

581.526.325

ОСОБЕННОСТИ ФИТО- И МИКРОПЛАНКТОННОГО СООБЩЕСТВА ОЗЕРА КУРИЛЬСКОЕ ВО ВТОРОЙ ПОЛОВИНЕ 90-Х ГОДОВ XX ВЕКА

Е. В. Лепская



Приводится уточненная таксономическая характеристика планктонной флоры центральной пелагиали неркового нерестово-выростного озера Курильское (Южная Камчатка). Рассмотрены особенности функционирования пелагического фитопланктонного комплекса во второй половине 90-х годов в условиях снизившейся температуры воды и уменьшения притока общего фосфора. Анализируется межгодовая динамика биомассы пелагического микропланктона и ее связи с различными биотическими параметрами среды.

С начала исследований экосистемы оз. Курильское в 30-е годы многими авторами в разное время показано, что в озерном планктонном альгоценозе доминирующее положение занимают диатомовые (Воронихин, 1937; Павельева, Ларионов, 1979; Kurohagi, 1962). Согласно систематическим представлениям того времени, к массовым видам отнесли *Melosira italica* (Ehr.) Kütz., *Stephanodiscus astraea* (Ehr.) Grun., *Cyclotella comta* (Ehr.) Kütz., *Synedra ulna* & *ulna* var. *danica* (Kütz.) Grun.

Количественная характеристика доминирующего вида фитопланктонного комплекса — мелизиды, описание ее сезонной и многолетней динамики в зависимости от абиотических факторов были даны И.А. Носовой (1976, 1980).

Последующими работами проведено уточнение таксономического состава фитопланктонного комплекса, обнаружены и описаны не учитывавшиеся ранее мелкоклеточные циклотелла и стефанодискус, которые могут давать значительные флуктуации численности и биомассы. Дана количественная характеристика сезонной и многолетней динамики доминирующих таксонов фитопланктонного комплекса и рассмотрены ее вероятные причины (Лепская, Маслов, 1998). Также получены данные по морфологии и биомассе бактериопланктона, его сезонной и межгодовой динамике.

В настоящей работе анализируется состояние планктонных фито- и бактериокомплексов оз. Курильское во второй половине 90-х годов с целью выявления особенностей их функционирования в условиях пониженных температур и изменившегося внешнего притока общего фосфора от нерестующих производителей нерки.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Озеро Курильское расположено на юге Камчатского полуострова и является нерестово-нагульным водоемом крупнейшего в Азии стада нерки (*Oncorhynchus nerka* Walbaum). Это крупный водоем площадью 77,05 км², средней глубиной

195 м, максимальной 316 м (Николаев, Николаева, 1991) и периодом полного водообмена 17,4 года (Миловская, Уколова, 1993).

Исследования различных характеристик фитопланктонного сообщества оз. Курильское в 80-х годах, показали, что сукцессии доминирующих и субдоминантных видов фитопланктона, динамика биомассы и ход продукционно-деструкционных процессов в разных участках озерной пелагиали в основном одинаковы. В связи с этим характеристика фитопланктонного сообщества по данным, полученным посредством анализа проб, взятых на станции в центре озера, адекватно отражает общий ход его развития. В мае — октябре пробы отбирали регулярно дважды в месяц, в осенне-зимний период и ранней весной — эпизодически, в зависимости от погодных условий. На стандартной станции в центральной части оз. Курильское (глубина около 300 м) их брали с горизонтов 0, 2, 5, 7, 10, 15, 20, 40, 70, 100, 150, 200 м батометрами Нансена и Руттнера. В водных образцах определяли: видовой состав фитопланктона, морфологические группы бактериопланктона, численность и биомассу того и другого. Количество фитопланктонных компонентов просчитывали на мембранных фильтрах СЫНПОР и MILLIPORE (диаметр пор 0,8 мм), окрашенных карболовым раствором эритрозина (Сорокин, Павельева, 1972), количество углерода водорослей рассчитывали с учетом объема клетки и коэффициента пересчета на органический углерод равный 0,1 (Vinberg, 1971). Бактерии учитывались на мембранных фильтрах СЫНПОР № 8, окрашенных карболовым раствором эритрозина (Разумов, 1932). При расчете биомассы бактерий исходили из средних размеров клеток на сухих фильтрах с введением поправки 0,2 на уменьшение размеров при высыхании, принимая, что содержание углерода в сырой биомассе равно 10% (Троицкий, Сорокин, 1967).

Количество взвешенного органического вещества оценивали по наличию или отсутствию бесструктурной взвеси, осаждавшейся на мембранных фильтрах при фильтровании фитопланк-

тона и проявлявшейся при окраске карболовым раствором эритрозина.

Всего было обработано около трех тысяч фитопланктонных и столько же бактериопланктонных проб.

Исследование ультраструктуры панцирей диатомовых проводили в сканирующем электронном микроскопе JEOL JSM-25S.

Температуру воды измеряли термобатигграфом, прозрачность — диском Секки.

Корреляционный анализ проводили в программе "STATISTICA".

При систематизации планктонного фитосообщества оз. Курильское использовали деление водорослей по отделам, принятое отечественными альгологами в серии «Определитель пресноводных водорослей СССР». Таксономическая характеристика диатомовых (Bacillariophyta) проведена согласно системе Ф. Роунда и др. (Round et al., 1996). В работе также были использованы «Определитель пресноводных водорослей СССР» (Забелина и др. 1951; Голлербах, Косинская, Полянский, 1953; Матвиенко, 1954); «Диатомовые водоросли СССР» (Глезер и др. 1992); *Schwasserflora*: Band 2/1, 2/3 (Krammer, Lange-Bertalott, 1991, 1997); Атлас микрофотографий пресноводных водорослей Великобритании (Canter-Lund, Lund, 1998); Определитель пресноводных водорослей США (Dillard, 1999). Эколого-географическая характеристика отдельных видов частично взята из сводки «Экология фитопланктона Рыбинского водохранилища» (1999), а также из вышеперечисленных определителей.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Таксономическая характеристика фитопланктона. В составе планктонной альгофлоры глубоководной части оз. Курильское определено 58 видовых и внутривидовых таксонов. Соотношение различных систематических категорий водорослей представлено в таблице 1. Наибольшим видовым богатством отличается отдел диатомовых (Bacillariophyta), вклад водорослей остальных отделов в формирование ценотической структуры фитопланктона незначителен.

С 1996 по 2000 гг. в планктоне обнаружены следующие представители диатомовых: *Amphora ovalis* var. *gracilis* и *A. ovalis* var. *pediculus*, *A. perpusilla*, *Cymbella ventricosa*, *Denticula elegans*, *Diploneis* cf. *elliptica*, *Gomphonema* cf. *olivaceum*, *Navicula* cf. *fossalis*, *Nitzschia amphibia*, *N. frustulum*, *N. gracilis*, *N. cf. holsatica*, *N. lanceolata* & *N. lanceolata* var. *minor*, *N. palea*, *N. sigmoidea*, *Synedra* cf. *amphycephala*. Эти таксоны отмечены в фитопланктоне единично и, как правило, попадают в него случайно из бентоса при ветровом перемешивании. Большинство бентос-

ных диатомей встречается в виде пустых панцирей, створок и их обломков. В августе нередко ауксоспоры стефанодискуса и аулякозеиры.

Из золотистых (*Chrysophyta*) отмечали *Mallomonas* sp., который в глубоководной части озера попадался крайне редко, и неидентифицированные цисты.

Использование методов сканирующей электронной микроскопии позволило уточнить видовую принадлежность доминирующих планктонных диатомовых и определить субдоминантные мелкоклеточные диатомеи. По совокупности морфологических признаков *Aulacoseira italica* var. *subarctica* (O. Müll.) Dav. (*Melosira italica* subsp. *subarctica* O. Müll.) следует отнести к *Aulacoseira subarctica* (O. Müll.) Haworth (Haworth, 1988) (рис. 1, прим. 1, 2), а *Cyclotella kisselevii* O. Korotk к виду *Cyclotella tripartita* Håkansson (Håkansson, 1990) (рис. 1, прим. 3). Мелкоклеточная циклотелла отнесена к *Cyclotella pseudostelligera* Hust. (рис. 1, прим. 4). *Stephanodiscus astraea* (Ehr.) Grun. следует называть *Stephanodiscus alpinus* Hust. (рис. 1, прим. 6–9) (Lepskaya, 2002). Мелкоклеточный стефанодискус определен предварительно как *Stephanodiscus* sp. (рис. 1, прим. 5) (Lepskaya, 2002).

Количественное распределение таксонов с учетом их эколого-географической характеристики приведено в таблице 2. Из приведенной таблицы 2 следует, что планктонное альгосообщество центральной части пелагиали оз. Курильское представлено планктонными космополитными холодноводными типично пресноводными алкалифильными видами. Среди видов индикаторов органического загрязнения преобладают олиго-в-мезосапробы. Такой состав фитопланктонного сообщества соответствует термической и гидрохимической характеристикам оз. Курильское, которое является холодноводным, слабо минерализованным водоемом со слабощелочной реакцией воды и низкими показателями перманганатной окисляемости (Степанов, 1986).

Во второй половине 90-х годов, как и в предыдущие пятнадцать лет, по видовому богатству и абсолютной численности доминировали диатомовые — пятьдесят видовых и внутривидовых таксонов (табл. 3). Вклад представителей остальных отделов в формирование ценотической структуры фитопланктона незначителен (табл. 3).

В состав облигатной планктонной альгофлоры входят диатомеи, условно называемые «кормовыми», т. е. представляющие непосредственную пищевую ценность для зоопланктона (Моных и др., 1972; Лепская, 1998). К ним относятся все перечисленные в таблице 1 виды родов *Aulacoseira*, *Cyclotella* и *Stephanodiscus*. Таким образом, «кормовое» ядро фитопланктона фор-

мируют только доминантные таксоны с оценкой частоты встречаемости 4–6. Это обстоятельство позволяет отождествлять фитопланктонную биомассу с биомассой «кормового» фитопланктона, а для оценки видовой структуры сообщества и мониторинга его состояния использовать несколько наиболее массовых, структурообразующих видов (Саматов, 2000).

Морфологическая характеристика бактериопланктона. Бактериопланктон в 1996–2000 гг. был морфологически однообразен и представлен мелкими кокками и палочками приблизительно в равном соотношении. Соотношение морфологических групп изменялось в зависимости от сезона. В осенний период преобладали палочкообразные формы. Интересные морфы микропланктона встреча-

лись в марте, июне, августе и конце сентября. Это длинные тончайшие палочки, внешне напоминающие серобактерии, мелкие жгутиковые, как одиночные, так и образующие микроколонии из трех клеток. Крупные палочки и среднеразмерные палочки с одной – двумя терминальными спорами встречались редко.

Вертикальное распределение фитопланктона и бактериопланктона в центральной части пелагиали оз. Курильское. Фитопланктон. Вертикальное распределение планктонной альгофлоры зависит от комплекса факторов, среди которых прежде всего необходимо отметить освещенность, температуру, интенсивность ветрового перемешивания, гидрохимические характеристики. Соотношением интенсивности воздействия

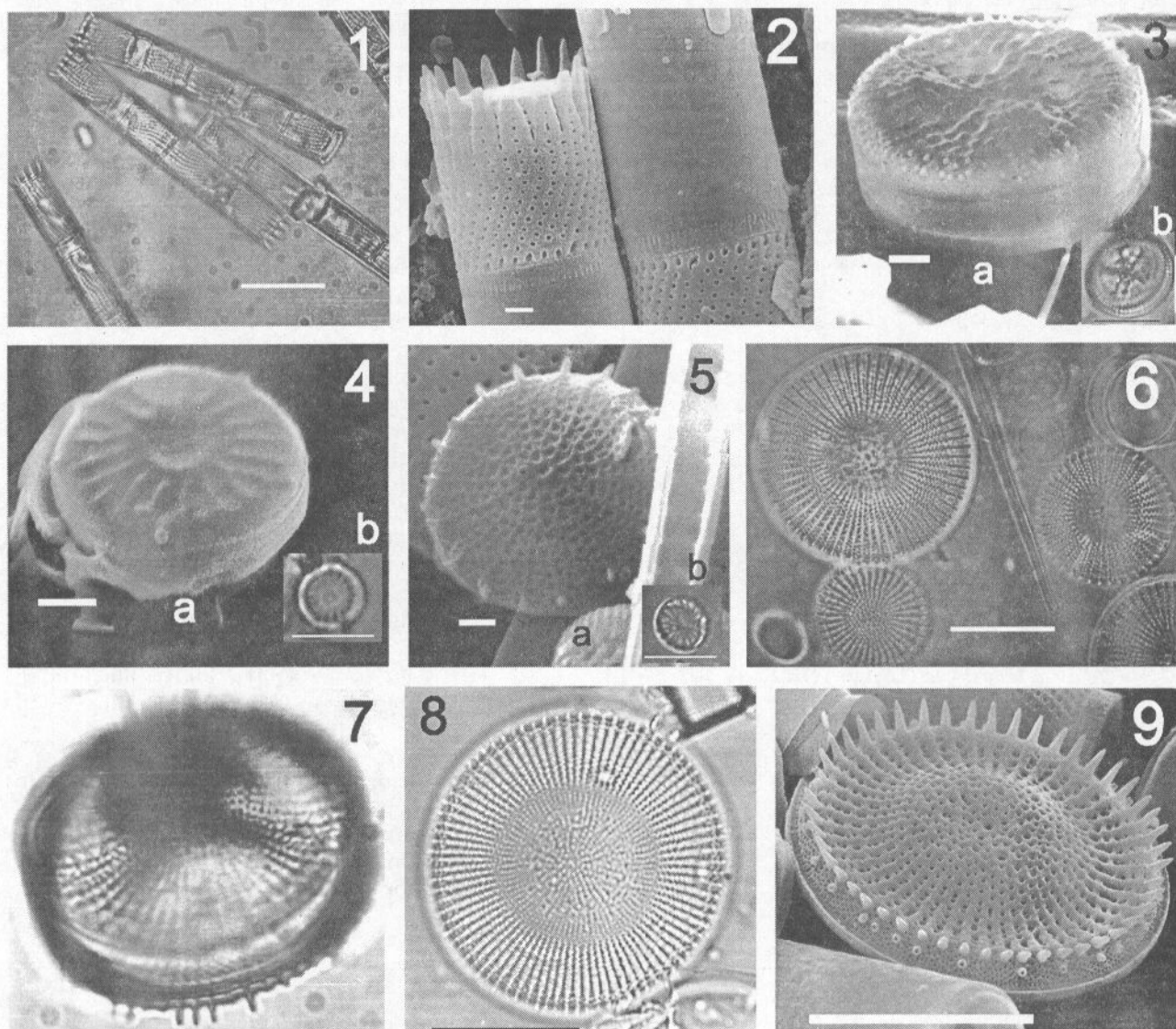


Рис. 1. Доминантные и субдоминантные диатомовые пелагического планктонного альгоценоза оз. Курильское. Примечание: 1, 2. *Aulacoseira subarctica* (O. Müll) Haworth, вид в световой микроскоп (СМ) и сканирующий электронный микроскоп (СЭМ), соответственно. 3. *Cyclotella tripartita* Håkansson; а — вид в СКАН, b — вид в СМ. 4. *Cyclotella pseudostelligera* Hust.; а — вид в СКАН, b — вид в СМ. 5. *Stephanodiscus* sp. а — вид в СКАН, b — вид в СМ. 6–9. *Stephanodiscus alpinus* Hust. 6–8. Вид в СМ. 9. Вид в СКАН. Масштабная линейка в частях. 2, 3а, 4а, 5а — 1.0 μm ; в частях. 1, 3б, 4б, 5б, 6–7 — 1 μm .

Таблица 1. Таксономический список водорослей фитопланктона центральной части пелагиали оз. Курильское и их эколого-географическая характеристика

№	Таксон	Частота встречаемости	Местообитание	Распространение	Галобность	Отношение к рН	Сапробность
Отдел BACILLARIOPHYTA							
Класс COSCINODISCOPHYCEAE							
Подкласс THALASSIOSIROPHYCIDAE							
Порядок THALASSIOSIRALES							
1	<i>Cyclotella bodanica</i> Eulens.	1	пл	косм	ог	—	—
2	<i>C. cf. kuetzingiana</i> Thw.	2	пл	косм	гл	—	—
3	<i>C. operculata</i> (Ag.) Kütz.	1	пл	—	ог	—	—
4	<i>C. pseudostelligera</i> Hust.	2–6	пл	косм	инд	инд	β (α)
5	<i>C. tripartita</i> Håkansson (= <i>C. kisselevii</i> O. Korotk.)	5	пл	бор	—	—	—
6	<i>Stephanodiscus alpinus</i> Hust.	3–5	пл	бор	гб	—	—
7	<i>S. sp.</i>	4	пл	—	—	—	—
Подкласс COSCINODISCOPHYCIDAE							
Порядок AULACOSEIRALES							
8	<i>Aulacoseira subarctica</i> (O.Müll.) Haworth	6	пл	с-а	инд	алк	—
Порядок MELOSIRALES							
9	<i>Melosira varians</i> Agardh	1	лит, пл	косм	гб	алк	β
Класс FRAGILARIOPHYCEAE							
Подкласс FRAGILARIOPHYCIDAE							
Порядок FRAGILARIALES							
10	<i>Diatoma hiemale</i> (Lyngb.) Heib.	2	обр	с-а	гб	—	—
12	<i>Fragilaria capucina</i> Desm.	3	пл	косм	инд	алк	β
13	<i>F. crotonensis</i> Kitt.	3	пл	косм	гл	алк	α - β
14	<i>F. intermedia</i> Grunov	2	лит, пл	косм	ог	инд	—
15	<i>F. mazamaensis</i> (Sovereing) Lange-Bertalot	1	пл	—	—	—	—
16	<i>Hannaea arcus</i> (Ehr.) Patr. (<i>Ceratoneis arcus</i> (Ehr.) Kütz.)	2	обр	бор	ог	—	—
17	<i>Meridion circulare</i> Ag.	2	лит	косм	гб	алк	χ
18	<i>M. circulare</i> var. <i>constricta</i> (Ralfs)	2	лит	косм	гб	алк	β
19	<i>Staurosira construens</i> (Ehrenberg) Williams & Round	2	лит	косм	инд	алк	α - β
20	<i>Synedra amphycephala</i> Kütz.	1	обр литорали	—	—	—	—
21	<i>S. cf. tabulata</i> (Ag.) Kütz.	3	пл	—	—	—	—
22	<i>S. cf. tenera</i> W. Sm.	4	пл	—	—	—	—
23	<i>S. ulna</i> (Nitzsch.) Ehr.	3	лит, пл	косм	инд	инд	β
24	<i>S. ulna</i> var. <i>danica</i> (Kütz.) Grun.	4	пл	косм	инд	алк	β
Порядок TABELLARIALES							
25	<i>Tabellaria fenestrata</i> (Lyngb.) Kütz.	1	пл	косм	инд	инд	α - β (β)
26	<i>T. flocculosa</i> (Roth.) Kütz.	2	пл	с-а	инд	ац	γ - α (β)
Класс BACILLARIOPHYCIDAE							
Порядок CYMBELLALES							
27	<i>Cymbella cistula</i> (Hemp.) Grun.	2	обр литорали	косм	ог	алк	α - β (α)
28	<i>C. hebridica</i> (Greg.) Grun.	2	обр	с-а	инд	ац	—
29	<i>C. ventricosa</i> Kütz.	1	обр бент литорали	косм	ог	—	—
30	<i>Gomphonema constrictum</i> Ehr.	2	обр	косм	инд	—	—
31	<i>G. cf. olivaceum</i> (Lyngb.) Kütz.	1	—	—	—	—	—
Порядок ACHNANTHALES							
32	<i>Achnanthes lanceolata</i> (Bréb.) Grun.	2	обр	косм	инд	алк	β (α)
Порядок NAVICULALES							
33	<i>Diploneis elliptica</i> (Kütz.) Cl.	1	бент	косм	инд	—	—
34	<i>Navicula cf. fossalis</i> Krasske	1	бент	—	—	—	—
35	<i>Pinnularia viridis</i> (Nitzsch.) Ehr.	2	бент	косм	ог	инд	β
36	<i>Stauroneis parvula</i> Grun.	1	—	—	—	—	—
Порядок THALASSIOPHYSALES							
37	<i>Amphora ovalis</i> Kütz.	2	бент литорали	косм	ог	—	—
38	<i>A. ovalis</i> var. <i>gracilis</i>	1	бент литорали	косм	ог	—	—

Продолжение таблицы 1.

№	Таксон	Частота встречаемости	Местообитание	Распространение	Галобность	Отношение к pH	Сапробность
39	<i>A. ovalis</i> var. <i>pediculus</i> Kütz.	1	бент литорали	косм	ог	—	—
40	<i>A. perpusilla</i> Grun.	1	обр	косм	инд	—	—
Порядок BACILLARIALES							
41	<i>Denticula elegans</i> Kütz.	1	обр	с-а	гб	—	—
42	<i>Nitzschia amphibia</i> Grun.	1	—	косм	ог	—	—
43	<i>N. frustulum</i> (Kütz.) Grun.	1	лит	косм	гл	алк	β
44	<i>N. gracilis</i> Hantzsch	1	пл	косм	инд	инд	β
45	<i>N. cf. holsatica</i> Hust.	1	пл пелагиали	—	ог	—	β
46	<i>N. lanceolata</i> W. Sm.	1	лит	косм	гл	—	—
47	<i>N. lanceolata</i> var. <i>minor</i> V. H.	1	лит	косм	гл	—	—
48	<i>N. palea</i> (Kütz.) W. Sm.	1	пл	косм	инд	—	β
49	<i>N. sigmoidea</i> (Ehr.) W. Sm.	1	бент, пл	косм	инд	алк	β
Порядок RHOPALODIALES							
50	<i>Rhopalodia gibba</i> (Ehr.) O. Müll.	2	бент	косм	инд	—	о
Отдел CYANOPHYTA							
Порядок CHROOCOCCALES							
51	<i>Aphanothece</i> sp.	2	пл	—	—	—	—
52	<i>Cocconeis limnetica</i> Troitzk.	1	пл	—	—	—	—
53	<i>Dactylococcopsis</i> sp.	2	пл	—	—	—	—
54	<i>Microcystis</i> sp.	4	пл	—	—	—	—
Отдел CHLOROPHYTA							
Порядок CHLOROCOCCALES							
55	<i>Ankistrodesmus</i> sp.	4	пл	—	—	—	—
56	<i>Scenedesmus</i> sp.	2	пл	—	—	—	—
57	<i>Oocystis</i> sp.	3	пл	—	—	—	—
Отдел CHRYSOPHYTA							
Порядок CHROMULINODALES							
58	<i>Mallomonas</i> sp.	1	пл	—	—	—	—

Условные обозначения: частота встречаемости: 6 — в массе (>1000 клеток/мл); 5 — очень часто (101–1000 клеток/мл); 4 — часто (51–100 клеток/мл); 3 — нередко (11–50 клеток/мл); 2 — редко (6–10 клеток/мл); 1 — единично (1–5 клеток);

местообитание: пл — планктон; обр — обрастания; лит — литораль; бент — бентос;

распространение: косм — космополит; бор — бореальный; с-а — северо-альпийский; (—) — малоизученный в биогеографическом отношении;

галобность: инд — индифферент; гл — галофил; гб — галофоб; ог — олигогалоф; (—) — нет данных; отношение к pH: инд — индифферент; алк — алкалифил; ац — ацидофил; (—) — нет данных;

сапробность: о — олигосапробный; β — β-мезосапробный; α — α-мезосапробный; χ — ксеносапробный; (—) — нет данных;

данных факторов определяются некоторые особенности в вертикальном распределении фитопланктона в различные годы (Лепская, 1996, 1998; Миловская и др., 1997, 1999, 2000). Тем не менее из года в год можно проследить ряд общих закономерностей. Как правило, зимой и ранней весной фитопланктон распределен в толще воды относительно равномерно. Активизация фотосинтеза наблюдается в мае — первой половине июня. Этот процесс сопровождается неравномерным распределением фитопланктона по вертикали в двухсотметровом слое. Начиная со второй половины июня и до конца августа, высокая концентрация фитопланктонных организмов отмечается в верхнем сорокаметровом слое. Периодически форми-

рующиеся максимумы численности приурочены к слою 0–15 м, расположенному выше компенсационной точки фотосинтеза. Это явление может начинаться и в более ранние сроки, как, например, в 2000 г. Однако стабильно высокая концентрация физиологически активных водорослей в зоне наиболее благоприятных для фотосинтеза условий всегда отмечается в летний период. О высокой скорости продуцирования фитопланктонной биомассы в это время свидетельствует значительная концентрация жизнеспособных водорослей в зоне «светового голодания» (слой 40–200 м), куда заглубляется активно размножающийся в фотосинтетической зоне фитопланктон. Некоторая продукционная активность фитопланктонного сообщества

может наблюдаться также с конца сентября по декабрь. Время наступления осеннего цветения определяется, по всей видимости, несколькими причинами. Во-первых, скоростью рециклинга биогенов как микропланктоном, так и зоопланктоном, которая, в свою очередь, обусловлена максимальным прогревом воды в этот период. Во-вторых, увеличением потока биогенов, смываемых с водосбора, в результате активизации циклонической деятельности. В-третьих, поступлением биогенов от разложения тел отнерестовавших рыб.

Бактериопланктон. Вертикальное распределение бактериопланктона определяется рядом причин. В качестве основных можно выделить температуру, а следовательно, плотностную стратификацию водной толщи, интенсивность ветрового перемешивания и распределение общего пула продуцированного и накоплен-

ного органического вещества. Интенсивность воздействия этих факторов меняется в течение года, но остается относительно постоянной в межгодовом аспекте.

В 1996–2000 гг. в толще воды бактериопланктон распределялся неравномерно. Заметная биомасса бактериальных клеток наблюдалась в слоях с низкой плотностью фитопланктона, что характерно для середины июня и периода с августа по ноябрь. В конце июня и в июле, когда биомасса фитопланктона и его физиологическая активность велики, микропланктон распределяется гомогенно и, как правило, имеет невысокую биомассу. Аналогичное распределение было свойственно бактериопланктону в 80-е, а также в первой половине 90-х годов.

Сезонная динамика фито- и бактериопланктона во второй половине 90-х годов. Численность и биомасса фитопланктона. Для характеристики сезонной динамики фитопланктонного сообщества, следует предварительно проранжировать виды по степени доминирования. Это, в том числе, необходимо и для оценки сукцессий. В планктонном альгоценозе центральной части пелагиали озера в последнее пятилетие *A. subarctica* стала абсолютной доминантой. Доля её в общей численности диатомового планктона составляла 60–100 % в зависимости от сезона (рис. 2). Субдоминантами в различные годы могли становиться *S. alpinus*, *C. tripartita*, а также факультативные и облигатные планктонные виды из рода *Synedra*. Однако относительная численность их редко достигала 15–30%, составляя в среднем 4%. Наибольшей относительной (рис. 2) и абсолютной (рис. 3) численности аулякозеира достигала в июне–сентябре. Осенью, зимой и весной доля аулякозеиры в планктоне уменьшалась, и росла относительная численность субдоминантных таксонов. Весной 1997 г. и осенью 1998 г. субдоминантой являлась циклотелла, весной и осенью 1996 и 2000 гг. — циклотелла и стефанодискус приблизительно в равных долях, а в эти же сезоны в 1999 г. — стефанодискус. Доля синедры обычно выше весной и в осенне-зимний период. Таким образом, наиболее интенсивное развитие доминирующего фитопланктонного комплекса происходило летом (рис. 3), что говорит о сходстве оптимальных условий развития диатомовых так-

Таблица 2. Эколого-географическая характеристика фитопланктона центральной части пелагиали оз. Курильское

Характеристика	Число видов
Местообитание *(основное)	
Планктонные	30
Литоральные	14
Бентосные	9
Обрастатели	11
Распространение	
Космополитные	31
Бореальные	3
Северо-альпийские	6
Малоизученные	18
Галобность	
Индиференты	17
Олигогалобы	12
Галофилы	5
Галофобы	7
Малоизученные	17
Отношение к pH	
Индиференты	6
Алкалифилы	12
Ацидофилы	2
Малоизученные	38
Сапробность	
β -мезосапробы	11
олиго- β -мезосапробы	4
олигосапробы	1
β - α -мезосапробы	2
ксеносапробы	2
Малоизученные	38

Таблица 3. Таксономическая структура планктонного альгоценоза центральной части пелагиали оз. Курильское

Отдел	Порядок	Род	Вид	Внутривидовые таксоны	Со знаком открытой номенклатуры	Общее число видов и внутривидовых таксонов
Bacillariophyta	11	22	44	5	7	50
Chlorophyta	1	3	-	-	3	3
Chrysophyta	1	1	-	-	1	1
Cyanophyta	1	4	1	-	3	4
Всего	14	30	45	5	14	58

сонов. Несмотря на это, скорость потребления биогенов и, следовательно, скорость роста при сочетании летней освещенности и температуры выше, вероятно, у аулякозеиры.

Динамика биомассы фитопланктона в 1996–2000 гг. в большинстве случаев определялась численностью аулякозеиры. В летний сезон вегетации в слое 0–200 м биомасса достигала максимальных значений при температуре 2,5–3,0 °C (рис. 4). В 1996 г. имели место три пика биомассы фитопланктона: весенний, летний и осенний. Таким образом, проявлялось остаточное влияние эвтрофирования вследствие больших заходов нерки в начале 90-х гг. (рис. 4). В последующие годы фитопланктонное сообщество характеризовалось одним летним пиком цветения. Декабрьский максимум биомассы 1999 г. связан с некоторым увеличением количества крупноклеточного стефанодискуса, который при невысокой численности дает значительную биомассу.

Численность и биомасса бактериопланктона. В сезон вегетации (май–июнь – сентябрь–октябрь) продуцирование фито- и бактериопланктонной биомассы происходило, как правило, в противофазе: высокой биомассе фитопланктона соответствовала низкая биомасса бактериопланктона (рис. 5). Это явление отмечалось и в предыдущие годы (Лепская, Маслов, 1998). Аналогичная ситуация имела место в озерах Гардзиен и Езлрак (Польша), где биомасса бактерий отрицательно коррелировала с биомассой диатомовых (Luścińska et al., 1999). В зимние месяцы и ранней весной ход продукционных и деструкционных процессов в пелагиали озера имел однонаправленный характер — т.е. рост или снижение биомассы фито- и бактериопланктона происходило одновременно. В последние пять лет отмечено плавное снижение бактериальной биомассы (рис. 5). Причиной этого, на наш взгляд, является снижение концентрации общего органического вещества в толще воды, количество которого грубо оценивали по плотности бесструктурной взвеси, осаждавшейся на мембранных фильтрах. В последние четыре года такой взвеси не наблюдали даже в годы высокой численности фитопланктона.

Межгодовая динамика фитопланктона и бактериопланктона в 1996–2000 гг. Для описания межгодовой динамики величины численности и биомассы фито- и бактериопланктона были осреднены за период с мая по сентябрь (время активной вегетации планктонных водорослей).

С 1993 г. в планктонном альгосообществе оз. Курильское доминирует аулякозеира (рис. 6). Существует несколько причин, обуславливающих преимущественное развитие аулякозеиры во второй половине 90-х годов. Как уже отмечалось,

сезонный температурный оптимум развития *A. subarctica* составляет 2,5–3,0 °C. Показано, что внутри рода *Aulacoseira* нередко холодноводные и криофильные виды, например *A. baicalensis* (Richardson et al., 2000). Поэтому низкая температура воды, которая в 1996–2000 гг., в среднем, составляла 2,3 °C, способствовала преимущественному развитию диатомей этого рода.

В последнее время выяснено, что эффективность круговорота фосфора не меняется с изменением его концентрации в воде озер, и снабжение фосфором планктона определяется, в первую очередь, его круговоротом в самом планктонном сообществе, а внешняя фосфорная нагрузка имеет меньшее значение (Синяков, 1993, Hudson et al., 1999). В.В. Сапожниковым с коллегами (Сапожников и др., 2000) экспериментально доказано наличие в пелагиали оз. Курильское процессов микробиологического рециклинга биогенов, проходящих с довольно высокой скоростью. Низкая температура воды в конце 90-х годов, очевидно, замедлила эти процессы, чем было сглажено влияние пульсирующего поступления фосфора (Roelke et al., 1999). Это, в свою очередь, привело к изменению ценотической структуры фитопланктонного сообщества, что проявилось в доминировании одного вида.

В холодноводных водоёмах на формирование доминирующего комплекса может влиять форма поступления биогенов. Например, если азот поступает в виде органических соединений (в оз. Курильское — в процессе разложения сненики), то в фитопланктоне преобладают диатомовые (Seitzinger, Sanders, 1999).

Межгодовая динамика биомассы фитопланктона во второй половине 90-х годов определялась динамикой численности аулякозеиры. Пик фитопланктонной биомассы отмечен в 1997 г. С 1994 по 1996 гг. биомасса постепенно повышалась, а в последующие три года происходило её снижение (рис. 7).

Выявленное изменение цикличности доминирующего вида — аулякозеиры — по данным сетных обловов (Миловская, статья в настоящем сборнике) не всегда совпадает с существующей цикличностью общей биомассы фитопланктона, поскольку в тёплые годы существенное развитие отмечается у субдоминантных видов — стефанодискуса, циклотеллы, не учитываемых при сетных обловах. Результаты обработки батометрических сборов показали, что в 1983 г. доля аулякозеиры составляла 57%, в 1984 и 1992 гг. — 48%, в 1987 и 1989 гг. — 32 и 38%, соответственно, а в 1988 г. — всего 15% от общей фитопланктонной биомассы. Показано также, что в августе 1968 г. истинная биомасса фитопланктона была как минимум в два раза выше приведенной И.А. Носовой (Носова, 1971), которая в своей работе рассчитывала ее,

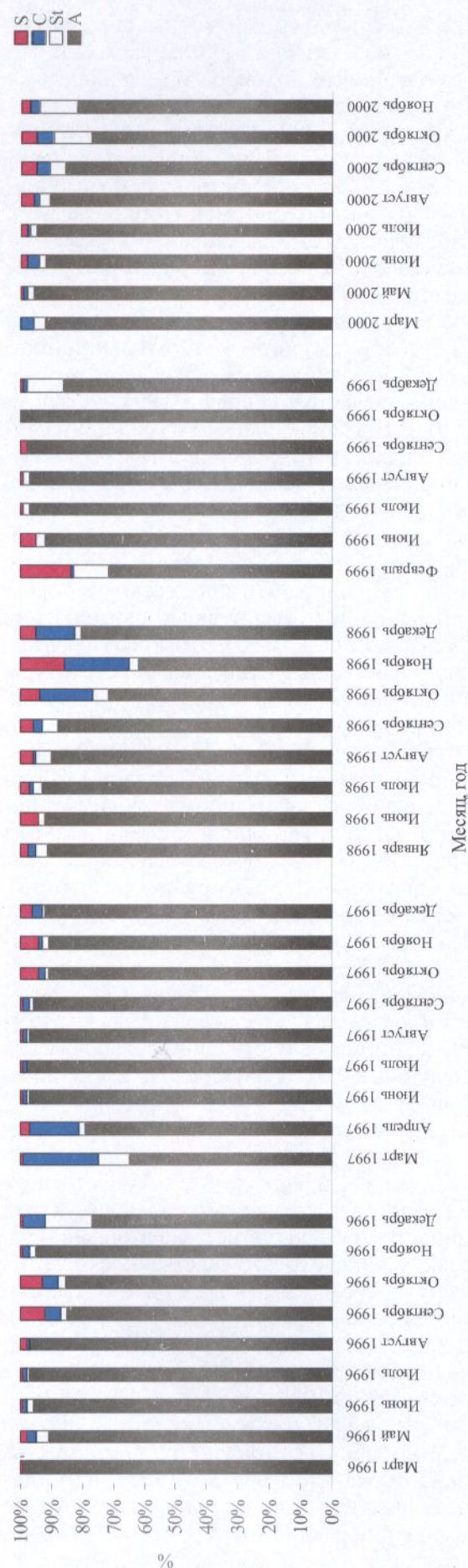


Рис. 2. Сезонная динамика относительной численности (%) доминантных и субдоминантных таксонов фитопланктона в слое 0–200 м центральной пелагиали оз. Курильское в 1996–2000 гг. Условные обозначения: А — аулюкозеира, С — циклотелла, S — синедра

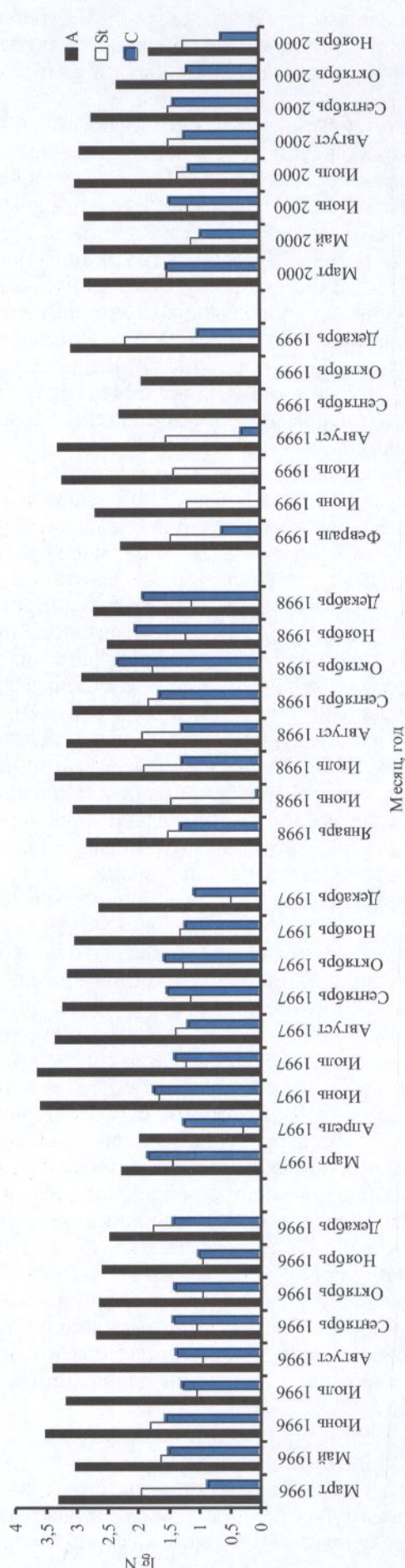


Рис. 3. Сезонная динамика численности (N, клеток/мл) таксонов доминантного диатомового комплекса центральной пелагиали оз. Курильское в 1996–2000 гг. Условные обозначения: А — аулюкозеира, St — стефаноликус, С — циклотелла

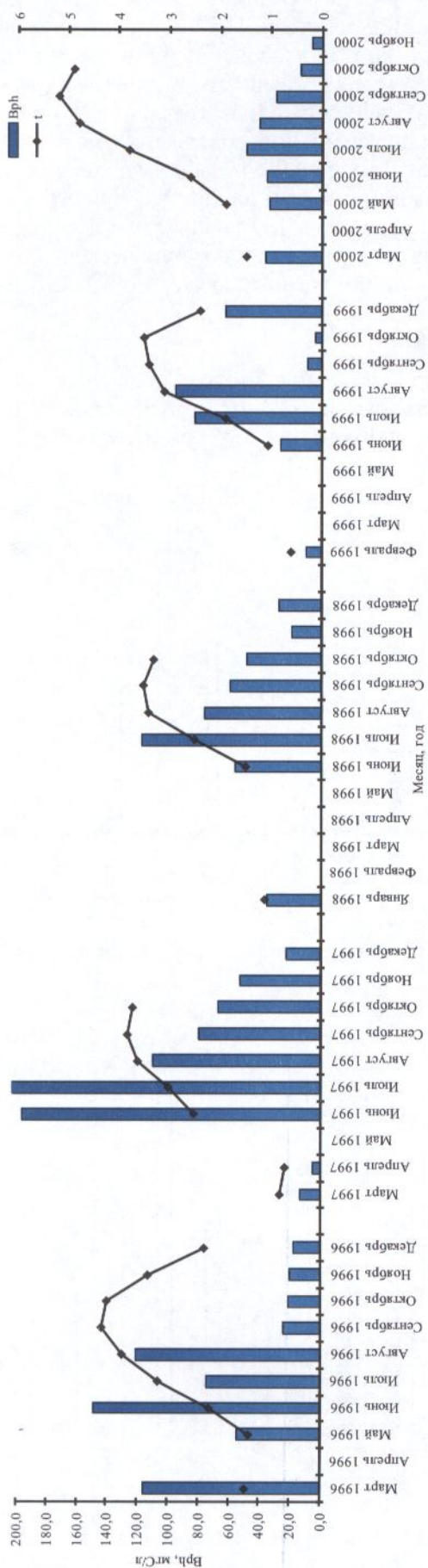


Рис. 4. Сезонная динамика биомассы (Bph, mgC/m^3) «кормового» фитопланктонного комплекса и температуры воды (t , $^{\circ}\text{C}$) в слое 0–200 м центральной пелагиали оз. Курильское в 1996–2000 гг.
Условные обозначения: Bp — биомасса фитопланктона, t — температура воды

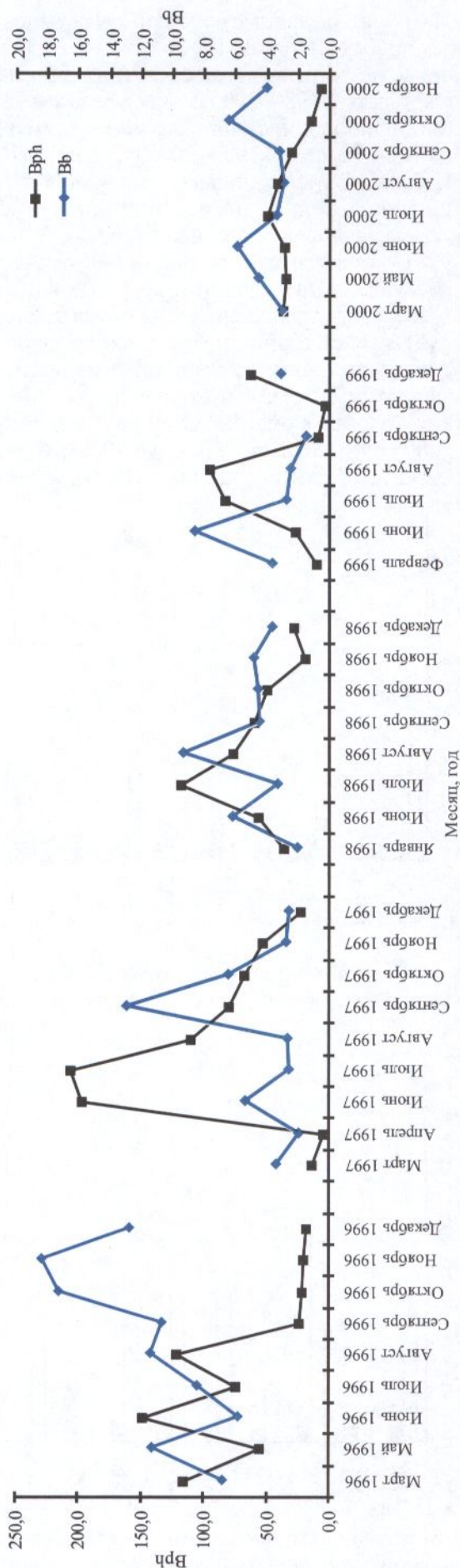


Рис. 5. Сезонная динамика биомассы фито- и бактериопланктона (Bph и Bb, mgC/m^3) в слое 0–200 м центральной части пелагиали оз. Курильское в 1996–2000 гг.

опираясь только на данные подсчета аулякозеиры в сетных пробах (Лепская, 1998).

Данные по общей биомассе фитопланктона имеются только за 1980–2000 гг., так как до 1980 г. мониторинг проводился на основании сетных обловов аулякозеиры. В 1995–2000 гг. пелагическое фитопланктонное сообщество прошло в своем развитии очередной пятилетний цикл, подтверждая, установленную ранее (Лепская, Маслов, 1998) квазипятилетнюю цикличность в его межгодовой динамике. Но в этот период динамика биомассы фитопланктона была обусловлена исключительно колебаниями биомассы аулякозеиры вследствие её конкурентного преимущества в условиях наступившего похолодания.

Среднегодовая биомасса бактериопланктона в 1996–2000 гг. изменялась от 3,47 до 10,7 мгС/м³, и в среднем за 5 лет составила 5,8 мгС/м³. На

динамику биомассы бактериопланктона влияет общее количество органического вещества, накопленное в экосистеме. В 80-е годы происходило нарастание биомассы бактериопланктона, достигшей максимума в 1990 г., а в 90-е годы — её постепенное снижение. Этот процесс проходил на фоне увеличения содержания органической взвеси в воде в 80-е годы и уменьшения его концентрации в 90-е годы до практически полного исчезновения в 1999 и 2000 гг. Таким образом, для утилизации избытка органического вещества в оз. Курильское потребовалось около 10 лет.

ВЫВОДЫ

1. Во второй половине 90-х годов таксономический состав пелагического фитопланктонного сообщества оз. Курильское был сходен с таковым в

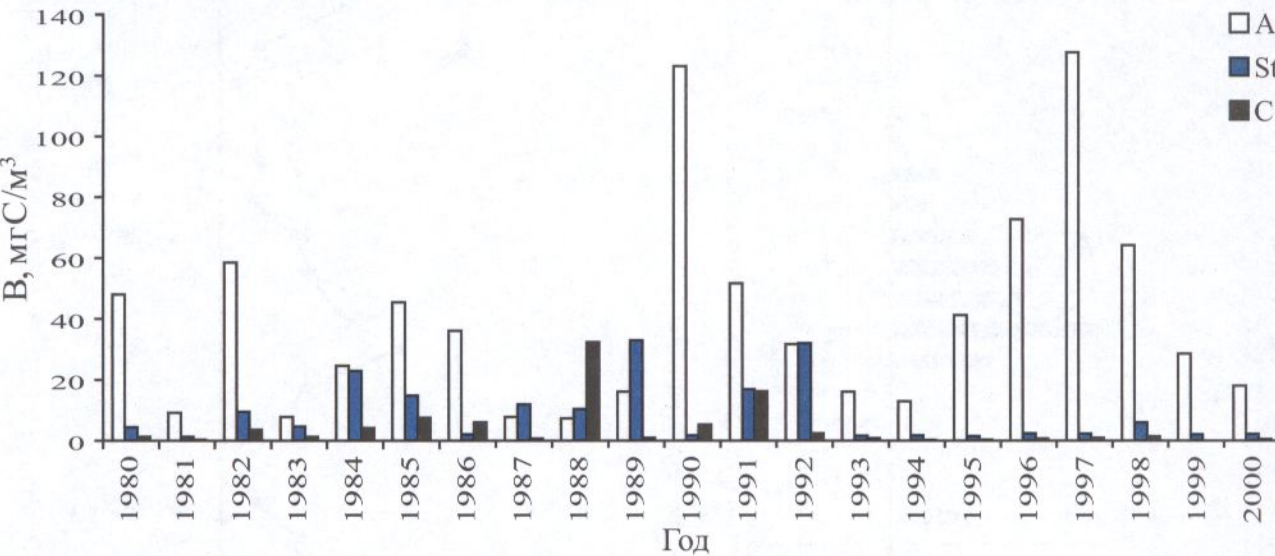


Рис. 6. Межгодовая динамика биомассы (В) основных составляющих фитопланктонного сообщества в центральной части пелагиали оз. Курильское в 1980–2000 гг.

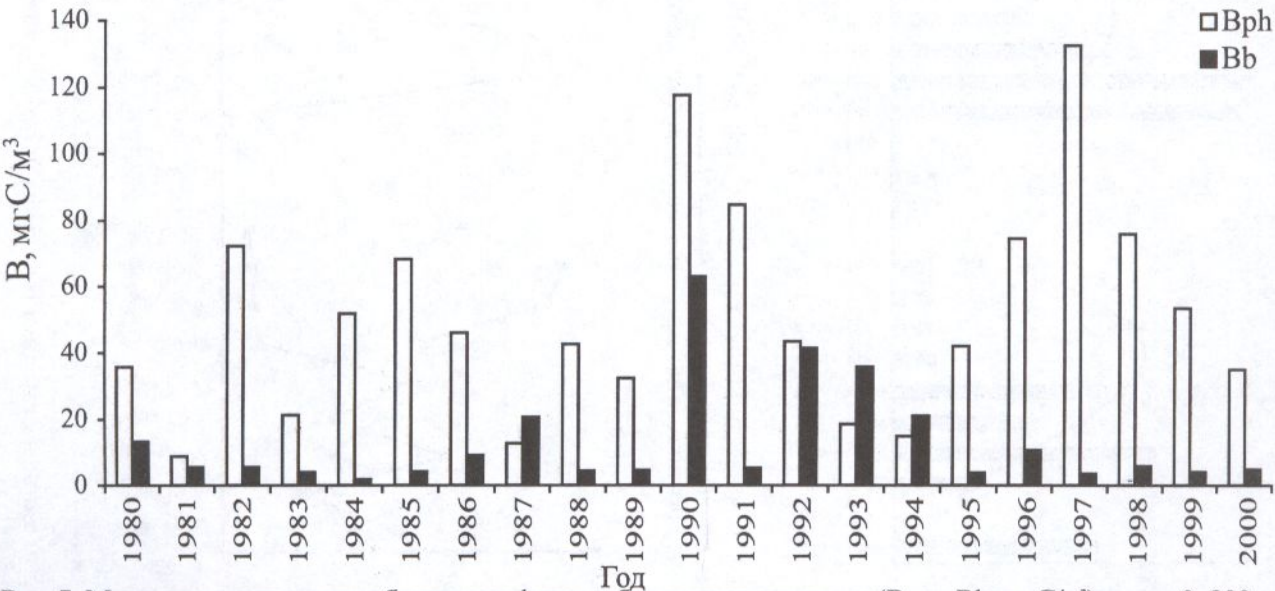


Рис. 7. Межгодовая динамика биомассы фито- и бактериопланктона (Вр. и Вб, мгС/м³) в слое 0–200 м центральной пелагиали оз. Курильское в 1980–2000 гг.

предыдущий пятнадцатилетний период. Доминирующими остались диатомовые (*Bacillariophyta*), которые, в том числе, образуют кормовое ядро фитопланктонного сообщества. По уточненным данным это *Aulacoseira subarctica* (O. Müll.) Haworth, *Stephanodiscus alpinus* Hust., *S. sp.*, *Cyclotella tripartita* Håkansson, *C. pseudostelligera* Hust.

2. Эколого-географическая характеристика водорослей в составе фитопланктона показала, что последний представлен планктонными космополитными холодноводными типично пресноводными алкалифильными видами с преобладанием в и олиго-в-мезосапрое. Такой состав типичен для холодноводных слабоминерализованных водоемов со слабощелочной реакцией воды и низкими показателями перманганатной окисляемости, к которым относится оз. Курильское.

3. Изменение ценотической структуры фитопланктона, как следствие понижения температуры воды и, вероятно, сглаживания дискретности поступления биогенов в результате замедлившегося рециклинга, привело к доминированию одного вида, а именно аулякозеиры.

4. В 1996–2000 гг. снизилось содержание взвешенного органического вещества. Произошла постепенная олиготрофизация водоема, что выразилось в появлении летом одного пика цветения и уменьшении биомассы фитопланктона.

5. В 2000 г. завершился очередной пятилетний цикл в развитии фитопланктонного сообщества, который подтвердил существование в 80-е–90-е годы квазипятилетней цикличности.

6. Микропланктонное сообщество в рассматриваемый период было представлено мелкими коккоидными и палочкообразными морфами, соотношение которых незначительно менялось в зависимости от сезона. В летние месяцы и в многолетней динамике развитие микропланктонного комплекса происходит в противофазе с фитопланктоном.

7. Уменьшение биомассы бактериопланктона на фоне снижения содержания органической взвеси до полного ее исчезновения в 1990, 2000 гг. свидетельствует о том, что для утилизации избытка органического вещества, накопившегося в оз. Курильское к концу 80-х годов, потребовалось около 10 лет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Воронихин Н.Н. 1937. Фитопланктон Курильского озера // Тр. Тихоокеанского комитета. Т. IV. С. 178–187.

Глезер З.И., Макарова И.В., Моисеева А.И., Николаев В.А. 1992. Диатомовые водоросли СССР. Т. II. Вып. 2. СПб.: Наука. 95 с.

Голлербах М.М., Косинская Е.К., Полянский В.И. 1953. Синезеленые водоросли. М.: Советская наука. 652 с.

Гутельмахер Б.Л. 1992. Метаболизм планктона как единого целого. Л.: Наука, 1986. 155 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. 1998. Попытка частичной реконструкции диатомовой составляющей фитопланктона оз. Курильское (Южная Камчатка) по результатам изучения питания *Cyclops scutifer* Sars. Северо-Восток России: прошлое, настоящее, будущее // Тез. Докл. регион. научн. конф. Магадан. 31 марта–2 апреля 1998 г. С. 12.

Лепская Е.В. 1996. Состояние фито- и бактериопланктона оз. Курильского в 1996 г. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. 22 с.

Лепская Е.В. 1998. Характеристика фито- и бактериопланктонного сообщества оз. Курильское в 1998 г. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. 17 с.

Лепская Е.В., Маслов А.В. 1998. Многолетняя динамика фитопланктонного сообщества оз. Курильское (Южная Камчатка) // Исслед. биологии и динамики числен. пром. рыб камчатского шельфа. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. Вып. IV. С. 182–188.

Матвиенко А.М. 1954. Золотистые водоросли. М.: Советская наука. 188 с.

Миловская Л.В., Уколова Т.К., Лепская Е.В. 1997. Состояние экосистемы Курильского озера в 1997 г. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. 27 с.

Миловская Л.В., Уколова Т.К., Лепская Е.В. 1999. Состояние экосистемы озера Курильского в 1999 г. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. 53 с.

Миловская Л.В., Уколова Т.К., Лепская Е.В., Бонк Т.В., Городовская С.Б., Свириденко В.Д. 2000. Состояние экосистемы оз. Курильское в 2000 г. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. 63 с.

Монаков А.В., Носова И.А., Сорокин Ю.И. 1972. О питании *Cyclops scutifer* // Тр. ИБВВ АН СССР. Вып. 13 (16). С. 27–31.

Николаев А.С., Николаева Е.Т. 1991. Некоторые аспекты лимнологической классификации нерковых озер Камчатки // Исслед. биологии и динамики числен. пром. рыб камчатского шельфа. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. Вып. I. (I). С. 3–17.

Носова И.А. 1976. Многолетние изменения в пелагическом зоопланктоне озера Курильского. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. 22 с.

Носова И.А. 1980. Некоторые закономерности многолетних изменений основных параметров экосистемы Курильского озера. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. 45 с.

- Павельева Е.Б., Ларионов Ю.В. 1979. Продукция органического вещества в оз. Курильском // Журн. общ. биологии. Т. XL. № 5. С. 689–697.
- Разумов А.С. 1932. Прямой метод учета бактерий в воде. Сравнение его с методом Коха // Микробиология. Т. 1. Вып. 2. С. 131–146.
- Саматов А.Д. 2000. Видовая структура зоопланктонного сообщества Авачинской губы // Проблемы гидроэкологии на рубеже веков. Тез. докл. международной конференции. СПб.: ЗИН РАН-РГО. С. 161–162.
- Сапожников В.В. 2000. Исследовать биопродукционные процессы нерестово-выростных водоемов Камчатки с целью стабилизации и повышения численности нерки // Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. 57 с.
- Синяков С.А. 1993. Круговорот фосфора и параметры экосистемы Курильского озера при оптимальном заполнении нерестилищ // Исслед. биологии и динамики числен. пром. рыб камчатского шельфа. Вып. II. Петропавловск-Камчатский. С. 50–61.
- Сорокин Ю.И., Павельева Е.Б. 1972. К количественной характеристике экосистемы пелагиали озера Дальнего на Камчатке // Тр. ИБВВ АН СССР. Вып. 23 (26). С. 24–38.
- Степанов В.В. 1986. Химический состав вод озера Курильского // Комплексные исследования озера Курильского. Владивосток: Изд. Дальневосточного университета. С. 134–142.
- Троицкий А.С., Сорокин Ю.И. 1967. К методике расчета биомассы в водоемах // Тр. ИБВВ АН СССР. Вып. 15 (18). С. 85–90.
- Экология фитопланктона Рыбинского водохранилища — Ред. Паутова В.Н., Розенберг Г.С. Тольятти, 1999. 264 с.
- Canter-Lund, H., and W.G. Lund John. 1999. Freshwater Algae. London: Biopress Limited. 360 pp.
- Dillard, G.E. 1999. Common Freshwater Algae of the United States. Berlin, Stuttgart: Cramer in der Gebr.-Borntraeger-Verl.-Buchh. 173 pp.
- Håkansson, H. 1990. Cyclotella tripartita nov. sp. (Bacillariophyceae) and the relationship to similar taxa // Ouvrage délié á H. Germain. Koeltz. P. 75–82.
- Haworth, E.Y. 1988. Distribution of Diatom Taxa of the old Genus *Melosira* (now mainly *Aulacoseira*) in Cumbrian waters // in Algae and the Aquatic Environment (Ed. F.E. Round). Biopress. Bristol. P. 138–167.
- Hudson, J.J., William D. Taylor, and D.W. Schindler. 1999. Planktonic nutrient regeneration, and cycling efficiency in temperate lakes // Nature (Gr. Brit.). 400, No. 6745. P. 659–661.
- Krammer, K., and H. Lange-Bertalot. 1991. Bacillariophyceae // Süßwasserflora von Mitteleuropa. Band 2/3. Jena Stuttgart Lübeck Ulm: Gustav Fischer. 576 pp.
- Krammer, K., and H. Lange-Bertalot H. 1997. Bacillariophyceae // Süßwasserflora von Mitteleuropa. Band 2/1. Jena Stuttgart Lübeck Ulm: Gustav Fischer. 876 pp.
- Kurohagi TAKASHI. 1962. A Note of the Plankton of Kurilskoe Lake, southern Kamchatka Peninsula, collected in early August 1961 // Sc. Reports of the Hokkaido Salmon Hatchery. No. 17. P. 99–105.
- Lepskaya E.V. 2002. Common *STEHANODISCUS* Ehr. species in salmon Kamchatka Lakes // Proceedings of the 16th International Diatom Symposium. Athens. P. 631–640.
- Lepskaya, E.V. 1998. Ecology and many-years succession of diatoms, forming feeding base of zooplankton of Kurilskoe Lake (Southern Kamchatka) // Тез. докл. II(X) съезда Русского ботанического общества. Т. 2. P. 106.
- Lepskaya, E.V. 1994. Factors determining possibility of prognosis of zooplankton feeding conditions of sockeye lake // 45th Arctic Science Conference: Abstracts Book 1. Vladivostok: Dalnauka. P. 308.
- Luścińska, M., K. Lasek-Woźnicka, W. Donderski, and R. Wiśniewski. 1999. Effect of bottom sediments on development of bacteria and algae // Acta Univ. N. Copernici. Pr. limnol. No. 20. P. 97–112.
- Richardson, T. L., C.E. Gibson, and S. I. Heaney. 2000. Temperature, growth and seasonal of phytoplankton in Lake Baikal, Siberia // Freshwater Biol. 44, No. 3. P. 431–440.
- Roelke, D.L., P.M. Eldridge, L.A. Cifuentes L.A. 1999. A model of phytoplankton competition for limiting and nonlimiting nutrients: Implications for development of estuarine and nearshore management schemes // Estuaries. 22, No. 1. P. 92–104.
- Round, F.E., R.M. Crawford, and D.G. Mann. 1996. The Diatoms. Cambridge University Press. 747 pp.
- Seitzinger, S.P., and W.R. Sanders. 1999. Atmospheric inputs of dissolved organic nitrogen stimulate estuarine bacteria and phytoplankton // Limnol. and Oceanogr. 44, No. 3. P. 721–730.
- Vinberg, G.G. 1971. Symbols, units and conversion factors in studies of freshwater productivity // L.B.R. section P.F.