

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ ПАЛЕОЭКОЛОГИИ ОЗ. КУРИЛЬСКОЕ (ЮЖНАЯ КАМЧАТКА) ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ДИАТОМОВОГО АНАЛИЗА КЕРНА ДОННОГО ГРУНТА

Е.В.Лепская, Е.В.Литовченко***

**Камчатский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и
океанографии, Петропавловск-Камчатский*

***Камчатский государственный технический университет, Петропавловск-
Камчатский*

Приведены результаты предварительной реконструкции палеоэкологии оз. Курильского (Южная Камчатка) по результатам диатомового анализа керна донного грунта, взятого 22.08.1998 г. в центральной части озера с глубины 290 м

PRIOR RECONSTRUCTION OF PALEOECOLOGY FOR KURIL'SKOYE LAKE (SOUTH KAMCHATKA) ACCORDING TO THE RESULTS OF THE DIATOM INVESTIGATION OF BOTTOM FOSSILS

E.Lepskaya, E.Litovchenko***

**Kamchatka Research Institute of Fisheries & Oceanography, Petropavlovsk-
Kamchatsky*

***Kamchatka State Technical University, Petropavlovsk-Kamchatsky*

The results of preliminary reconstruction of paleoecology for Kuril'skoye Lake (south Kamchatka) based on the diatom analysis of bottom fossils sampling from a depth of 290 m conducted on 22.08.1998 are summarized.

Долговременные наблюдения за различными составляющими биоты камчатских нерестово-нагульных озер тихоокеанского лосося нерки показали наличие разно периодичной цикличности в их развитии. Например, численность нерки оз. Паланское колеблется с периодом в три года (Бугаев и др., 2002). Период изменения численности и биомассы фитопланктона оз. Курильское составляет 5-7 лет (Лепская, 2004). Данные реконструкции численности нерестовой части популяций нерки из различных озер Аляски за последние 2200 лет продемонстрировали, что беспрецедентный сдвиг в сторону очень низкой продуктивности может иметь место даже без влияния рыболовства и других антропогенных факторов и являться результатом климатических изменений в обширном географическом регионе (Finney et al., 2002).

Сведения о динамике численности наиболее крупных камчатских стад нерки рек Озерная и Камчатка охватывают период около шестидесяти лет и характеризуют только часть векового цикла. Однако ряд данных о величине нерестовых подходов этих стад можно значительно пролонгировать во времени, изучая изотопный состав донных осадков из озер Курильское и Азабачье. Для выявления причин изменения продуктивности в нерестово-нагульных водоемах нерки можно провести реконструкцию их палеоэкологии по диатомовым комплексам и останкам ракообразных в тех же донных осадках (Finney et al., 2000, 2002).

Для оз. Курильское показано, что колебания видовой структуры фитопланктона, сформированного диатомовыми, связаны с изменениями группы абиотических факторов. Главным из них являются среднегодовая температура воды в слое 0-200 м. Подчиненное значение имеют ежегодное поступление

фосфора с рыбой и его суммарное поступление за период равный половине времени полного водообмена, концентрация растворенного кремния и легкоокисляемых форм органического вещества, а также освещенность и степень ветрового перемешивания. Интенсивность их воздействия регулирует относительную численность компонентов структурообразующего комплекса фитопланктона (Лепская, 2002, 2004а). Это дает возможность реконструировать термические и гидрохимические условия в водоеме, основываясь не на традиционной методике сравнения флор, а по соотношению доминантных видов диатомовых в исследуемом слое. Такой подход применен впервые.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Материалом для данного исследования послужила проба донного грунта (керна), отобранная 22 августа 1998 г. в центральной части оз. Курильское (рис. 1). По данным сейсмоакустической съемки, центральная часть озерного ложа представляет собой котловину с относительно ровным дном, в некоторой степени экранированную от воздействия речных выносов и осыпаний прибрежными разломами или поднятиями (Бондаренко, 1990).



Рис. 1. Схема расположения оз. Курильское (указано стрелкой) на территории Камчатки и карта-схема оз. Курильское с изобатами. Крестом отмечено место отбора керна.

Учитывая эти обстоятельства, мы предположили, что биогенные осадки (панцири и створки диатомей) должны равномерно откладываться по всей площади дна котловины, создавая последовательные несмешанные слои, которые пригодны для реконструкции лимнологических событий. Керна был отобран прямоточной гравитационной грунтовой трубкой ГОИН длиной 1 м.

Керна визуально разбили на слои разной длины, отличающиеся по цвету (табл. 1).

В сумме оформленные слои составили колонку длиной 91,85 см. С учетом верхнего размытого слоя общая длина керна была приблизительно равна 1 м. Из

средней части каждого слоя была отобрана проба для последующего диатомового анализа.

Предварительный просмотр отобранных образцов показал, что все они полностью сложены панцирями и створками диатомовых, поэтому для приготовления препаратов мы использовали суспензии грунта такой насыщенности, чтобы при высыхании на стекле получался слой, в котором без затруднений можно было проводить подсчет диатомовых. Для количественной оценки содержания каждого диатомового таксона в пробе в постоянных препаратах, приготовленных по стандартным методикам (Диатомовые водоросли СССР, 1974), проводили тотальный подсчет диатомовых створок. Подсчет производили в 20 полях зрения, каждое из которых было ограничено сетчатым окуляр микрометром с постоянной площадью при максимальном (x100) увеличении. Относительную численность каждого таксона выражали как процентное содержание створок данного вида диатомовых от общего количества учтенных створок. Просмотр препаратов осуществляли в световом микроскопе Olympus BX-40.

Таблица 1. Толщина исследованных слоев керна и их описание

№ слоя	Толщина слоя, см	Характеристика слоя	
1	Поверхность	Охристый с вкраплениями ржавого цвета,	Сильный запах сероводорода
2	-	Размытый слой	
3	0.3	Чёрный, сразу за размытым слоем	
4	0.4	Бурый, охристый	
5	0.2	Тёмно-серый	
6	0.4	Охристый	
7	0.35	Чёрный	
8	0.7	Охристый	
9	2.5	Серо-охристый	
10	9.2	Охристый с черной узкой прослойкой	
11	0.5	Чёрный	
12	0.8	Охристый	
13	35.5	Охристо-серый	
14	29 + 6	Концентрированно-охристый + серый с разными слоями	
15	6	Чёрный	

Таксономическая идентификация массовых видов была проведена нами ранее (Лепская, 2003; Генкал и др., 2004; Lepskaya, 2000, 2001; Genkal et al., 2002, 2004). Для определения видов, которые встречались редко, использовали руководства Забелиной и др. (1951) и Крамера, Ланге-Берталота (Kramer, Lange-Bertalot, 1991).

Определение возраста слоев. Реконструкция палеоолиминологических событий бессмысленна без привязки к хронологической шкале. Обычно исследования кернов, донного грунта в том числе, проводят в сочетании с точной датировкой слоев либо по углероду, либо по изотопам свинца или цезия. Нам эти анализы оказались недоступными, прежде всего, из-за их высокой стоимости, поэтому приблизительный возраст выделенных слоев из керна оз. Курильского мы

рассчитывали, исходя из скорости осадконакопления. Для этого по литературным данным о мощности донных осадков и временном промежутке, за который они были отложены, высчитали скорость осадконакопления для некоторых озер бореальной зоны. Например, в озере с неофициальным названием U60 (Юкон) 400 см слой осадков образовался в течение 11000 лет (Pienitz et al., 2000). В канадских северных озерах Квин'с, Торонто и Ватерлоо толща донных осадков, накопившаяся за 7000 лет, составила 100, 155 и 77 см соответственно (McDonald, et al., 1993). В олиго-мезотрофном оз. Карлук (о. Кодьяк, Аляска) 90 см биогенных донных осадков были накоплены в течение примерно 1800 лет (Finney et al., 2002). Таким образом, скорость осадконакопления в озерах бореальной зоны колебалась в промежутке 0.011 – 0.05 см/год (табл. 2).

Таблица 2. Расчетная средняя скорость осадконакопления в озерах бореальной зоны

Озеро	U60	Квин'с	Торонто	Ватерлоо	Карлук
Средняя скорость осадконакопления, см/год	0.036	0.014	0.022	0.011	0.05

Средняя скорость осадконакопления в центральной глубоководной котловине оз. Курильское по данным сейсмоакустических исследований была оценена в 15–20 м за 1000 лет (Бондаренко, 1990). Эта величина, средняя для временного промежутка, отсчет которого начинается с момента происхождения озера 7600–7800 лет назад (Геодинамика и вулканизм..., 2001; Popomareva et al., 2004), суммирует как биогенные осадки (створки и панцири диатомовых), так и осадки, сформированные оползнями, выносами неорганического материала реками, а также пирокластическими массами и для нашего случая представляется завышенной. Все озера, для которых мы рассчитали скорость осадконакопления значительно меньше по площади и глубине по сравнению с оз. Курильское. Среди них только оз. Карлук, как и оз. Курильское, является нерестово-нагульным водоемом нерки, поэтому в настоящей работе мы решили использовать среднюю скорость биогенного осадконакопления в 0,05 см/год, которая рассчитана для оз. Карлук. Исходя из этого, можно утверждать, что керн из оз. Курильское охватывает временной промежуток от 1800 до 2000 лет. Первые 9 слоев приурочены к XX веку. Накопление нижележащих слоев происходило в последующие 1700–1900 лет.

Характеристика современного фитопланктонного комплекса оз. Курильское. К настоящему времени в составе пелагической планктонной альгофлоры оз. Курильское определено 63 видовых и внутривидовых таксона, относящихся к пяти отделам. Наибольшим видовым богатством характеризуется отдел Bacillariophyta (диатомовые) – 53 видовых и внутривидовых таксона, что составляет 84% от общего числа последних. Насыщенность планктона диатомовыми характерна для холодноводных водоемов, куда азот поступает в виде органических соединений (Seitzinger, Sanders, 1999) (в случае оз. Курильское – в процессе разложения погибших после нереста рыб). Остальные отделы значительно уступают Bacillariophyta по числу таксонов видового и внутривидового ранга. Вклад их в формирование планктонной альгофлоры распределен таким образом: Cyanophyta – 8%; Chlorophyta – 5%; Chrysophyta и Dinophyta по 1.5%.

Пелагиаль озера, как центральная (средняя глубина 280 м), так и прибрежная (средняя глубина 120 м), насыщена облигатными планктонными видами отдела Bacillariophyta и в гораздо меньшей степени водорослями из других отделов. Структурообразующий комплекс формируют диатомовые из классов Coscinodiscophyceae и Fragilariophyceae. Класс Coscinodiscophyceae включает *Aulacoseira subarctica* (O. Müll.) Haworth (рис. 2 А, Б) (обычно доминирует в планктоне), *Stephanodiscus alpinus* Hust. (рис. 2 В, Г), *Stephanodiscus* sp. (рис. 2 Д, Е) и *Cyclotella tripartita* Håkansson (рис. 2 Ж, 3) (субдоминанты 1-го порядка). Облигатные планктонные диатомовые класса Fragilariophyceae (*Synedra ulna* (Nitzsch) Ehr., *S. cf. tabulata* Ag.) и *Fragilaria*-complex (*Fragilaria capucina* Desm., *F. intermedia* Grun., *F. crotonensis* Kitt., *Staurosira construens* (Ehr.) Williams & Round) относятся к субдоминантам 2-го порядка. *Cyclotella pseudostelligera* Hust. (рис. 2 И, К), массовое развитие которой наблюдали на второй год после попадания в озерную экосистему большого количества вулканического пепла (Лепская, 2004) может служить маркером влияния вулканических извержений на озерную экосистему в прошлом (Abella, 1988).

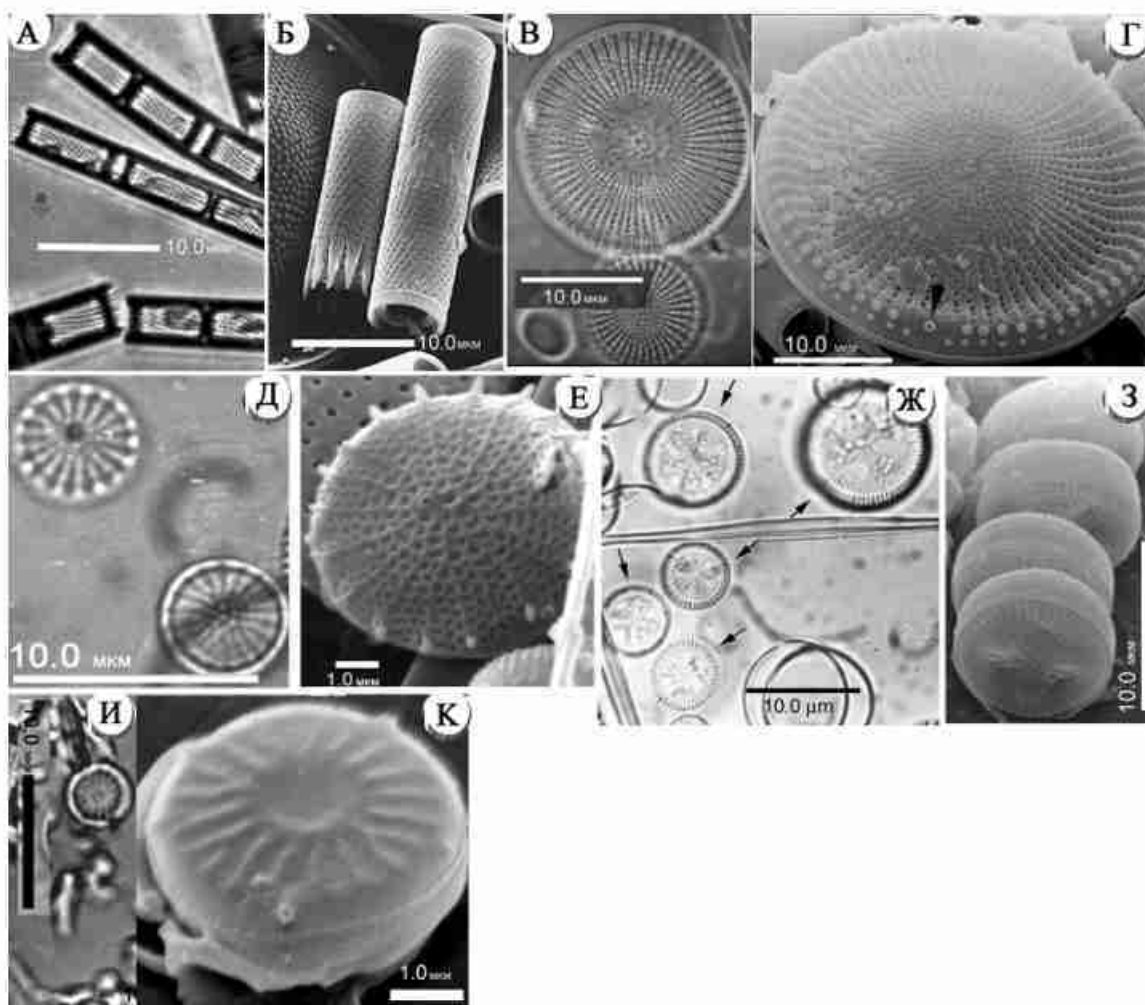


Рис. 2. Представители класса Coscinodiscophyceae в планктоне оз. Курильское, вид в световой (СМ) и сканирующий электронный (СЭМ) микроскопы. А и Б – *Aulacoseira subarctica* (А – вид в СМ, Б – вид в СЭМ). В и Г – *Stephanodiscus alpinus* (В – вид в СМ, Г – вид в СЭМ). Д и Е – *Stephanodiscus* sp (Д – вид в СМ, Е – вид в СЭМ). Ж и 3 – *Cyclotella tripartita* (Ж – вид в СМ, указана стрелками, 3 – вид в СЭМ). И и К – *Cyclotella pseudostelligera* (И – вид в СМ, К – вид в СЭМ)

Анализ эколого-географических признаков планктонных водорослей показал, что доминантный вид *Aulacoseira subarctica* и субдоминанты первого порядка (*Cyclotella tripartita* и *Stephanodiscus alpinus*) относятся к холодноводным галофобным, алкалифильным организмам, предпочитающим водную среду с низким содержанием органического вещества. Этот вывод соответствует термической и гидрохимической характеристикам оз. Курильское, которое является холодноводным, мало минерализованным водоемом со слабо щелочной реакцией воды и низкими показателями перманганатной окисляемости (Степанов, 1986; Уколова, Свириденко, 2002; Сапожников и др., 2002, Лепская и др., 2005). Однако если *Aulacoseira subarctica* типичный ксеносапроб (Бухтиярова, 1999), то другие два вида олиго-мезосапробы (Водоросли-индикаторы..., 2000).

Комплекс абиотических факторов (среднегодовая температура воды в слое 0–200 м, содержание биогенных элементов в воде, а также дискретность их поступления в воду, освещенность и ветровое перемешивание) регулирует межгодовые сукцессии, или ежегодное соотношение видов в структурообразующем комплексе фитопланктона. Используя эти данные можно не только реконструировать климатические и биогенные условия озера по диатомовому анализу керна донного грунта, но и с определенной вероятностью предвидеть будущую структуру альгоценоза.

Анализ относительной численности составляющих современного структурообразующего комплекса фитопланктона за 21 год (1980 – 2000) показал, что главным регулирующим воздействием на долю водорослей в планктоне обладает среднегодовая температура воды в слое 0–200 м.

Если среднегодовая температура воды устанавливается ниже значения 3.4° С то, как правило, доля *Aulacoseira subarctica* в планктоне достигает 80% и выше. Значительно реже такая же высокая относительная численность *A. subarctica* может отмечаться при температуре воды выше 3.4° С, но при высоком уровне освещенности (средний показатель облачности за летний период, оцененный в баллах, не превышает 3 при среднемноголетнем показателе 6.7).

Если среднегодовая температура воды в слое 0–200 м превышает 3.4° С, то суммарная доля субдоминантных видов приближается к 50% или превышает это значение. Если в этот период поступление фосфора в минеральной форме преобладает над его поступлением с рыбой, а содержание растворенного органического вещества мало, доля аулякозеиры незначительно превышает 50%.

Если среднегодовая температура превышает значение 3.4°С, а концентрация растворенного органического вещества приближается к 1.2 мг О₂/л (при среднемноголетней – 0.8 мг О₂/л), доминирующим видом может стать *Cyclotella tripartita*.

Если среднегодовая температура превышает значение 3.4°С, а концентрация растворенного кремния выше среднемноголетней величины (1.38 мг/л), то доля *Stephanodiscus alpinus* может составлять около 50% и более от суммы субдоминантных видов.

Результаты диатомового анализа керна. Как уже говорилось выше все отобранные из керна образцы представляли собой практически чистый диатомовый ил, без или с очень незначительной примесью неорганических частиц. Поверхностный слой цвета охры с оранжевым оттенком имел вкрапления ржавого цвета, вероятно обогащенные оксидами железа. Повышенное по сравнению с водной толщей содержание железа в пограничном слое вода-ил отмечали и ранее (Сапожников и др., 2002).

Исследования проб из выделенных слоев керна показали, что на протяжении последних 2000 лет таксономический состав доминантного комплекса фитопланктона не изменился. Он представлен диатомовыми водорослями *Aulacoseira subarctica*, *Stephanodiscus alpinus*, *Stephanodiscus* sp., *Cyclotella tripartita*, *Cyclotella pseudostelligera*, *Synedra ulna*, *Synedra* cf. *tabulata*, *Fragilaria*-complex. По сравнению с современным составом в керне значительно выше доля мелкоклеточного *Stephanodiscus* sp. (рис. 3). Единично отмечены панцири и створки диатомовых родов *Achnanthes*, *Amphora*, *Cymbella*, *Denticula*, *Navicula*, *Nitzschia*, *Surirella*, а также цисты золотистых водорослей (Chrysophyta).

Произвольный выбор слоев и отсутствие их точной датировки позволяют говорить лишь об отдельных эпизодах формирования образцов (но не о периодах!), время прохождения которых может быть указано приблизительно.

Используя современные данные о влиянии абиотических условий на относительную численность компонентов фитопланктонного сообщества, можно выдвинуть ряд предположений об условиях формирования образцов керна. Образцы под номерами 7 и 11, в которых *Aulacoseira subarctica* составляет 80%, вероятнее всего, образовались, когда среднегодовая температура воды в слое 0–200 м была ниже 3.4 °C. С меньшей долей вероятности сюда же можно отнести образцы (1, 2, 6, 12, 14), в которых доля *Aulacoseira subarctica* составляет более 60%. Образцы 3, 4, 5, 8, 9, 10 и 13, в которых суммарная доля субдоминантных видов близка к 50% или превышает эту величину, были образованы во времена, когда среднегодовая температура воды в слое 0–200 м была выше или равна 3.4 °C.

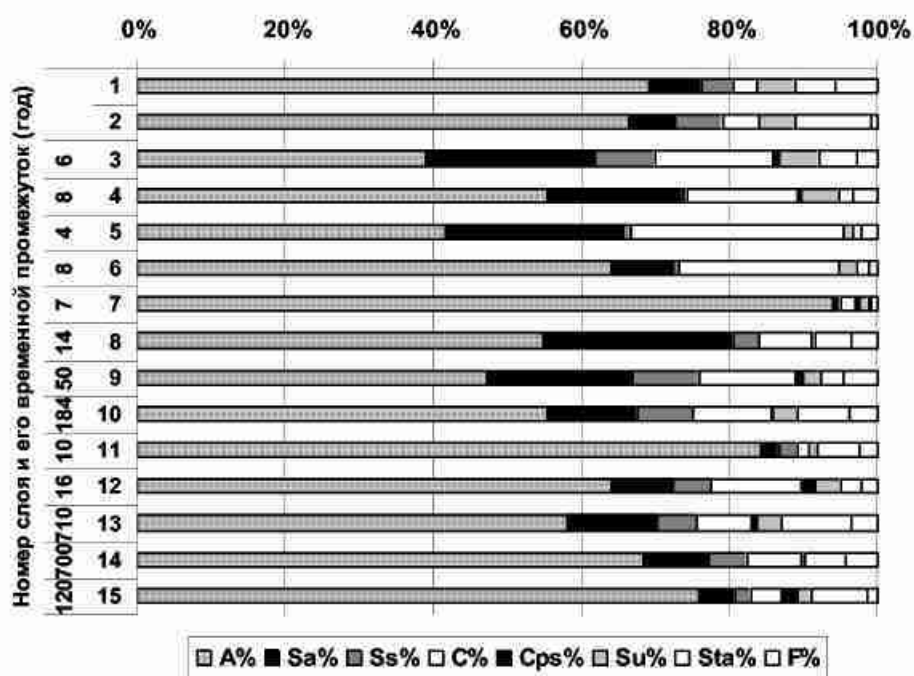


Рис. 3. Относительная численность водорослей структурообразующего комплекса в керне донного грунта оз. Курильское. Условные обозначения: A – *Aulacoseira subarctica*; Sa – *Stephanodiscus alpinus*; Ss – *Stephanodiscus* sp.; C – *Cyclotella tripartita*; Cps – *Cyclotella pseudostelligera*; F – *Fragilaria*-complex; Su – *Synedra ulna*; Sta – *Synedra* cf. *tabulata*.

Образцы 4, 5, 8, где 40–50% от общего числа клеток субдоминантных видов составляет *Stephanodiscus alpinus* (рис. 4), могли сформироваться в период, когда в воде озера концентрация кремния превышала 1.38 мг/л.

Высокое суммарное содержание *Synedra ulna*, *S. cf. tabulata* и *Fragilaria-complex* – около 50% (образцы 1, 2, 11, 15) было, вероятно, характерно для времени с относительно высоким содержанием растворенного органического вещества (более 0.8 мг O_2 /л). Такая же концентрация растворенного органического вещества была характерна и для времени отложения образцов с относительной численностью *Cyclotella tripartita* более 60% от суммы субдоминантных видов. Содержание в осадках *Cyclotella pseudostelligera* равное 5–10% от суммы субдоминантных видов является свидетельством активного влияния вулканической деятельности на экосистему оз. Курильское в начале XX века, а также 300 и 1800 лет назад.

О влиянии фосфорной нагрузки, которая в большей степени определяется внесением фосфора с рыбой и в меньшей – внесением стоком с водосбора, рассуждать пока преждевременно. Необходимо сначала выявить динамику нерестовых подходов нерки в озеро, исследуя содержание в слоях керна изотопа азота ^{15}N (накапливается в телах рыб в период морского нагула) и сравнить эти данные с результатами диатомового анализа.

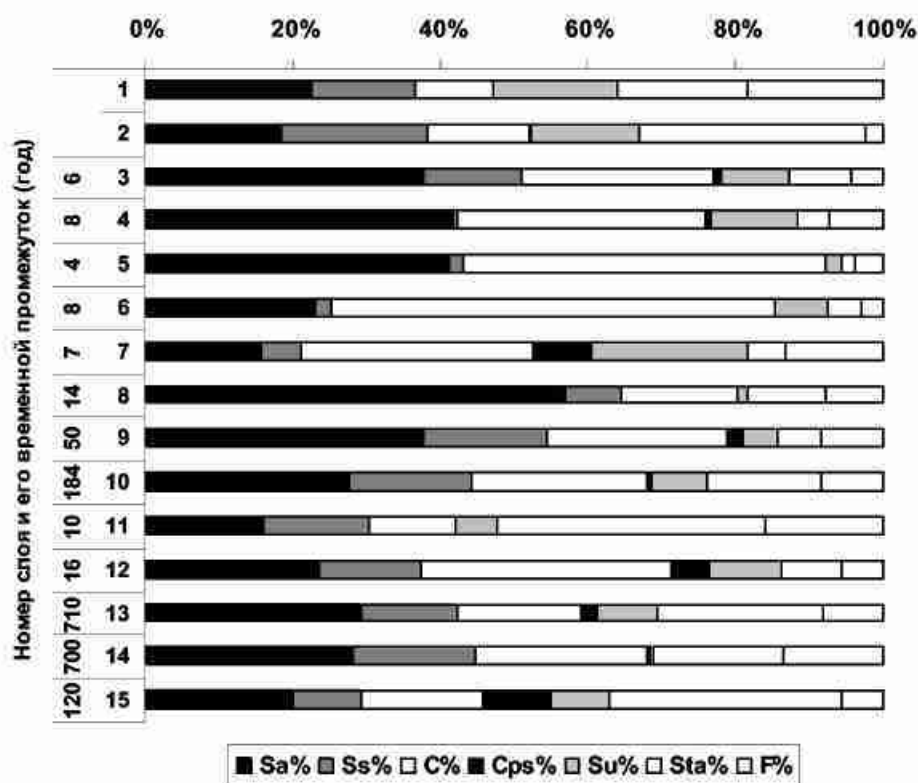


Рис.4. Относительная численность водорослей-субдоминантов 1-го и 2-го порядков.

Условные обозначения: Sa – *Stephanodiscus alpinus*; Ss – *Stephanodiscus* sp.; C – *Cyclotella tripartita*; Cps – *Cyclotella pseudostelligera*; F – *Fragilaria-complex*; Su – *Synedra ulna*; Sta – *Synedra cf. tabulata*.

Таким образом, первый довольно приблизительный опыт реконструкции абиотических условий в экосистеме оз. Курильское показал, что на протяжении почти 2000 лет в водоеме происходили заметные колебания термического режима и гидрохимической обстановки, которые могли провоцироваться как климатическими изменениями, так и притоком биогенных элементов с рыбой и пирокластическим материалом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бондаренко В.И. 1990. Сейсмоакустические исследования оз. Курильского // Вулканология и сейсмология. № 4. С. 97-111.

Бугаев В.Ф., Миловская Л.В., Лепская Е.В., Бонк Т.В., Сиротенко И., Осторумов А.Г. 2002. Исследование нерки *Oncorhynchus nerka* оз. Паланского в 1990–2001 гг. (северо-запад Камчатки) // Изв. ТИНРО. Т. 130. Ч. 2. С. 177–791.

Бухтиярова Л.Н. 1999. Bacillariophyta в биомониторинге речных экосистем. Современное состояние и перспективы использования // Альгология. Т. 9. № 3. С. 89–103.

Водоросли-индикаторы в оценке качества окружающей среды. 2000. М.: ВНИИприроды. 150 с.

Генкал С.И., Лупкина Е.Г. Лепская Е.В. 2004. *Cyclotella tripartita* Håkansson из озера Камчатки // Ботанический журн. Т. 89. № 3. С. 92–101.

Геодинамика и вулканизм Курило-Камчатской островодужной системы. 2001. Петропавловск-Камчатский: ИВГиГ ДВО РАН. 428 с.

Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные). 1974. Т. 1. Л.: Наука. 403 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. 2002. Особенности фито- и микропланктонного сообщества озера Курильское во второй половине 90-х годов XX века // Исследование водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. Вып. VI. С. 165-171.

Лепская Е.В. 2003. *Aulacoseira subarctica* (O. Müller) Haworth (Bacillariophyta) в озерах Камчатки // Матер. XI Съезда РБО. Барнаул: Азбука. С.121–122.

Лепская Е.В. 2004. Многолетняя динамика численности и биомассы фитопланктона озера Курильское и определяющие ее факторы // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. Вып. VII. С. 79–87.

Лепская Е.В. 2004а. Фитопланктон в экосистеме озера Курильское: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Петропавловск-Камчатский: Изд-во КамчатНИРО. 23 с.

Лепская Е.В., Уколова Т.К., Калинина И.Б., Свириденко В.Д. 2005. Органическое вещество озер Курильское и Паланское (Камчатка), его связь с элементами биоты // Чтения памяти В.Я. Леванидова. Владивосток: Дальнаука. Вып. 3. С. 199–213.

Сапожников В.В., Аржанова Н.В., Михайловский Ю.А., Уколова Т.К., Свириденко В.Д. 2002. Гидрохимические особенности озера Курильского // Водные ресурсы. Т. 29. № 4. С. 468–475.

Степанов В.В. 1986. Химический состав вод озера Курильского // Комплексные исследования озера Курильского. Владивосток: Изд-во ДВГУ. С. 134–142.

Уколова Т.К., Свириденко В.Д. 2002. Межгодовая динамика кислорода и биогенов в оз. Курильское в 1980–2000 гг. // Исследования водных биологических

ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. Вып. VI. С. 7–18

Abella S.E.B. 1988. The effect of the Mt. Mazama ashfall on the planktonic diatom community of lake Washington // *Limnol. and Oceanogr.* Vol. 33. № 6. Pt. 1. P. 1376–1385.

Finney, B.P., Gregory-Eaves I., Douglas M.S.V., Smol J.P. 2002. Fisheries productivity in the northeastern Pacific over the past 2,200 year // *Nature*. Vol. 416. № 18. P. 729–733.

Finney, B.P., Gregory-Eaves I., Sweetman J., Douglas M.S.V., Smol J.P. 2000. Impacts of climatic change and fishing on Pacific salmon abundances over the past 300 years // *Science*. Vol. 290. № 27. P. 795–799.

Genkal S.I., Lupikina E.G., Lepskaya E.V. 2002. *Cyclotella tripartita* Håkansson from the lakes of Kamchatka // Abstracts of 17th Int. Diatom Symposium (Ottawa, Canada, 2002). Ottawa. P. 41.

Genkal S.I., Lupikina E.G., Lepskaya E.V. 2004. *Cyclotella tripartita* Håkansson from the lakes of Kamchatka // Proceedings of the 17th Int. Diatom Symposium (Ottawa, Canada, 2002). P. 103–120.

Krammer K., Lange-Bertalot H. 1991. Bacillariophyceae 3 // *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Band 2/3. P. 576.

Lepskaya E.V. 2000. Common *Stephanodiscus* Ehr. species in salmon Kamchatka Lakes // Abstracts of 16th Int. Diatom Symposium (Athens, Greece 2000). P. 77.

Lepskaya E.V. 2001. Common *Stephanodiscus* Ehr. species in salmon Kamchatka Lakes // Proceedings of the 16th Int. Diatom Symposium (Athens, Greece, 2000). Athens: Amvrosiou Press. P. 333–346.

McDonald G.M., Edwards T.W.D., Moser K.A., Pienitz R., Smol J.P. 1993. Rapid response of treeline vegetation and lakes to past climate warming // *Nature*. Vol. 361. № 21. P. 243–246.

Pienitz R., Smol J.P., Last W.M., Leavitt P.R., Cumming B.F. 2000. Multi-proxy Holocene palaeoclimatic record from a saline lake in the Canadian Subarctic // *The Holocene*. № 10. P. 673–686.

Ponomareva V.V., Kyle P.R., Melekestsev I.V., Rinkleff P.G., Dirksen O.V., Sulerzhitsky L.D., Zaretskaia N.E., Rourke R. 2004. The 7600 (¹⁴C) year Kurile Lake caldera-forming eruption, Kamchatka, Russia: stratigraphy and field relationships // *J. of Volcanology and Geochemistry Research*. № 136. P. 199–222.

Seitzinger S.P., Sanders W.R. 1999. Atmospheric inputs of dissolved organic nitrogen stimulate estuarine bacteria and phytoplankton // *Limnol. and Oceanogr.* 44. №3. P. 721–730.