morphotip <i>juergensii</i> (рис. 3 (3))	–	–	–	+	–	–	мг
69	<i>Navicula</i> (?) sp. (рис. 2 (14, 18))	–	–	–	+	–	–	–
70	<i>Nitzschia acicularis</i> (Kütz.) W. Sm.	–	–	–	+	п-б	1,4	и
71	<i>Nitzschia sigmoidea</i> (Nitzsch.) W. Sm.	+	+	–	+	п-б	1,0–2,0	и
72	<i>Nitzschia sigma</i> (Kütz.) W. Sm.	+	+	–	–	б	3,0	мг
73	<i>Nitzschia</i> cf. <i>seriata</i> Cl.	–	–	–	+	–	–	м
74	<i>Nitzschia</i> sp.	–	–	–	+	–	–	–
75	<i>Pinnularia major</i> (Kütz.) Rabenh.	+	+	–	–	б	0,5–2,1	и
76	<i>Pseudostaurosira subsalina</i> (Hust.) E.A. Morales (<i>Fragilaria construens</i> var. <i>subsalina</i>) (рис. 2 (7, 9))	–	–	–	+	п-б	–	гл
77	<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (Ag.) Lange-Bertalot (<i>Rhoicosphenia curvata</i>) (рис. 2 (11, 12))	+	+	–	+	п-б	0,6–1,85	и
78	<i>Rhopalodia gibba</i> (Ehr.) O. Müll. (<i>Cystopleura gibba</i>)	+	–	–	+	б	0,4	и
79	<i>Skeletonema costatum</i> (Grev.) Cleve	–	–	+	+	п	–	м
80	<i>Stauroneis phoenicentron</i> Ehr.	+	+	–	–	б	0,4–1,7	и
81	<i>Staurosira construens</i> Ehr. (<i>Fragilaria construens</i>) (рис. 2 (10, 15))	–	–	–	+	п-б	1,0	и
82	<i>Staurosira elliptica</i> (Schumann) D.M. Williams & Round (рис. 2 (8))	–	–	–	+	б	2,4	–
83	<i>Staurosirella pinnata</i> (Ehr.) D.M. Williams & Round (<i>Fragilaria pinnata</i> Ehr.)	–	+	–	–	б	1,0–2,0	гл
84	<i>Staurosirella pinnata</i> var. <i>intercedens</i> (Grun.) P.B. Hamilton (<i>Odontidium mutabile</i>)	+	–	–	–	б	2,4	и
85	<i>Stephanodiscus delicatus</i> Genkal	–	–	+	–	п	–	и
86	<i>Stephanodiscus hantzschii</i> Grun.	+	+	+	–	п	2,6	и
88	<i>Stephanodiscus invisitatus</i> Hohn et Hellermann	–	–	+	–	п	1,4	и
89	<i>Stephanodiscus makarovae</i> Genkal	–	–	+	–	п	–	и
90	<i>Stephanodiscus minutulus</i> (Kütz.) Cleve et Möller	–	–	+	–	п	1,4	и
91	<i>Stephanodiscus</i> cf. <i>neoastraea</i> Håkansson et Hickell emend. Casper, Scheffler et Augsten	–	–	+	–	п	1,4	и
92	<i>Stephanodiscus</i> cf. <i>niagarae</i> Ehr.	–	–	–	+	п	–	и
93	<i>Surirella biseriata</i> Bréb. (<i>Suriraya biseriata</i>)	+	+	–	–	п-б	1,4–2,0	и
94	<i>Surirella linearis</i> W. Sm. (<i>Suriraya linearis</i>)	+	+	–	–	п-б	1,4–2,2	и
95	<i>Surirella splendida</i> (Ehr.) Kütz. (<i>Suriraya splendida</i>)	+	–	–	–	п-б	1,4	и
96	<i>Synedra</i> cf. <i>actinastroides</i> (Lemm.)	–	–	–	+	п	–	–
97	<i>Synedra tenera</i> W. Sm.	–	–	–	+	б	1,0	и
98	<i>Synedra ulna</i> (Nitzsch.) Ehr.	+	–	–	+	п-б	1,8	и
99	<i>Tabularia fasciculata</i> (Ag.) D.M. Williams & Round (<i>Synedra tabulata</i> (Ag.) Kütz.) (рис. 2 (3, 6))	–	–	–	+	б	2,4	мг
100	<i>Thalassiosira</i> cf. <i>allenii</i> Takano	–	–	+	–	–	–	м
101	<i>Thalassiosira baltica</i> (Grun.) Ostenfeld	–	–	+	+	п-б	–	м
102	<i>Thalassiosira gravida</i> Cl.	–	–	–	+	п	–	м
103	<i>Thalassiosira lacustris</i> (Grun.) Hassle et Fruxell (<i>Coscinodiscus lacustris</i>) (рис. 4 (21))	+	–	+	+	п-б	–	м
104	<i>Ulnaria amphirhynchus</i> (Ehr.) Compère & Bukhtiyarova (<i>Synedra ulna</i> var. <i>amphirhynchus</i>) (рис. 2 (2))	+	–	–	+	б	–	и
Класс Chrysophyceae (золотистые водоросли)								
105	<i>Chrysophaerella longispina</i> Lauterb.	+	–	–	–	–	1,4	–
106	<i>Dinobryon sociale</i> Ehr.	+	–	–	–	п	2,0	и
107	<i>Mallomonas fastigata</i> Zach.	+	+	–	–	п	1,0–1,2	и
108	<i>Synura uvella</i> Ehr.	+	+	–	–	п	1,8–1,85	и
109	<i>Trachelomonas</i> (?) sp. (рис. 3 (19))	–	–	–	+	–	–	–
Отдел Dinophyta (динофитовые водоросли)								
Класс Dinophyceae (динофициевые)								
110	<i>Peridinium tabulatum</i> (Ehr.) Clap. et Lachm.	+	–	–	–	–	1,6	–

Окончание таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
111	<i>Peridinium</i> sp. (рис. 2 (19); рис. 3 (18))	–	–	–	+	–	–	–
112	Genus sp. (<i>Diplopeltopsis minor</i> (?)) (рис. 4 (22))	–	–	–	+	–	–	м
Отдел Chlorophyta (зеленые водоросли в широком смысле)								
Класс Chlorophyceae (зеленые водоросли)								
113	<i>Actinastrum aciculare</i> Playfair.	–	–	–	+	–	–	–
114	<i>Closteriopsis acicularis</i> (Chod.) Belcher&Swale (рис. 4 (20))	–	–	–	+	п-б	1,8	и
115	<i>Closteriopsis</i> sp. (рис. 3 (20))	–	–	–	+	–	–	–
116	<i>Crucigenia</i> sp.	–	–	–	+	–	–	–
117	<i>Dictyosphaerium anomalum</i> Korš. (рис. 3 (44))	–	–	–	+	п	2,0	и
118	<i>Dictyosphaerium pulchellum</i> Wood (рис. 3 (45); рис. 4 (19))	–	–	–	+	п-б	2,0	и
119	<i>Dictyosphaerium chlorelloides</i> (Naum.) Kom.&Perm. (рис. 3 (46))	–	–	–	+	п-б	–	–
120	<i>Eudorina elegans</i> Ehr.	+	+	–	–	п	1,85–2,0	и
121	<i>Gonium pectorale</i> Müll.	+	+	–	–	п	2,8	и
122	<i>Lagerheimia subsalsa</i> (Lemm.) Lemm. (рис. 4 (16))	–	–	–	+	п-б	2,0	–
123	<i>Lagerheimia chodatii</i> C. Bernard	–	–	–	+	–	–	–
124	<i>Monoraphidium contortum</i> (Thur.) Kom.-Legn. (рис. 3 (22))	–	–	–	+	п-б	2,0	–
125	<i>Oocystis lacustris</i> Chod. (рис. 3 (23–26))	–	–	–	+	п-б	1,6	гл
126	<i>Pandorina morum</i> (Müll.) Bory	+	+	–	–	п	2,0	и
127	<i>Pediastrum boryanum</i> (Turp.) Menegh.	+	–	–	–	п-б	1,8	и
128	<i>Pediastrum duplex</i> Meyen	+	+	–	–	п	1,7	и
129	<i>Raphidocelis subcapitata</i> (Korsch.) Nygaard et al. (рис. 3 (51))	–	–	–	+	п-б	1,4	–
130	<i>Scenedesmus acutus</i> Meyen (рис. 3 (40–42))	–	–	–	+	п-б	2,0	и
131	<i>Scenedesmus arcuatus</i> (Lemm.) Lemm.	–	–	–	+	п-б	1,8	и
132	<i>Scenedesmus</i> cf. <i>lefevrii</i> Delf. (рис. 2 (20); рис. 3 (38, 39); рис. 4 (18))	–	–	–	+	п-б	2,0	–
133	<i>Scenedesmus</i> cf. <i>longispina</i> Chod. (рис. 3 (43))	–	–	–	+	–	1,8	–
134	<i>Scenedesmus microspina</i> Chod. (рис. 3 (31); рис. 4 (11))	–	–	–	+	–	–	–
135	<i>Scenedesmus nanus</i> Chod. (рис. 3 (30))	–	–	–	+	–	–	–
136	<i>Scenedesmus opoliensis</i> P. Richt. (рис. 2 (21); рис. 3 (32–34))	–	–	–	+	п-б	2,0	–
137	<i>Scenedesmus</i> cf. <i>opoliensis</i> P. Richt. (рис. 2 (22); рис. 4 (13))	–	–	–	+	–	–	–
138	<i>Scenedesmus quadricauda</i> (Turp.) Bréb. (рис. 4 (15))	–	–	–	+	п	2,0	и
139	<i>Scenedesmus</i> cf. <i>quadrispina</i> Chod. (рис. 3 (35–37); рис. 4 (12))	–	–	–	+	–	–	–
140	<i>Scenedesmus subspicatus</i> Chod. (рис. 3 (27–29))	–	–	–	+	п-б	1,0	–
141	<i>Dictyosphaerium</i> sp. (рис. 3 (47–49))	–	–	–	+	–	–	–
Класс Zygnematomphyceae (зигнемовые)								
142	<i>Cosmarium</i> sp. (рис. 3 (21))	–	–	–	+	–	–	–
143	<i>Zygnema</i> sp.	–	+	–	–	–	1,0	–

Примечание. Экологические характеристики: Место обитания: п — планктон, п-б — планктон-бентос, б — бентос, э — эпибионт. Галобность (отношение к солености): гб — галофоб, и — индифферент, мг — мезогалоб, гл — галофил, м — морской. Прочерк означает отсутствие данных.

водоросли, за ними в порядке убывания расположены зеленые, синезеленые, золотистые, динофитовые.

С учетом видов центральных диатомовых, определенных С.И. Генкалом при исследовании того же материала в электронном микроскопе (Генкал, Лепская, 2013), современный фитопланктон в эстуарии р. Камчатки формируют 105 видов микроводорослей.

По экологическим характеристикам (табл. 3; рис. 5) большинство таксонов — это планктонные (40% (мин. 37 – макс. 44%)) или планктонно-бентосные (34% (28–41%)) организмы. Следует уточнить, что планктонно-бентосные формы —

это обитатели перифитона (придонного слоя воды) или вторично планктонные, т. е. живущие как на субстрате, так и во взвешенном состоянии в толще воды, или часть жизненного цикла проводящие в водной толще, а часть — в слое донных отложений. Собственно бентосные таксоны составляют в среднем третью часть от общего количества идентифицированных видов (рис. 5 (1)).

Такое соотношение таксонов в отношении места обитания сохраняется на протяжении последних 100 лет, а именно: в начале XX века, в 1980-е годы и в 2009–2010 гг. флора микроводорослей эстуария р. Камчатки была представлена в основном планктонными и планктонно-бентосными

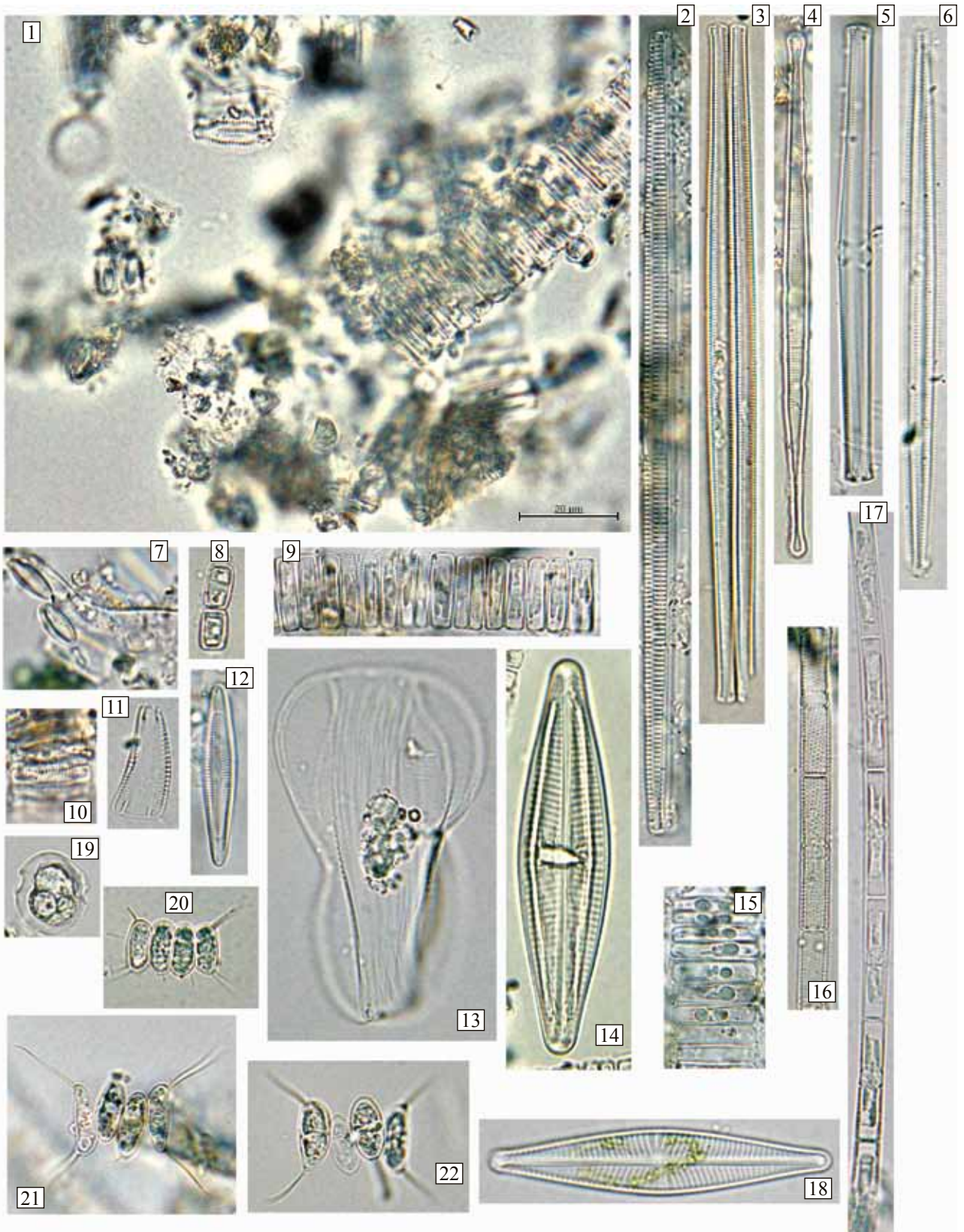


Рис. 2. Микроводоросли эстуария р. Камчатки в июне 2010 г.

Примечание. 1 — Облик фитопланктона оз. Нерпичье в июне 2010 г.; Bacillariophyceae (диатомовые): 2 — *Ulnaria amphirhynchus*; 3, 6 — *Tabularia fasciculata*; 4, 5 — *Ctenophora pulchella*; 7, 9 — *Pseudostaurosira subsalina*; 8 — *Staurosira elliptica*; 10, 15 — *Staurosira construens*; 11, 12 — *Rhoicosphenia abbreviata*; 13 — *Entomoneis* sp.; 14, 18 — *Navicula* (?) sp.; 16, 17 — *Aulacoseira granulata*; Dinophyta (динофитовые): 19 — *Peridinium* sp.; Chlorophyta (зеленые): 20 — *Scenedesmus* cf. *lefevrii*; 21 — *Scenedesmus opoliensis*; 22 — *Scenedesmus* cf. *opoliensis*. Масштабная линейка — единая для всех рисунков таблицы и равна 20 мкм

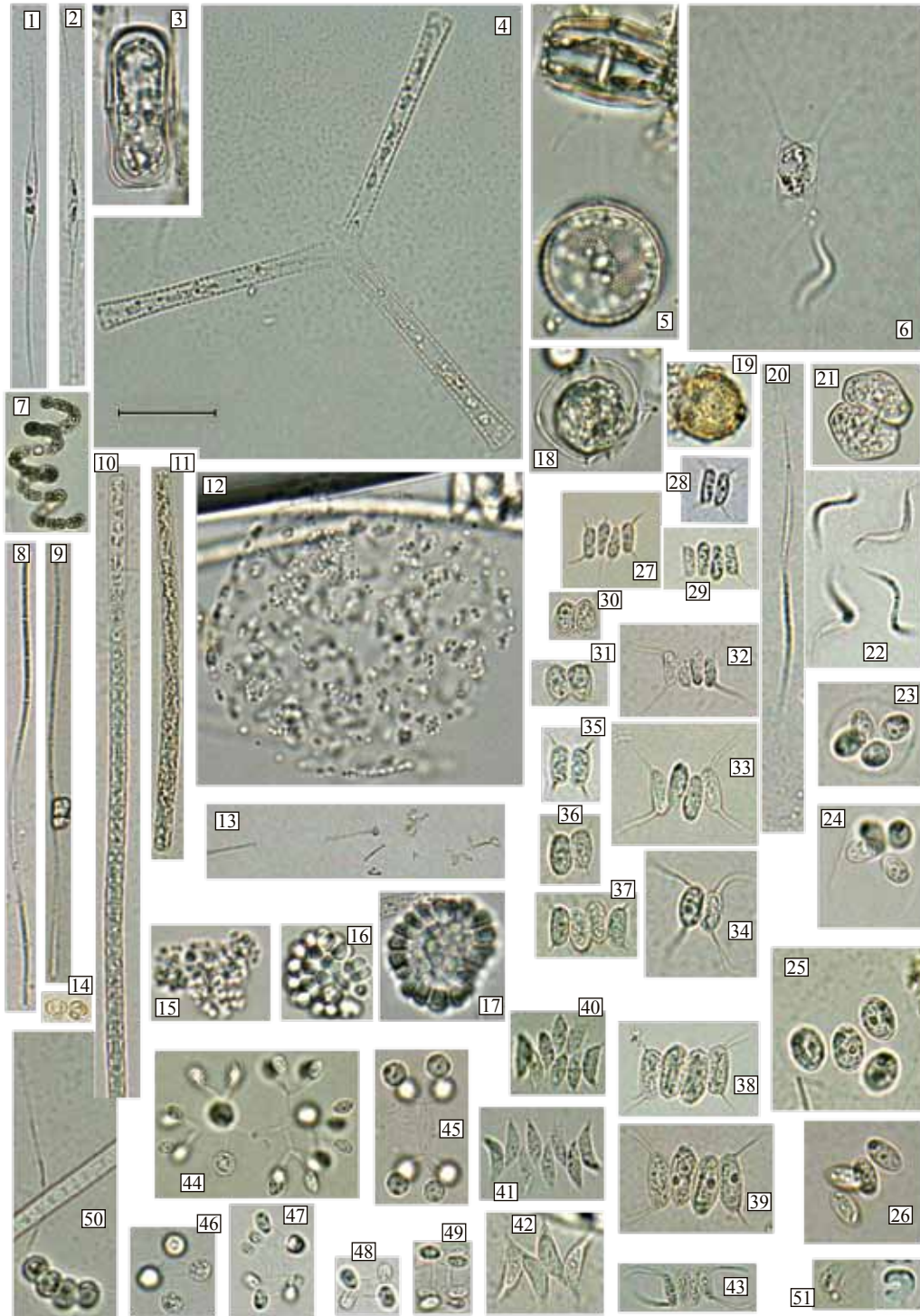


Рис. 3. Микроводоросли эстуария р. Камчатки в июле 2010 г. Обозначения: Bacillariophyceae (диатомовые): 1, 2 — *Cylindrotheca closterium*; 3 — *Melosira nummuloides*; 4 — *Diatoma tenue*; 5 — *Thalassiosira* sp.; 6 — *Chaetoceros* sp.; Cyanophyta (синезеленые): 7 — *Anabaena spiroides*; 8 — *Limnothrix planctonica*; 9 — *Limnothrix redekei*; 10, 11 — *Planktothrix agardhii*; 12 — *Coelosphaerium* sp.; 13 — Genus sp. (*Pseudoanabaena* ?); 14 — *Tetrarcus ilsteri*; 15 — *Chroococcus* sp.; 16 — *Gomphospharia* sp.; 17 — *Woronichinia compacta*; Dinophyta (динофитовые): 18 — *Peridinium* sp.; Chrysophyta (золотистые): 19 — *Trachelomonas* (?) sp.; Chlorophyta (зеленые): 20 — *Closteriopsis* sp.; 21 — *Cosmarium* sp.; 22 — *Monoraphidium contortum*; 23, 24, 25, 26 — *Oocystis lacustris*; 27, 28, 29 — *Scenedesmus subspicatus* Chod.; 30 — *Scenedesmus nanus*; 31 — *Scenedesmus microspina*; 32, 33, 34 — *Scenedesmus opoliensis*; 35, 36, 37 — *Scenedesmus* cf. *quadrispina*; 38, 39 — *Scenedesmus* cf. *lefevrii* Delf.; 40, 41, 42 — *Scenedesmus acutus*; 43 — *Scenedesmus* cf. *longispina*; 44 — *Dictyosphaerium anomalum*; 45 — *Dictyosphaerium pulchellum*; 46 — *Dictyosphaerium chlorelloides*; 47, 48, 49 — *Dictyosphaerium* (?) sp.; 50 — Genus sp.; 51 — *Raphidocelis subcapitata*. Масштабная линейка для (7) равна 50 мкм, для всех остальных иллюстраций рис. 3 — 20 мкм

организмами. И это несмотря на то, что в 1920-е годы произошло осолонение озер, сохраняющееся и по сей день (Горин, 2013).

В отношении галобности (солёности) (рис. 5 (2)) большинство таксонов относится к

группе пресноводных индифферентов — 72% (63–79%). Далее расположены галофилы — 15% (14–17%), и в одинаковых средних долях представлены галофобы — 4% (3–5%), мезогалофы — 4% (2–5%) и морские — 4% (0–10%). В начале XX

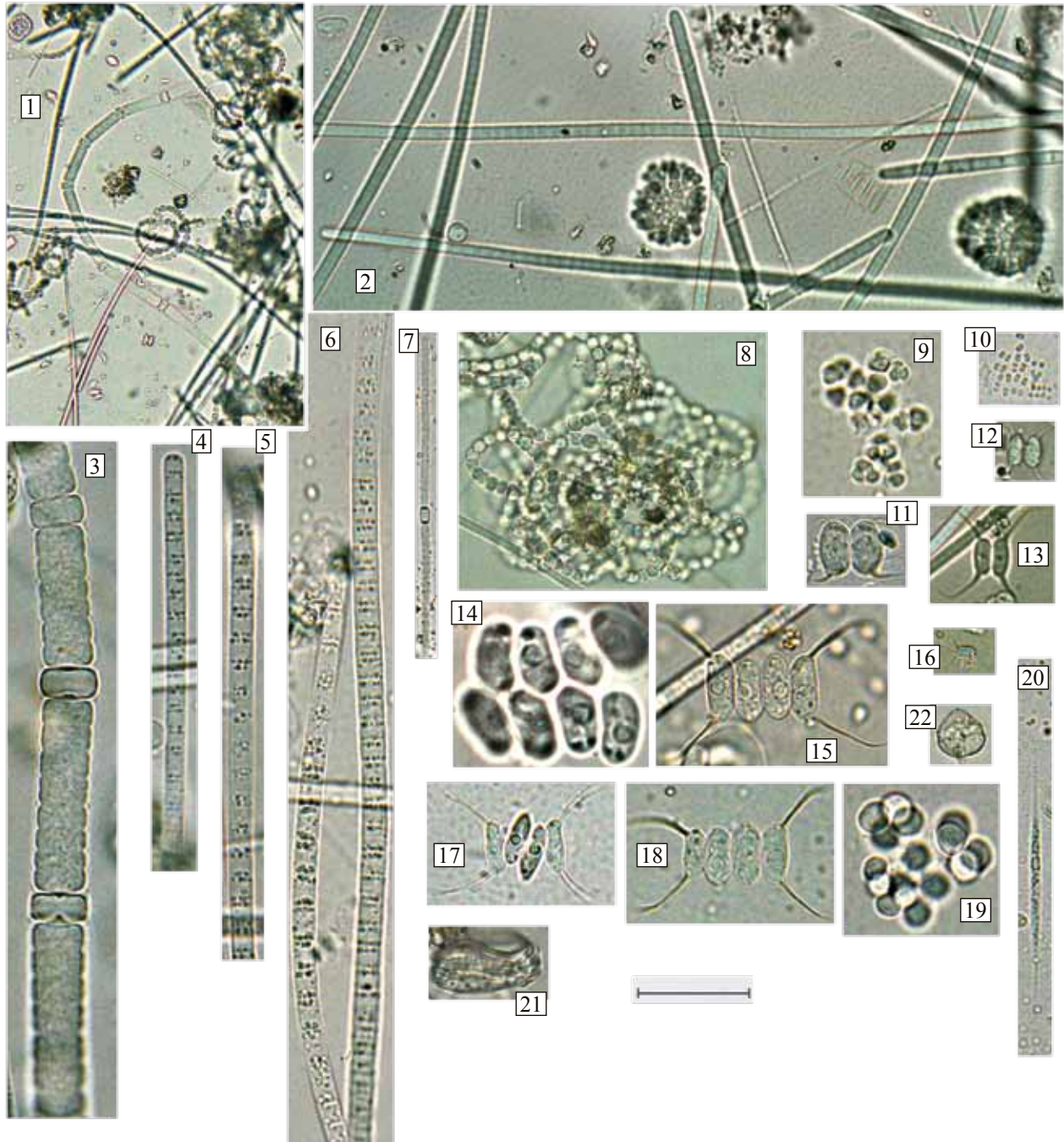


Рис. 4. Микроводоросли эстуария р. Камчатки в августе 2010 г.

Обозначения: 1, 2 — облик фитопланктона оз. Нерпичье в августе 2010 г.; Cyanophyta (синезеленые): 3 — *Nodularia spumigena*, 4, 5, 6 — *Phormidium granulatum*, 7 — *Aphanizomenon cf. flexuosum*, 8 — *Anabaena flos-aquae*, 9 — *Gloeocapsa* sp., 10 — *Merismopedia* sp.; Chlorophyta (зеленые): 11 — *Scenedesmus microspina*, 12 — *Scenedesmus cf. quadrispina*, 13 — *Scenedesmus cf. opoliensis*, 14 — *Scenedesmus arcuatus*, 15 — *Scenedesmus quadricauda*, 16 — *Lagerheimia subsalsa*, 18 — *Scenedesmus cf. lefevrii*, 19 — *Dictyosphaerium pulchellum*, 20 — *Closteriopsis acicularis*, 21 — *Thalassiosira lacustris*, 22 — *Diplopeltopsis minor* (?). Масштабная линейка для (1, 2) — 100 мкм; для (7, 8, 12, 13, 16, 21, 22) — 50 мкм; для (3, 4, 5, 6, 9, 10, 11, 14, 15, 17, 18, 19, 20) — 20 мкм

века и через 80 лет (1990-е гг.) флора микроводорослей в большей степени была представлена индифферентными, а в начале века — и галофобными таксонами. В 2009 и 2010 гг. доля индифферентных видов уменьшилась в среднем на 10%, а содержание мезогалобов и галофилов увеличилось на 3–7%, соответственно, как и представительство морских таксонов, которые в начале XX века составляли только 2%, а в 1980-х годах не были обнаружены вовсе.

В отношении сапробности (загрязнение органическим веществом) флора микроводорослей эстуария р. Камчатки сохраняет постоянный статус и относится к категории лимносაპრობных вод (Баринава, Медведева, 1996) на протяжении последних 100 лет. Незначительные изменения происходят лишь в соотношении видов-индикаторов, характеризующих класс чистоты воды. Тем не менее большая часть таксонов на протяжении всего столетнего периода относится к индикаторам чистоты воды II и III классов (рис. 5 (3)). Из пограничных индикаторов больше ксеносапробных (I класс чистоты воды) таксонов было найдено в начале XX века, а видов-индикаторов IV класса чистоты воды — как в начале XX века, так и в 1980-е годы.

По современным данным, синезеленые водоросли формируют численность фитопланктона

в озерной, лагунной и в меньшей степени речной частях эстуария р. Камчатки независимо от сезона и, вероятно, года (рис. 6).

Их численность, вероятно, увеличивается от начала к концу лета и в августе–сентябре может достигать 400 тыс. кл./мл. В озерной части эстуария синезеленые микроводоросли были развиты значительно лучше, чем в реке или лагунах. Их численность в озерах Култучное и Нерпичье в период максимального развития была в 4 раза больше, чем в Озерной протоке, р. Камчатке и Тахирских лагунах. При этом в оз. Нерпичьем фитопланктон был значительно обильнее в Дальней его части, а в Ближней части, граничащей с речной зоной, его численность была сравнима с таковой в речной зоне (рис. 6).

Биомасса фитопланктона в водоемах эстуария р. Камчатки (озерной и лагунной частях) была в основном сформирована синезелеными водорослями. В озерах эта таксономическая группа определяла фитопланктонную биомассу на протяжении всего периода наблюдений (рис. 7 (1, 2, 3)), тогда как в Тахирских лагунах такая ситуация сложилась только в конце лета 2010 г. (рис. 7 (4)).

В безледный период биомасса микроводорослей различалась в зависимости от сезона (весна, лето, осень) и, вероятно, года, а также имела особенности распределения по акваториям. Макси-

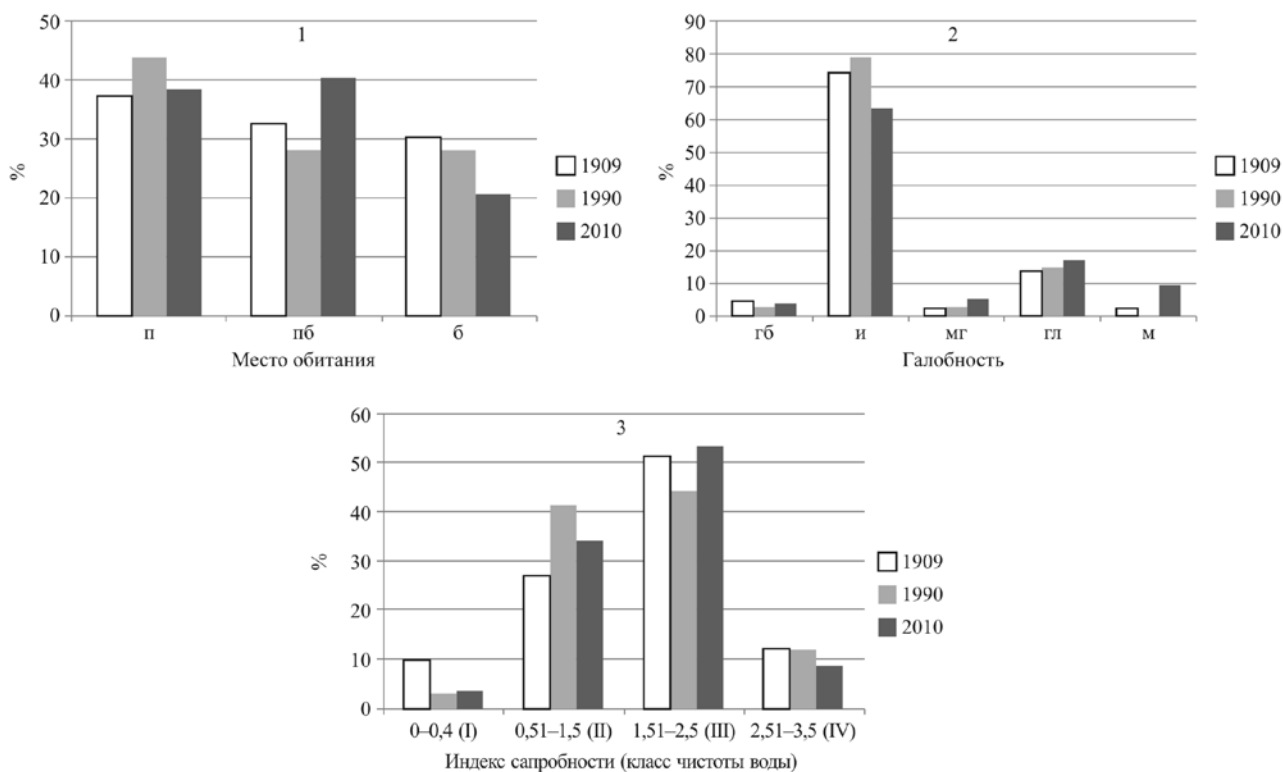


Рис. 5. Распределение таксонов микроводорослей эстуария р. Камчатки по экологическим предпочтениям в разные периоды. Условные обозначения те же, что и в табл. 3

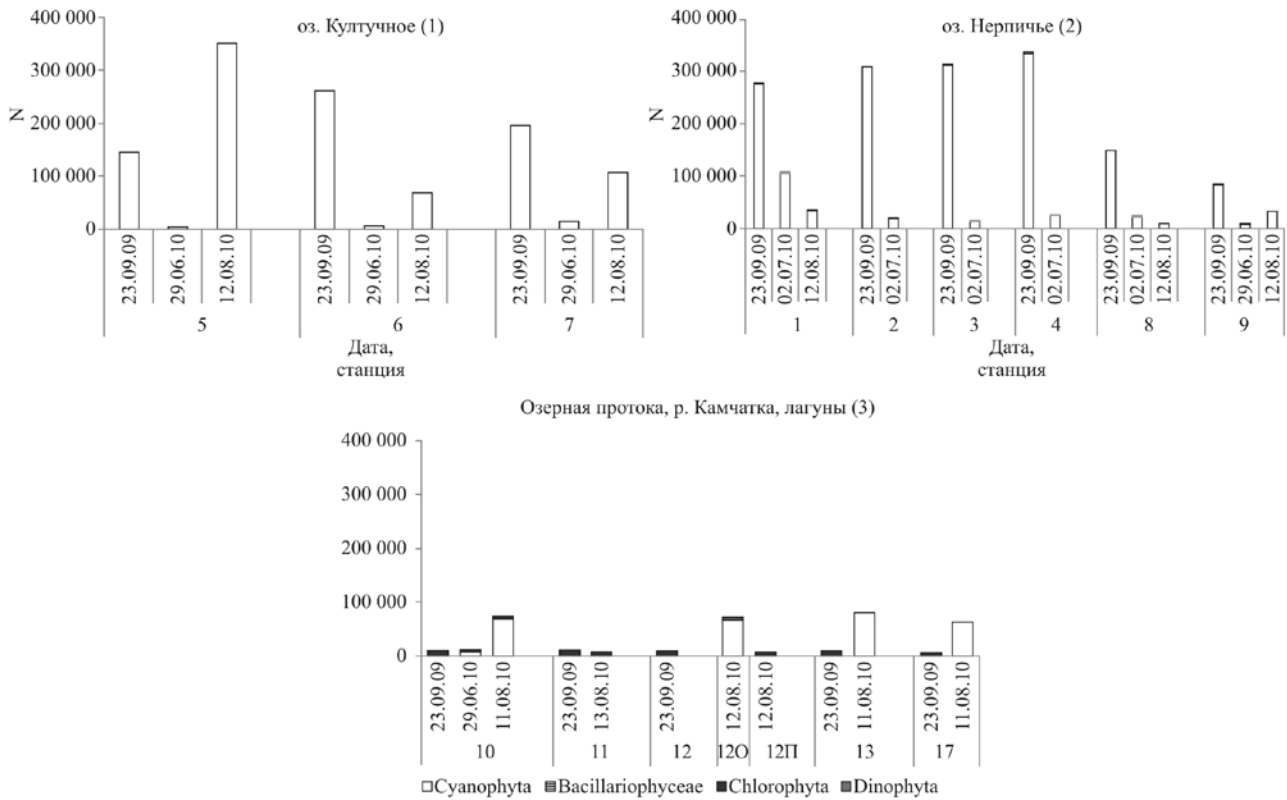


Рис. 6. Численность (N, кл./мл) различных групп фитопланктона в эстуарной части р. Камчатки. 1 — оз. Култучное; 2 — оз. Нерпичье; 3 — Озерная протока, р. Камчатка, Тахирские лагуны

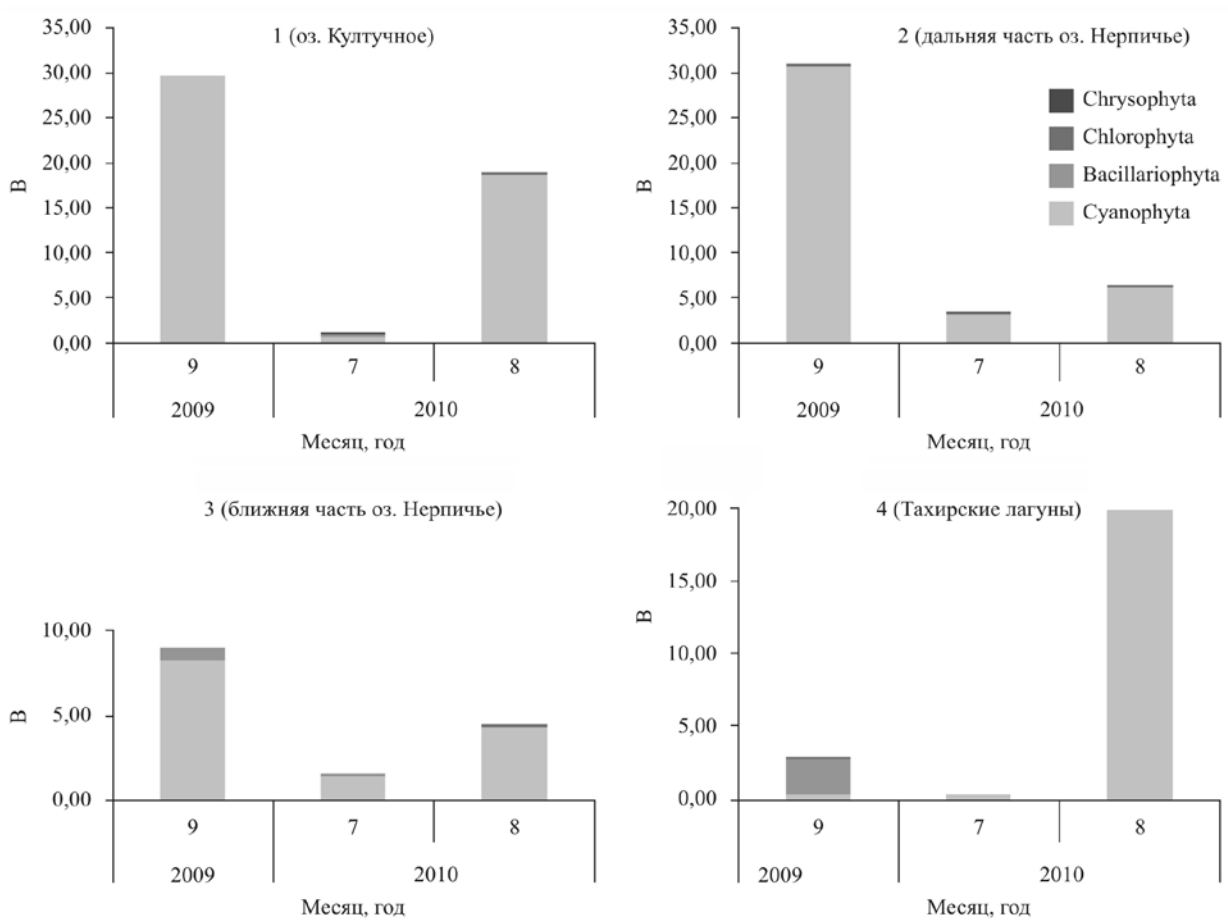


Рис. 7. Биомасса (B, мг/л) фитопланктона и ее составляющих в водоемах эстуария р. Камчатки

мум биомассы фитопланктона (30 мг/л) отмечен в сентябре 2009 г. в оз. Култучном и соединенной с ним протокой дальней части оз. Нерпичьего. Изменения биомассы фитопланктона в этих частях эстуария также носили сходный характер (рис. 7 (1, 2)). В Ближней части оз. Нерпичьего осенью 2009 г. биомасса фитопланктона (8 мг/л) была втрое меньше, чем в других озерных районах. Но летом 2010 г. ее значения были сопоставимы с таковыми в Дальней части оз. Нерпичьего, а изменения происходили в соответствии с колебаниями биомассы микроводорослей во всей озерной части эстуария (рис. 7 (3)). Тахирские лагуны отличались как по биомассе фитопланктона, так и по ее структуре, а также сезонной и, вероятно, межгодовой изменчивости (рис. 7 (4)). В сентябре 2009 г. и в июле 2010 г. биомасса фитопланктона этой части эстуария была невысока, 3 мг/л и 0,4 мг/л соответственно, и сложена в основном диатомовыми водорослями. В августе 2010 г. во время «цветения» синезеленых биомасса фитопланктона этого района значительно увеличилась и составила 20 мг/л.

Развитие биомассы фитопланктона в водотоках эстуария имело свои особенности (рис. 8). В 2009 г. ее формировали диатомовые водоросли, тогда как в 2010 г. — синезеленые. Величина биомассы микроводорослей в планктоне в 2009 г. была одинаковой в Озерной протоке, соединяющей оз. Нер-

пичье с р. Камчаткой, и в самой реке — 7 мг/л (рис. 8 (1, 2)). В 2010 г. такой связи не отмечено.

В устье р. Камчатки биомасса фитопланктона невысока, однако в августе 2010 г. в изменении ее величины прослеживалась зависимость от приливо-отливной деятельности моря (рис. 8 (3)). В отлив биомасса фитопланктона (11 мг/л) резко увеличивалась, вероятно, за счет мощного поступления из озерной части эстуария, а в прилив, напротив, снижалась в 10 раз. Отметим, что если во время отлива в планктоне обильно были представлены микроводоросли озерного доминантного комплекса из родов *Phormidium*, *Anabaena*, *Woronichinia*, *Scenedesmus*, то во время прилива в планктоне увеличилось представительство диатомовых, например *Aulacoseira*. Однако типично морских таксонов обнаружено не было.

Доминантный комплекс фитопланктона эстуария р. Камчатки формируют в значительной степени синезеленые водоросли семейства осцилляториевых (Oscillatoriaceae): *Planktothrix agardhii*, *Limnothrix planctonica*, *Phormidium granulatum*, а также семейства анабеновых (Anabaenaceae) — *Anabaena*-complex, семейства афанизоменоновых (Aphanizomenonaceae) — *Aphanizomenon* cf. *flexuosum*, семейства нодуляриевых (Nodulariaceae) — *Nodularia sputigena*, и таксоны порядка хроококковых (Chroococcales) *Woronichinia* cf. *compacta* и *Microcystis*-complex (рис. 9).

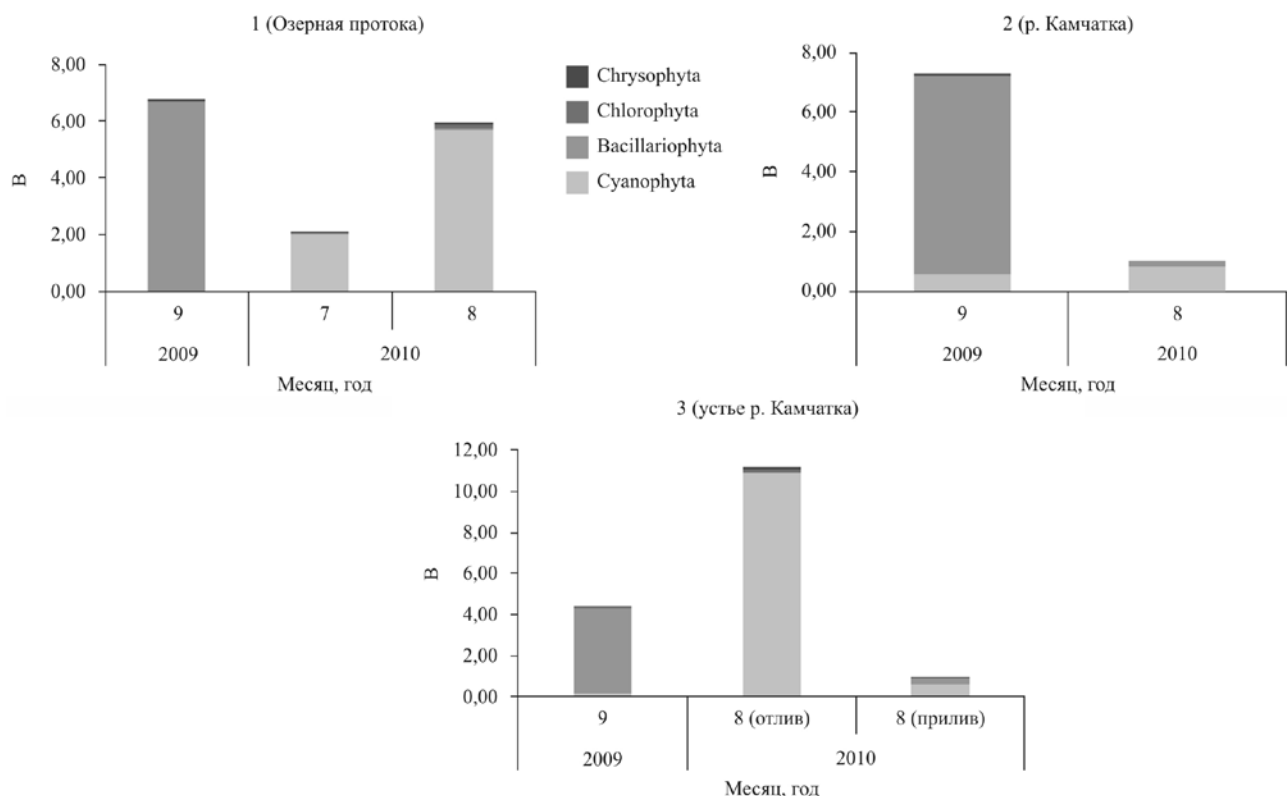


Рис. 8. Биомасса (B, мг/л) фитопланктона и ее составляющих в водотоках эстуария р. Камчатки

Видовая структура фитопланктона эстуария р. Камчатки изменялась по сезонам и, вероятно, по годам, а также имела особенности распределения по акваториям водоемов. Осенью 2009 г. и в начале июля 2010 г. в планктоне озер и лагун доминировал *Planktothrix*, составляя 60–100%. Субдоминантным таксоном в озерной части были представители *Anabaena* (рис. 9 (1, 2, 3)), а в лагунной — *Limnothrix* (рис. 9 (4)). В августе 2010 г. видовое богатство синезеленых увеличилось, что привело к усложнению видовой структуры доминантного комплекса фитопланктона, которая к тому же приобрела специфический облик для каждого из водоемов. В оз. Култучном, например, приблизительно поровну были развиты *Planktothrix* и *Woronichinia* (рис. 9 (1)). В оз. Нерпичьем, как в дальней, так и в ближней его частях, доминантный комплекс характеризовался наибольшим видовым разнообразием (рис. 9 (2, 3)). Доминировали *Phormidium*, *Woronochinia* и *Anabaena*, субдоминантами первого порядка были *Limnothrix* и *Microcystis*, а второго — *Nodularia*. В это же время в лагунах доминировали представители рода *Anabaena* — чуть более 50%. Субдоминантными так-

сонами были *Aphanizomenon* и *Limnothrix* (по 23%) (рис. 9 (4)).

Несмотря на мелководность озерной части эстуария, в вертикальном распределении фитопланктона, в котором доминируют осцилляториевые водоросли, присутствует выраженная стратификация (рис. 10). Например, в оз. Култучном с наибольшими глубинами более 10 м максимум фитопланктона формируется в верхнем пятиметровом слое, где в течение лета 2010 г. численность синезеленых достигала 200–600 тыс. кл./мл. В придонном слое численность фитопланктона была в 1000 раз меньше.

Водоемы эстуария р. Камчатки пока единственные из изученных на Камчатке, где доминируют синезеленые осцилляториевые водоросли. В последней сводке по водорослям-индикаторам сапробности (Баринова, Медведева, 1996) *Planktothrix agardhii* указан для Дальнего Востока только для р. Камчатки и озер зоны затопления Колымской ГЭС.

В европейской части Евразийского материка еще в начале XX века во многих водоемах наблюдали массовое развитие осцилляториевых таксо-

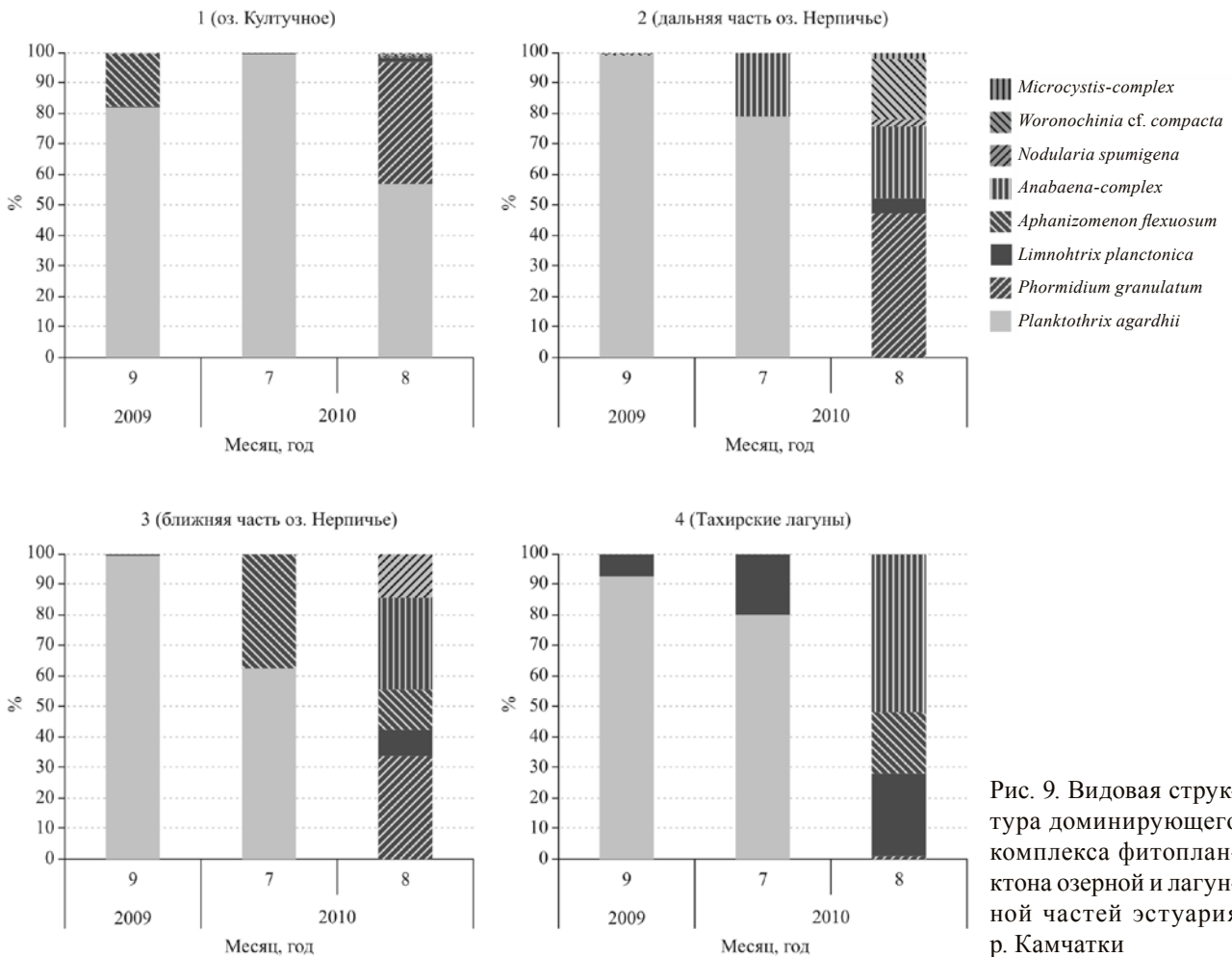


Рис. 9. Видовая структура доминирующего комплекса фитопланктона озерной и лагунной частей эстуария р. Камчатки

нов и, в частности, *Planktothrix*, тогда как в Северной Америке этот вид был отмечен только в р. Миссури возле г. Сент-Луиса (Еленкин, 1914). Это явление объясняли усилением антропогенного эвтрофирования. В начале 2000-х гг. было показано, что осцилляториевые водоросли неуклонно распространяются в водоемах средней полосы России (Ляшенко, 2001). В настоящее время, по устному сообщению Л.Г. Корневой (доклад на объединенном пленуме Научного совета ОБН РАН по гидробиологии и ихтиологии и Гидробиологического общества при РАН «Проблемы эвтрофирования водоемов и трофологии гидробионтов» 13 марта 2013 г.), в волжских водохранилищах ежегодно происходит «цветение» воды осцилляториевыми водорослями, что в значительной степени ухудшает ее качество.

Появление и массовое развитие безгетероцистных осцилляториевых водорослей указывает, в первую очередь, на переход водоема в эвтрофное состояние (Трифонов, 1990), которое, вероятно, характеризуется высоким (не менее 2,5) индексом сапробности, высокой концентрацией минерального азота (не менее 2–2,5 мгN/л) с преобладанием восстановленной формы и низкой, как правило менее 1 м, прозрачностью воды. Такие водоемы были выделены в группу планктотрихетовых (S1) озер (Reynolds et al., 2002).

Озера с фитопланктоном планктотрихетового типа имеют ряд общих признаков (табл. 4). Это, прежде всего, небольшая средняя глубина, постоянное перемешивание воды в безледный период, значительная концентрация в воде общего фосфора (TP) и общего азота (TN), а также высокая величина соотношения азота к фосфору (TN/TP).

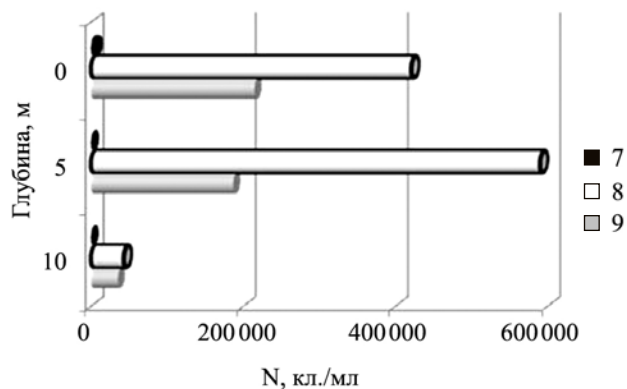


Рис. 10. Вертикальное распределение фитопланктона в оз. Култучном

Таблица 4. Абиотические особенности европейских озер планктотрихетового типа

Средняя глубина, м	Режим перемешивания	TP, мг/л	TN, мг/л	TN/TP
1,4–9,5	Полимиктические — 70%, димиктические — 30%	0,05–0,21	1,0–3,0	15–71

Кроме того, вода в этих озерах имеет высокую минерализацию (Сиделев, 2010).

В эстуарии р. Камчатки обильное развитие *Planktothrix* было отмечено в июле 1909 г. в зал. Тахирка (в настоящее время Тахирские лагуны). В озерной части эстуария в то же время доминировали *Anabaena* и *Aphanizomenon* (синезеленые), *Dinobrion* и *Synura* (золотистые), а в речной части помимо тех же таксонов синезеленых обильно присутствовала диатомея *Diatoma elongatum* (звездчатая форма) (Еленкин, 1914, стр. 38). В 1980-х годах *Planktothrix* был найден в р. Камчатке (Баринава, Медведева, 1996). По устному сообщению Л.А. Медведевой, пробы были собраны в районе Усть-Камчатска, т. е. ниже устья Озерной протоки. С большой долей вероятности можно предположить, что *Planktothrix* попал в р. Камчатку из оз. Нерпичье. В 2009 и 2010 гг. *Planktothrix* стал ведущим таксоном в фитопланктоне эстуария, определяя его численность и биомассу в безледный период.

Трудно определить точно, когда произошла столь кардинальная трансформация видовой структуры фитопланктона. Для этого условия обитания фитопланктона в озерах должны были резко измениться. Действительно, в 1920-е годы произошло осолонение озер эстуария (Горин, 2013). В настоящее время Култучное и Нерпичье озера — это мелкие, высокоминерализованные, полимиктические, достаточно прогреваемые (летняя температура поверхности воды 11–19 °С) водоемы с высоким содержанием минерального азота (2 мгN/л) в восстановленной форме (NH_4), отношением минеральных форм азота и фосфора от 10 до 18. Такое сочетание условий явилось более чем подходящим для массового развития безгетероцистных осцилляториевых водорослей. В том же состоянии озера пребывали, вероятно, и в 1980-х годах, так как в это время *Planktothrix* присутствовал в речном стоке, из чего можно предположить его обильное развитие в озерной части эстуария. Таким образом, за последние 100 лет произошла трансформация видовой структуры фитопланктона, в котором стали преобладать осцилляториевые водоросли.

Известно, что осцилляториевые водоросли обильно развиваются у поверхности воды, затеняя нижележащие слои (Sheffer et al., 1997). В озере Култучном обильное развитие фитопланктона с

доминированием *Planktothrix* также происходило в верхнем пятиметровом горизонте. Плотные скопления нитчатых синезеленых у поверхности не дают развиваться фитопланктону в нижележащих горизонтах, где возникает дефицит кислорода, что приводит к накоплению органического вещества и усилению эвтрофирования водоемов. Затенение придонного слоя также тормозит развитие микрофитобентоса в эстуарных озерах. Из-за низкой концентрации кислорода на дне озер скапливается сероводород (устн. сообщ. Горина). Сочетание этих условий препятствует развитию донной фауны в озерах Култучное и Нерпичье (Горин, Чебанова, 2011). Кроме ухудшения физических и химических характеристик воды, *Planktothrix* может синтезировать гепатотоксины, которые представляют опасность для человека (Водоросли..., 2006).

В исторический период соленость озер эстуария несколько раз менялась. Водоемы опреснялись или вновь становились солоноватыми (Горин, 2013). В зависимости от минерализации в озерах и степени прогрева воды в них, вероятно, менялась и видовая структура фитопланктона. На современном этапе в озерах будет сохраняться высокая минерализация за счет антропогенного воздействия на устьевую часть эстуария (углубление устья реки, постоянное срытие граничной с морем косы), поэтому в условиях наблюдающегося потепления и усиления летнего прогрева воды в планктоне озер и лагун в безледный период будет длительно и обильно развиваться осцилляторный комплекс.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В летне-осеннем планктоне эстуария р. Камчатки в 2009–2010 гг. при исследовании в световом и сканирующем электронном микроскопе обнаружено 105 видов микроводорослей, а с учетом литературных данных фитопланктон эстуария насчитывает 143 вида.

Среди микроводорослей преобладают планктонные и планктонно-бентосные виды, индифферентные по отношению к солености воды и указывающие на принадлежность водоемов и водотоков к лимносaproбному типу.

В планктоне численно и по биомассе доминируют синезеленые микроводоросли осцилляторного типа *Planktothrix agardhii* и *Limnothrix planctonica*.

С момента осолонения озер Култучное и Нерпичье в 1920-е годы произошел естественный переход водоемов эстуария р. Камчатки в группу планктотрихетовых, для которых характерны вы-

сокое содержание минерального азота (2 мгN/л) в восстановленной форме (NH_4), отношение минеральных форм азота и фосфора от 10 до 18, затененность придонного слоя и накопление в нем сероводорода.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор благодарит С.И. Сиделева и С.Л. Горина за ценные советы и помощь в написании статьи, С.С. Баринову и Л.А. Медведеву — за уточнение времени и места сборов собственных материалов, и всех коллег, в разное время принимавших участие в сборе фитопланктонных проб.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Баринова С.С., Медведева Л.А.* 1996. Атлас водорослей-индикаторов сапробности. Владивосток: Дальнаука. 364 с.
- Баринова С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В.* 2006. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. Тель-Авив: Русское издательство. 498 с.
- Белякова Г.А., Дьяков Ю.Т., Тарасов К.Л.* 2006а. Водоросли и грибы... Т. 1. М.: Издательский центр «Академия». 320 с.
- Белякова Г.А., Дьяков Ю.Т., Тарасов К.Л.* 2006б. Водоросли и грибы... Т. 2. М.: Издательский центр «Академия». 320 с.
- Водоросли, вызывающие «цветение» водоемов северо-запада России. 2006. М.: Товарищество научных изданий КМК. 367 с.
- Генкал С.И., Лепская Е.В.* 2013. Материалы к флоре центральных диатомовых водорослей оз. Нерпичьего (эстуарий р. Камчатки) // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана: Сб. науч. тр. Камчат. НИИ рыб. хоз-ва и океанографии. Вып. 31. С. 62–73.
- Голлербах М.М., Косинская Е.К., Полянский В.И.* 1953. Синезеленые водоросли. М.: Советская наука. 652 с.
- Горин С.Л.* 2013. Современные морфологическое строение и гидрологический режим эстуария реки Камчатки // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана: Сб. науч. тр. Камчат. НИИ рыб. хоз-ва и океанографии. Вып. 31. С. 6–26.
- Горин С.Л., Чебанова В.В.* 2011. Трансформация гидрологического режима и бентофауны озер Нерпичье и Култучное (устьевая область реки Камчатки) в процессе их осолонения // Чтения памяти В.Я. Леванидова. Вып. 5. С. 119–128.
- Еленкин А.А.* 1914. Камчатская экспедиция Федора Павловича Рябушинского; Ботанический отдел.

Выпуск 2. Споровые растения Камчатки: 1) Водоросли, 2) Грибы. 612 с.

Забелина М.М., Киселев И.А., Прошкина-Лавренко А.И., Шешукова В.С. 1951. Диатомовые водоросли. М.: Советская наука. 649 с.

Лепская Е.В., Горин С.Л., Маркевич Г.Н. 2010а. О фитопланктоне и первичной продукции озера Нерпичьего и некоторых лагун бывшего залива Тахирка (Восточная Камчатка) // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей: Матер. XI Междунар. конф., посвященной 100-летию со дня рождения выдающихся российских ихтиологов А.П. Андрияшева и А.Я. Таранца. Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс. С. 158–161.

Лепская Е.В., Свириденко В.Д., Горин С.Л., Маркевич Г.Н. 2010б. Предварительные данные о биогеоном режиме эстуария р. Камчатки (озера Нерпичье, Култучное, протока Озерная, заливы-лагуны — Тахирские озера, на месте бывшего залива Тахирка) // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей: Матер. XI Междунар. конф., посвященной 100-летию со дня рождения выдающихся российских ихтиологов А.П. Андрияшева и А.Я. Таранца. Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс. С. 154–157.

Ляшенко О.А. 2001. Развитие *Planktothrix agardhii* (Cyanophyta) в водоемах бассейна Верхней Волги // Ботанический журнал. № 7. С. 61–65.

Номенклатура микроводорослей: <http://www.algaebase.org>.

Сиделев С.И. 2010. Сукцессия фитопланктона высокоэвтрофного озера Неро: Автореф. ... канд. биол. наук. 27 с.

Сорокин Ю.И., Павельева Е.Б. 1972. К количественной характеристике экосистемы пелагиали озера Дальнего на Камчатке // Тр. ИБВВ АН СССР. Вып. 23 (26). С. 24–28.

Трифонова И.С. 1990. Экология и сукцессия озерного фитопланктона. Л.: Наука. 184 с.

Царенко П.М. 1990. Краткий определитель хлорококковых водорослей Украинской ССР. Киев: Наукова думка. 208 с.

Komárek J., Anagnostidis K. 2005. Cyanoprokaryota (Oscillatoriales) / Süßwasserflora von Mitteleuropa 2. Teil. 2 Part. Munchen: Spektrum Akademischer Verlag. 759 p.

Komárek J., Fott B. 1983. Chlorophyceae (Chlorococcales) / Das Phytoplankton des Süßwassers. Systematik und Biologie. 7. Teil, 1. Hälfte. Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller). 1044 p.

Krammer K., Lange-Bertalot H. 1991. Bacillariophyceae, 3. Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae // Ettl H., Gerloff J., Heynig H., Mollenhauer D. (eds): Süßwasserflora von Mitteleuropa. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Jena. 2/3. 576 p.

Reynolds C.S., Huszar V., Kruk C., Naselli-Flores L., Melo S. 2002. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton // J. Plankton Research. V. 24. № 5. P. 417–428.

Round F.E., Crawford R.M., Mann D.G. 1990. The Diatoms. Cambridge University Press. 747 p.

Scheffer M., Rinaldi S., Gragnani A., Mur L.R., Van Nes E.H. 1997. On the dominance of filamentous in shallow turbid lakes // Ecology. 78 (1). P. 272–282.