

УДК 561.26:551.8(571.56+571.65)

ДИАТОМОВЫЕ ВОДОРОСЛИ оз. ЭЛИКЧАН (СЕВЕРНОЕ ПРИОХОТЬЕ) И ИХ ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ РЕКОНСТРУКЦИИ РАЗВИТИЯ ЭКОСИСТЕМЫ ОЗЕРА ЗА ПОСЛЕДНИЕ 70 тыс. лет

**М. В. Черепанова¹, А. С. Авраменко¹, П. М. Андерсон², А. В. Ложкин³,
П. С. Минюк³, В. С. Пушкарь⁴**

¹Биолого-почвенный институт ДВО РАН, г. Владивосток

E-mail: cherepanova@ibss.dvo.ru

²Центр четвертичных исследований Вашингтонского университета, г. Сиэтл, США

E-mail: pata@u.washington.edu

³Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт ДВО РАН

им. Н. А. Шило, г. Магадан

E-mail: lozhkin@neisri.ru

⁴Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, г. Владивосток

E-mail: pushkar@fegi.ru

Прослежена эволюция диатомовой флоры оз. Эликчан за последние 70 тыс. лет. Установлена активная реакция диатомовых водорослей на колебания экологических параметров, позволившая выделить комплексы диатомей, которые были сопоставлены с морскими изотопными стадиями 1–4. На основе изучения экологической структуры диатомовых палеосообществ реконструированы условия развития диатомей и состояние озерной экосистемы в позднем плейстоцене и голоцене. Достоверность полученных выводов подтверждается корреляцией с данными других видов анализов (спорово-пыльцевого, тифрохронологического, радиоуглеродного AMS-датирования).

Ключевые слова: диатомовые водоросли, диатомовый анализ, озерные осадки, поздний плейстоцен, голоцен.

Озера с относительно непрерывным осадконакоплением являются наиболее информативными объектами для палеогеографических исследований. В озерных отложениях сохраняются летописи развития не только конкретного водоема, прилегающей к нему территории, но и глобальных изменений окружающей среды. Основная задача при интерпретации данных, полученных при изучении этих отложений, состоит в выявлении особенностей формирования осадков, обусловленных действием как региональных, так и глобальных факторов, а также оценке степени воздействия этих факторов на развитие озерных экосистем.

Комплексные исследования озерных отложений Северо-Востока Сибири ведутся с 1985 г., когда были подняты колонки из озер на водоразделе бассейнов Тихого и Северного Ледовитого океанов (Ложкин, Федорова, 1989; Лож-

кин и др., 2000). В настоящее время сведения об изменениях климата и растительности региона получены на основе изучения более 100 колонок озерных осадков (Позднечетвертичные..., 2002; Андерсон и др., 2004б).

Самыми длинными и детально изученными являются скважины, поднятые из оз. Эликчан-4 (60°44' с. ш., 151°52' в. д.). На основе анализа распределения спор и пыльцы в осадках озера были получены данные об изменениях климата и растительности региона в течение последних четырех морских изотопных стадий (Ложкин и др., 2010; Lozhkin, Anderson, 2011). Эти данные сопоставлены с результатами других видов анализов: радиоуглеродное AMS-датирование, палеокарпологический, тифрохронологический и др. (Ложкин и др., 2010).

Статья посвящена изучению диатомовых водорослей из осадков оз. Эликчан. Диатомеи – кремнистые организмы, широко распространенные в водоемах разного типа. Они чутко реагируют на изменения окружающей среды и фор-

мируют сообщества, характерные для конкретных экологических условий. В связи с этим диатомеи являются одной из наиболее информативных групп организмов при реконструкции палеогеографических событий (Жузе, 1961; Douglas, Smol, 1999; и др.).

Цель работы – на основе изучения экологической структуры современных и ископаемых диатомовых сообществ реконструировать историю развития экосистемы оз. Элиган за последние 70 тыс. лет.

Материалом для настоящего исследования послужили осадки трех скважин – Е4-1, Е4-2, Е4-13. Первые две подняты в юго-восточной части озера, где глубины превышают 19 м, а последняя – ближе к берегу, на глубине чуть более 5 м. Изученные отложения представлены алевритами с тонкой горизонтальной слоистостью, прослойями мелкозернистого песка и включениями растительных остатков. Во всех скважинах установлен прослой вулканического пепла, датированного 7650 ± 50 л. н. (Ложкин и др., 2004), являющийся маркирующим горизонтом в отложениях Северного Приохотья и Колымо-Индигирского района (Позднечетвертичные..., 2002).

Скв. Е4-1 и Е4-2 ($60^{\circ}43,869'$ с. ш., $151^{\circ}53,614'$ в. д.), находящиеся на расстоянии 20 м друг от друга, подняты в 233 м от северо-восточного берега озера в одном из наиболее глубоких участков дна его восточной части. Глубина озера в точках бурения 19,8 м. Керны скважин имели длину: Е4-1 – 787,5 см, Е4-2 – 546 см. Прослой белесого вулканического пепла установлен на глубине 192,5–194,5 см (Андерсон и др., 2004б).

Мощность осадков, пройденных скв. Е4-13 ($60^{\circ}44,083'$ с. ш., $151^{\circ}53,083'$ в. д.), 1032 см. Прослой вулканического пепла обнаружен в интервале 264–263 см, по керну скважины получены радиоуглеродные датировки (Ложкин и др., 2010). Отложения самой нижней части колонки представлены песком с гравием. Диатомеи изучены до глубины 1017 см.

Для более объективной интерпретации данных диатомового анализа были изучены современные диатомеи как из различных местообитаний в самом озере (планктон – 3 пробы, обрастатели – 3, поверхностный слой осадка – 5), так и из ручьев, впадающих в оз. Элиган-4 (планктон – 4 пробы, обрастатели – 2, поверхностный осадок – 3) (рис. 1).

Техническую обработку современного и ископаемого материала проводили по стандартной методике (Диатомовые..., 1974). Необходимо заметить, что подготовка постоянных препаратов из осадков осуществлялась одинаково для всех изученных образцов: навеска осадка – 1 г, после химической обработки к осадку приливали 50 мл дистиллированной воды, на покровное стекло 18×18 мм наносили 0,06 мл перемешанной взвеси. Это позволило провести сравнение изученных проб по содержанию створок диатомей и количеству таксонов (относительное видовое разнообразие для конкретного разреза). При этом использовались такие показатели, как количество створок и таксонов в одном горизонтальном ряду покровного стекла. Для более объективной характеристики видового богатства диатомей подсчитывали количество таксонов в 10 горизонтальных рядах.

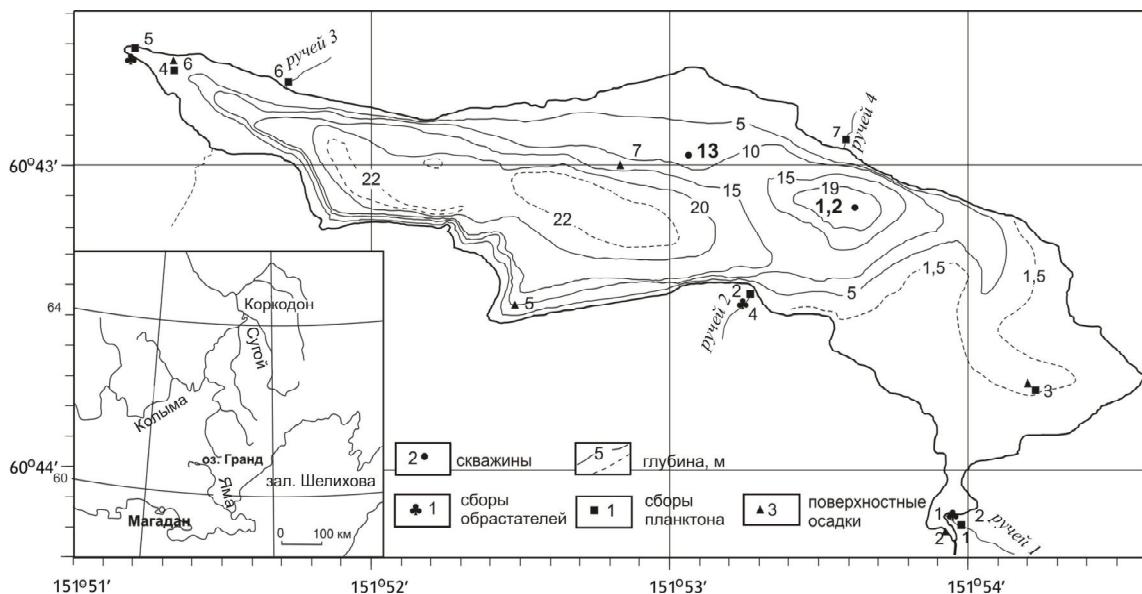


Рис. 1. Географическое положение оз. Элиган и местонахождение изученных скважин и точек сбора современного материала

Fig. 1. Study areas of Lake Elikchan and location of examined cores and points of collecting the contemporary material

Изучение водорослей, подсчет количества створок и таксонов в препарате проводили с помощью световых микроскопов (СМ) *Amplival Zeiss* и *Axioplan 40* с иммерсионной жидкостью при увеличении, кратном 2000, а микрофотографирование створок – в СМ *Axioplan 40* и в сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) *Carl Zeiss EVO 40* (Центр коллективного пользования БПИ ДВО РАН).

Подсчет и определение диатомей осуществляли в средней части стекла в горизонтальных рядах до 200–300 створок. Для выявления роли отдельных видов в сообществах было принято следующее подразделение диатомей: единичные диатомеи, створки которых составляют в осадках менее 1% от их общей численности, обычные – от 1 до 5%, массовые – более 5% створок. Диатомеи, составляющие в сообществе более 25% от общего числа индивидуумов, являются доминантами, а от 10 до 25% створок – субдоминантами (Давыдова, 1985).

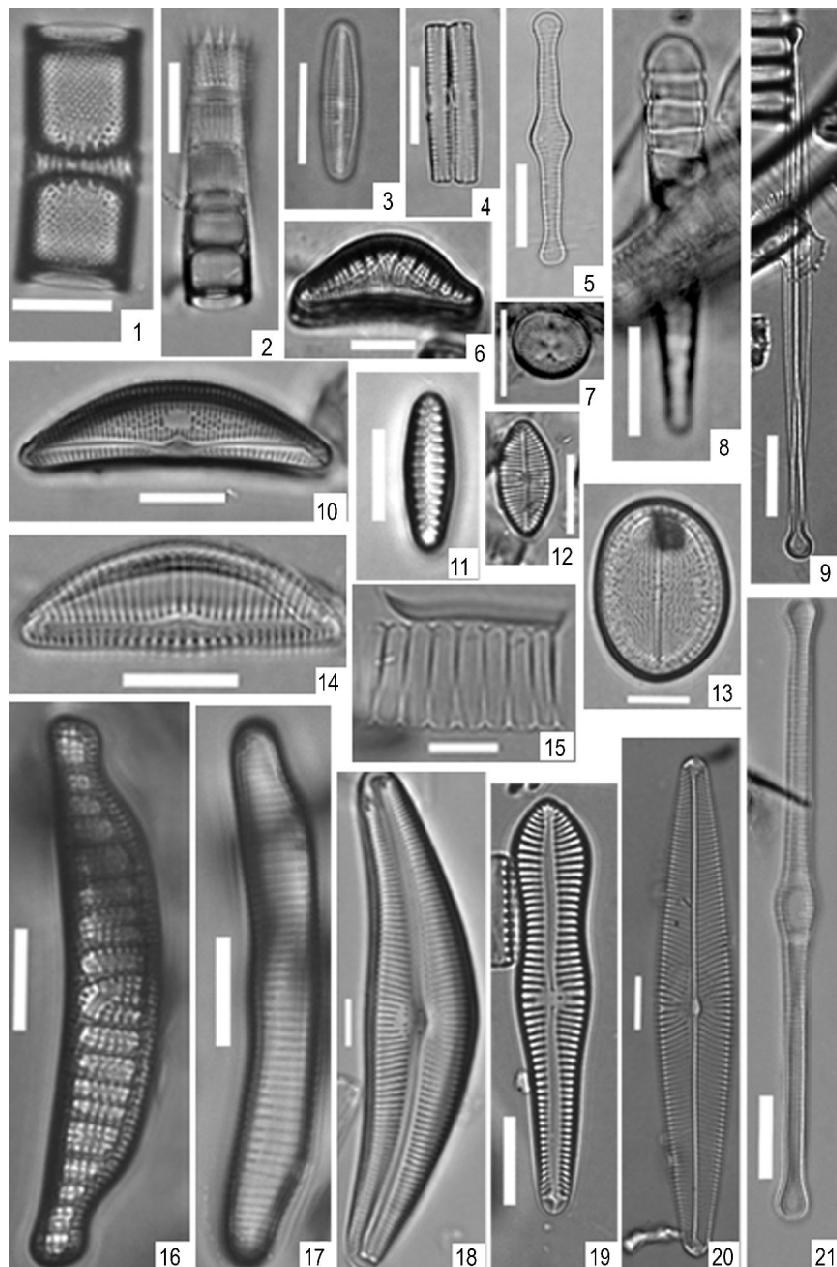
В работе используется классификация диатомей, принятая российскими диатомологами (Диатомовые..., 1988) с учетом ревизии ряда родов и видов (Krammer, Lange-Bertalot, 1986, 1988, 1991; Krammer, 2000, 2002, 2003). Экологогеографические характеристики таксонов взяты из перечисленных публикаций и монографии С. С. Бариновой с соавторами (2006).

Озеро Эликчан-4 относится к бассейну Охотского моря (см. рис. 1). Связанное с зоной тектонического разлома, пересекающей Охотско-Колымское междуречье в северо-западном направлении, оно дает начало р. Яма (Ложкин и др., 1995). Это самое крупное озеро среди озер, расположенных в глубокой долине у водораздела с бас. р. Колыма, поэтому оно имеет и второе название – Гранд. Его длина – 4,3 км, ширина – до 1,75 км, длина береговой линии – 11 км, максимальная глубина – 23 м. Озеро расположено на высоте 798,9 м н. у. м. К нему с южной стороны подходит низкая лесная терраса. Юго-восточная часть озера самая мелководная, северо-западная – глубоководная. Озеро олиготрофное. Донная растительность представлена рдестами, у берегов разрастаются хвостник и крупные осоки. Вода на мелких местах нагревается до +16°C, в глубоких – от +8° до +12°C. Лед устанавливается в начале октября и разрушается в начале июня (Харитонов, 2010). На крутых склонах окружающих озеро Майманджинских гор развиваются конусы выноса и обширные осыпи, сложенные преимущественно крупнообломочным материалом. Они формируют своеобразные «плотины», отделяющие озера друг от друга. Растительность вокруг озера представлена редкостойным лиственничным лесом с подлеском из кедрового стланика, ольховника, кустарниковой берескы (Ложкин и др., 2010).

Ранее современные диатомовые водоросли из оз. Эликчан изучали В. Г. Харитонов (2010) и М. В. Черепанова (2004). В своей монографии, посвященной диатомовой флоре различных водоемов Северо-Востока Сибири, исследование которой проводилось с 1971 г., В. Г. Харитонов (2010) приводит сведения для всех Эликчанских озер, без подразделения на конкретные водоемы. Общий таксономический список диатомей озер, по данным ученого, включает 269 таксонов.

В исследованном нами материале, отобранном из различных экотопов оз. Гранд (Эликчан), установлены 176 видовых и внутривидовых таксонов диатомей (фототаблица 1). Меньшее количество таксонов, прежде всего, объясняется тем, что в конспекте В. Г. Харитонова представлены данные по трем большим и нескольким малым водоемам, образующим группу Эликчанских озер.

Как показали наши исследования, в планкtonных диатомовых сообществах озера на глубинах более 1 м доминируют *Staurosirella pinnata* (Ehr.) Williams et Round (до 17,6%), *Staurosira construens* var. *venter* (Ehr.) Grun. (до 16,6%), *Staurosira construens* Ehr. (до 14,3%), *Tabellaria fenestrata* (Lyngb.) Kutz. (до 11,4%). В неглубоком заливе в западной части озера на глубине 40 см преобладают *Aulacoseira italica* (Ehr.) Sim. (51,9%) и *T. fenestrata* (18,4%), что свидетельствует о более высокой степени эвтрофности вод в этой части озера. Для доминирующих групп сообществ поверхности слоя осадков (танатоценозов) установлена практически аналогичная картина, хотя доминирование отдельных таксонов в них выражено гораздо ярче. В изученных танатоценозах преобладают *S. construens* (до 68,3%), *S. construens* var. *venter* (до 30,6%), *S. pinnata* (до 25,9%). Характерная особенность сообществ обрастателей – специфические экологические структуры, выявленные для каждого из изученных сообществ, что отражает своеобразие условий развития диатомей в конкретных точках отбора проб. Доминирующими таксонами в них являются *Aulacoseira subarctica* (O. Mull.) Haworth (до 27,9%), *A. italica* (до 46,0%), *T. fenestrata* (до 25,6%), *Asterionella formosa* Hass. (до 13,4%), *Epithemia adnata* (Kutz.) Breb. (до 20,8%), *Coccconeis placentula* Ehr. var. *placentula* (до 15,2%), *S. construens* (до 15,2%). В планкtonных сообществах ручьев к доминантам относятся *T. fenestrata* (73,3%), *Diatoma hyemalis* (Roth) Heib. (53,9%), *Tabellaria flocculosa* (Roth) Kutz. (14,0%), *A. subarctica* (11,5%). При этом формирование сообществ водной толщи происходит за счет диатомей перифитона, истинно планкtonных видов в ручьях не встречено. И еще одна уста-



Фототаблица 1. Современные диатомовые водоросли оз. Элиchan / Phototable 1. Recent diatoms from Lake Elikchan: 1 – *Aulacoseira italicica* (Ehr.) Sim.; 2 – *Aulacoseira subarctica* (O. Mull.) Haworth; 3 – *Achnanthidium minutissimum* (Kutz.) Czarnecki; 4 – *Fragilaria capucina* var. *vaucheriae* (Kutz.) Lange-Bertalot; 5 – *Tabellaria flocculosa* (Roth) Kutz.; 6 – *Epithemia sorex* Kutz.; 7 – *Cyclotella ocellata* Pant.; 8 – *Meridion circulare* (Grev.) C. A.; 9 – *Asterionella formosa* Hass.; 10 – *Amphora copulata* (Kutz.) Schoeman et Archibald; 11 – *Staurosirella pinnata* (Ehr.) Williams et Round; 12 – *Achnanthes oestrupii* (C.-E.) Hust.; 13 – *Cocconeis placentula* Ehr.; 14 – *Encyonema silesiacum* (Bleisch) Mann; 15 – *Staurosira construens* Ehr.; 16 – *Epithemia adnata* (Kutz.) Breb.; 17 – *Eunotia pectinalis* var. *undulata* (Ehr.) Hust.; 18 – *Cymbella cistula* (Hemp. et Ehr.) Kirchner; 19 – *Gomphonema acuminatum* Ehr.; 20 – *Navicula radiosa* Kutz.; 21 – *Tabellaria fenestrata* (Lyngb.) Kutz. CM. Масштаб 10 мкм / Scale bars = 10 mm

новленная особенность – в каждом из изученных водотоков, несмотря на относительную близость их расположения друг к другу, формируется своя, характерная для каждого ручья, диатомовая флора.

Сравнительный анализ наиболее часто встречающихся таксонов с диатомовыми из озер Аляски (Gregory-Eaves et al., 2000), Фенноморкандии (Weckstrom et al., 1997), Канады

(Pienitz, Smol, 1993) и Северной Сибири, вблизи г. Норильск (Michelutti et al., 2001), позволил сделать заключение, что диатомовая флора оз. Элиchan близка флорам озер лесной полосы.

Таким образом, установлено, что экологическая структура диатомовых танатоценозов формируется прежде всего за счет поступления створок из планктона сообществ, а также незначительного участия панцирь таксонов

из экотопов прибрежной зоны и водотоков, впадающих в озеро. В процессе диагенетических преобразований, биотурбации, транспортировки поверхностного взмученного слоя осадков в места окончательного осаждения течениями, существующими в озере, формируются тафоценозы – совокупности створок диатомей в осадках. В них концентрируются не только створки наиболее часто встречающихся диатомей планктона и бентоса, но и немногочисленных таксонов, вегетирующих короткое время или распространенных в немногих местообитаниях, а также диатомей, приносимых водами поверхностного стока. Вместе с тем в тафоценозах могут отсутствовать виды с нежной структурой створки, разрушающейся или растворяющейся в процессе седиментации. Несмотря на это, диатомовые тафоценозы являются уникальным по своей полноте палеонтологическим материалом, который может быть использован для интерпретации экологических условий водоемов в далеком прошлом.

Диатомовые водоросли из осадков оз. Элигчан

В осадках изученных колонок было определено 252 видовых и внутривидовых таксона диатомей (фототаблица 2).

На основе анализа изменений видового разнообразия, экологической структуры диатомовых палеосообществ, а также численности створок в осадках в скв. Е4-13 (рис. 2) и Е4-1 выделено три, а в скв. Е4-2 – два комплекса диатомей (рис. 3), сформировавшихся в различные климатические эпохи позднего плейстоцена и голоцене. Выделенные диатомовые комплексы отражают тенденции изменений климатических условий и связанных с ними колебаний уровня озера. Исследование, проведенное с высокой частотой отбора проб, позволило изучить реакцию диатомовых сообществ не только на значительные, продолжительные по времени колебания параметров среды обитания диатомей, но и на краткосрочные ее флуктуации. На основе анализа этих данных палеосообщества диатомей были объединены в *диатомовые экозоны*. Полученные результаты сопоставлены с морскими изотопными стадиями (МИС) (Imbrie et al., 1984), а также возрастной моделью палеогеографических событий, созданной для данного региона ранее (Ложкин и др., 2010; Lozhkin, Anderson, 2011).

Наиболее полно диатомовые комплексы изучены в скв. Е4-13 (см. рис. 2). В осадках самой нижней части скважины, сформировавшихся во время финальной фазы МИС 4, встречены единичные створки диатомей. Полученной информации недостаточно для объективной характеристики и обоснованного выделения комплекса диатомей. Тем не менее можно предпо-

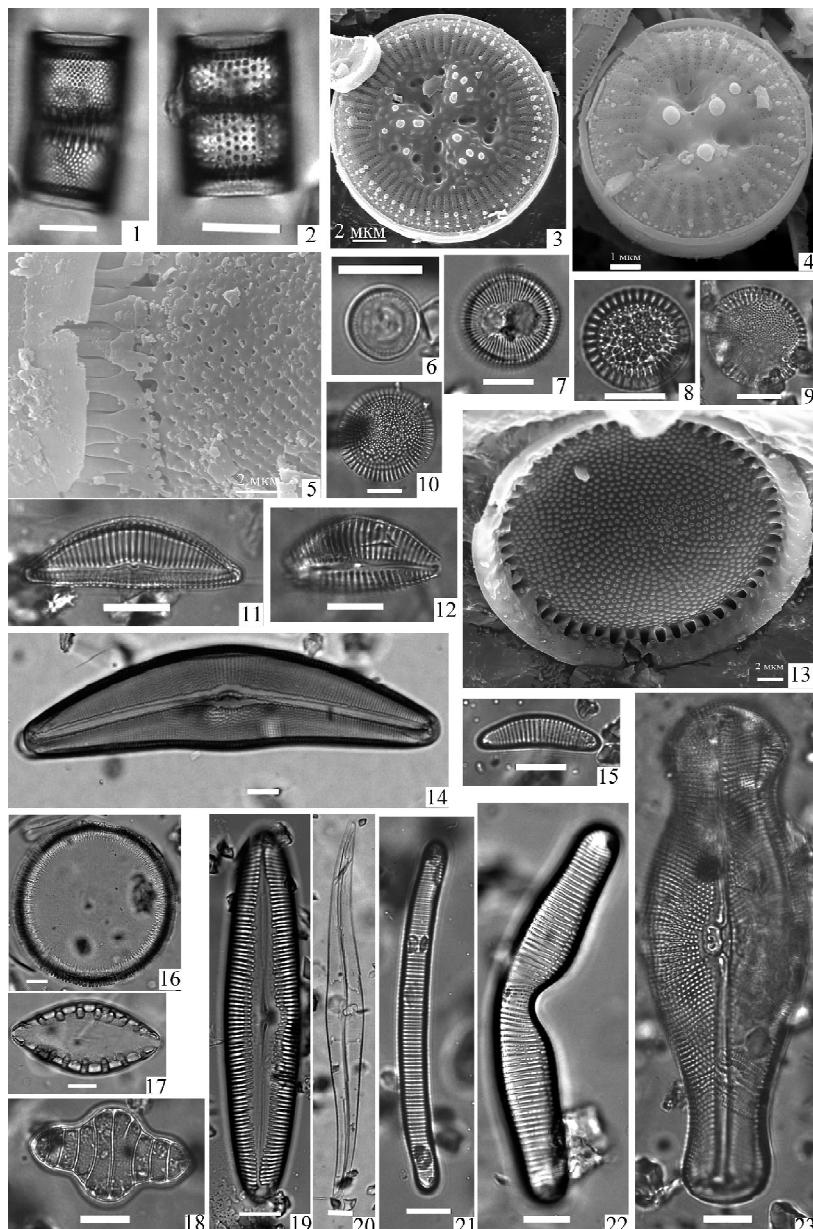
ложить, что незначительное количество диатомей в осадках свидетельствует о суровых, более холодных по сравнению с современными, условиях в регионе.

Для комплекса 3, выделенного в скв. Е4-13 и Е4-1 и соответствующего МИС 3, в целом характерно доминирование в восточной глубоководной части озера холодноводного *Pliocaenicus costatus* (Log., Lupik. et Churs.) Flower, Ozornina et Kuzmina (до 58,7%) и представителей рода *Cyclotella* (Kutz.) Breb. (до 61,2%), объединенных в комплекс *Cyclotella ocellata*: морфотипы *tripartita*, *kuetzingiana* и *ocellata* (Cherepanova et al., 2010). В осадках скважины, расположенной ближе к берегу, преобладают *Aulacoseira distans* (Ehr.) Sim. (до 76,9%) и *P. costatus* (до 54,7%). Для отложений, охарактеризованных этим комплексом, отмечено постепенное снижение количества створок и видового разнообразия диатомей вверх по разрезу. На фоне выявленной тенденции установлены флуктуации этих показателей, отражающие колебания температур и уровня озера во время МИС 3.

Для осадков нижней части интервала скв. Е4-13, сформировавшихся во время этой фазы стадии (см. рис. 2), характерны наиболее высокие для отложений МИС 3 концентрация створок и видовое богатство диатомей (до 90 таксонов в 10 рядах). Доминирует *P. costatus* (до 54,7%). Отмечается постепенное увеличение обилия *A. distans* (с 8,1 до 22,8%). Постепенно вверх по разрезу сокращается участие болотных видов рода *Eunotia* и увеличивается содержание представителей рода *Aulacoseira* (*A. distans*, *A. valida* (Grun.) Krammer, *A. subarctica*), что свидетельствует о повышении уровня озера и степениeutрофности его вод. Диатомовые палеосообщества этого интервала были объединены в *диатомовую экозону 3.1*, которая соответствует первой фазе раннего потепления, получившего название Элигчан-4 (Андерсон и др., 1998).

Выше по разрезу в скв. Е4-13 и Е4-1 концентрация створок в осадках и разнообразие диатомей снижаются. Палеосообщества диатомей, объединенные в экозону 3.2, отражают ухудшение условий для активного развития водорослей. Отложения могли формироваться во время кратковременного похолодания, установленного по палинологическим данным между двумя теплыми фазами раннего потепления Элигчан-4 (Ложкин и др., 2010).

В осадках, охарактеризованных *диатомовой экозоной 3.3* (скв. Е4-13, Е4-1), содержание створок увеличивается, постепенно повышается и разнообразие таксонов (до 84 в 10 рядах в скв. Е4-13). В палеосообществах доминирует *P. costatus*, но его участие снижается вверх по разрезу с 39,4 до 14,3%. Обилие *A. distans*, на-



Фототаблица 2. Ископаемые диатомовые водоросли оз. Эликан / Phototable 2. Fossil diatoms from Lake Elikchan: 1 – *Aulacoseira valida* (Grun.) Krammer; 2 – *Aulacoseira distans* (Ehr.) Sim.; 3, 6 – *Cyclotella* морфотип *tripartita*; 4 – *Cyclotella* морфотип *ocellata*; 5 – фрагмент створки с кольцом шипов по краю *Aulacoseira italicica* (Ehr.) Sim. (valve fragment with a ring of spines *Aulacoseira italicica* (Ehr.) Sim.); 7 – *Cyclotella michiganiana* Skv.; 8, 9, 10, 13 – *Pliocaenicus costatus* (Log., Lupik. et Churs.) Flower, Ozornina et Kuzmina; 11 – *Encyonema silesiacum* (Bleisch) Mann; 12 – *Cymbella leptoceros* (Ehr.) Kutz.; 14 – *Cymbella aspera* (Ehr.) Cl.; 15 – *Eunotia minor* (Kutz.) Grun.; 16 – *Ellerbeckia teres* (Brun) Crawford; 17 – *Surirella linearis* var. *lacus karluki* Manguin; 18 – *Tetracyclus glans* (Ehr.) Mills; 19 – *Pinnularia hemiptera* (Kutz.) Rabenh.; 20 – *Gyrosigma acuminatum* (Kutz.) Rabenh.; 21 – *Eunotia glacialis* Meister; 22 – *Eunotia monodon* Ehr. var. *monodon*; 23 – *Didymosphenia geminata* (Lyngb.) M. Schm.; 1, 2, 5–12, 14–23 – CM. 3, 4, 13 – СЭМ. Масштаб 10 мкм / Scale bars = 10 mm

оборот, увеличивается с 3,4 до 73,1%. В самой верхней части интервала повышаются оценки обилия представителей рода *Eunotia* (*E. monodon* Ehr. и *E. glacialis* Meister до 16,3%), а также *Pinnularia hemiptera* (Kutz.) Rabenh. (6,9–9,2%). Экологическая структура палеосообществ диатомей указывает на постепенное понижение уровня озера, связанное с ним увеличение площади мелководной зоны и ее забо-

лачивание. Охарактеризованные палеосообщества могли формироваться в заключительную фазу потепления Эликан-4. Споро-пыльцевые спектры из осадков этого времени показывают, что климатические условия были близки климату переходного периода от неоплейстоцена к голоцену (Ложкин и др., 2010).

Вверх по разрезу в скв. Е4-13 концентрация створок в осадках резко сокращается, умень-

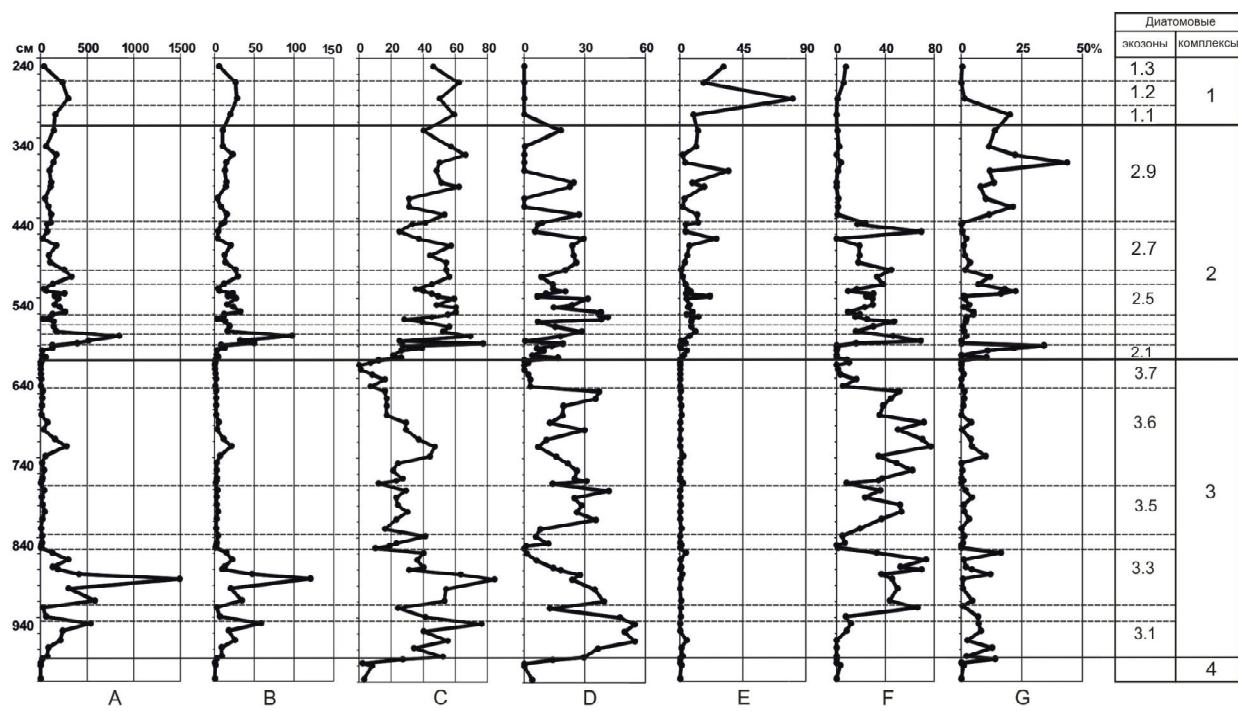


Рис. 2. Диатомовая диаграмма скв. Е4-13: количество створок (А) и таксонов (В) диатомей в одном горизонтальном ряду; количество таксонов в 10 горизонтальных рядах (С); распределение доминирующих таксонов по разрезу, %: D – *Pliocaenicus costatus*, E – таксоны комплекса *Cyclotella ocellata*, F – *Aulacoseira distans*, G – *Eunotia monodon* var. *monodon*. Исследовался препарат с покровным стеклом 18? 18 при увеличении, кратном 2000

Fig. 2. Diatom diagram of core E4-13: quantity of diatom valves (A) and taxa (B) in 1 transect; quantity of diatom taxa in 10 transects (C); distribution of dominating taxa along the core, %: D – *Pliocaenicus costatus*, E – taxa of the *Cyclotella ocellata* complex, F – *Aulacoseira distans*, G – *Eunotia monodon* var. *monodon*. The preparations with a 18? 18 cover glass were investigated at the ?2000 magnification

шается разнообразие диатомей, изменяется экологическая структура палеосообществ. Они становятся полидоминантными. Высокие оценки обилия имеют обрастатель *Cymbella arctica* (Lagerst.) Schm. (до 11,9%), донные *Eucocconeis flexella* (Kutz.) Meister (до 23,1%), *P. hemiptera* (до 17,9%), *Didymosphenia geminata* (Lyngb.) M. Schm. (до 12,6%). Палеосообщества этого интервала объединены в экозону 3.4, которая соответствует раннему похолоданию позднего плейстоцена, обоснованного для Западной Берингии серией радиоуглеродных датировок и палинологическими данными, полученными для отложений в районе находки мамонтенка Димы. Этот процесс был назван киргияхским похолоданием – 45–39 тыс. л. н. (Шило и др., 1983).

В осадках, соответствующих экозоне 3.5, содержание створок немного увеличивается, хотя его показатели гораздо меньше, чем в осадках, сформировавшихся во время потепления Элигчан-4. Для отложений интервала характерны бидоминантные палеосообщества, в которых преобладают *A. distans* (до 52,9%) и *P. costatus* (до 41,8%). Высокие оценки обилия имеют: болотная *Eunotia minor* (Kutz.) Grun. (до 14,9%), обрастатели *Cymbella aspera* (Ehr.) Cl. (до 11,1%), *C. arctica* (9,2%), *Encyonema silesiacum* (Bleisch.) Mann (9,8%), донные *Diploneis elliptica* (Kutz.) Cl. (до 24,4%), *P.*

hemiptera (до 8,3%). Скорее всего, представленное сообщество отражает условия мелководья, для которого был характерен активный гидродинамический режим. Охарактеризованный интервал, по данным геохронологического датирования, соответствует малохетскому потеплению (Кинд, 1974). Вместе с тем данные диатомового анализа свидетельствуют о том, что климатические условия в это время были более суровыми по сравнению с климатом потепления Элигчан-4 и тем более современным. Аналогичный вывод получен и по результатам палинологического анализа отложений этого возраста (Ложкин и др., 2010).

Для интервала осадков экозоны 3.6 установлена тенденция к некоторому увеличению концентрации створок к средней его части с последующим ее сокращением. Видовое разнообразие относительно невысокое. Палеосообщества в основном бидоминантные, в них преобладают *A. distans* (до 45,9%) и *P. costatus* (до 42,2%). Наряду с доминирующими таксонами, обильны болотные представители рода *Eunotia* (*E. glacialis*, *E. monodon* – 10,0%, *E. minor* – 4,2%), северо-альпийский планктонный обитатель олиготрофных водоемов *Aulacoseira subarctica* (4,2%). В верхней части интервала субдоминантом становится *P. hemiptera* (27,1%). Осадки интервала формировались во

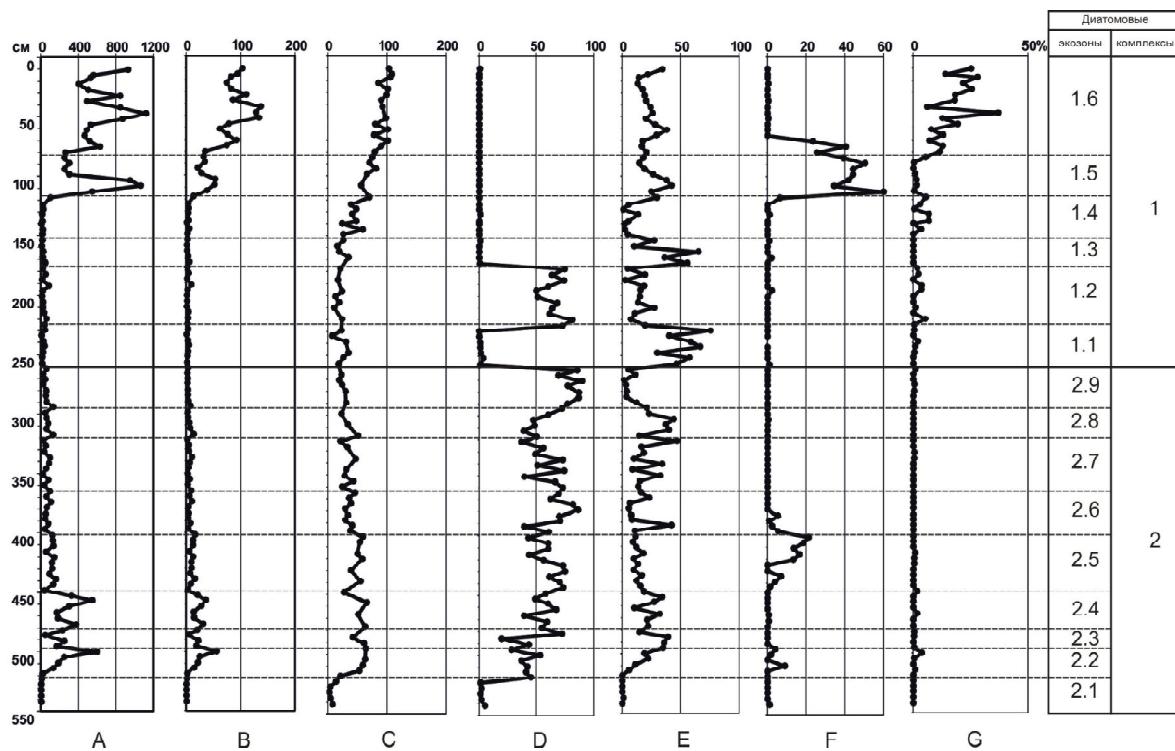


Рис. 3. Диатомовая диаграмма скв. Е4-2: количество створок (А) и количество таксонов диатомей (В) в одном горизонтальном ряду; количество таксонов в 10 горизонтальных рядах (С); распределение доминирующих таксонов по разрезу, %: Д – *Pliocaenicus costatus*, Е – таксоны комплекса *Cyclotella ocellata*, F – *Aulacoseira subarctica*, G – *Staurosira construens* + var. *venter*. Исследовался препарат с покровным стеклом 18?18 при увеличении, кратном 2000

Fig. 3. Diatom diagram of core E4-2: quantity of diatom valves (A) and taxa (B) in 1 transect; quantity of diatom taxa in 10 transects (C); distribution of dominating taxa along the core, %: D – *Pliocaenicus costatus*, E – taxa of the *Cyclotella ocellata* complex, F – *Aulacoseira subarctica*, G – *Staurosira construens* + var. *venter*. The preparations with a 18?18 cover glass were investigated at the ?2000 magnification

время, соответствующее палинозоне 7 скв. Е4-13, климатические условия которого, по палинологическим данным, были суровее современных (Ложкин и др., 2010). По данным радиоуглеродного датирования, экозона 3.6 соответствует конощельскому похолоданию (Кинд, 1974). Оно считается одним из самых драматических этапов каргинского времени. В этот период произошли крупные подвижки горных ледников (Лаухин и др., 2006; Laukhin, 1997). Тем не менее в районе исследований это похолодание, похоже, не проявилось так ярко.

В верхней части интервала, охарактеризованного комплексом 3 в скв. Е4-13, происходит резкое сокращение концентрации створок диатомей в осадках. Диатомеи в основном представлены единичными створками, в отдельных пробах отмечено незначительное увеличение обилия *Didymosphenia geminata*, *P. costatus*, *A. distans*. Возможно, увеличилось поступление терригенного материала в озеро, вызванное понижением базиса эрозии ручьев, впадающих в озеро.

В целом в отложениях, охарактеризованных диатомовым комплексом 2 (скв. Е4-1, Е4-2, Е4-13) и сформировавшихся во время МИС 2,

резкое сокращение численности створок выявлено лишь на начальном этапе стадии, затем оно возрастает и соответствует показателям, установленным для МИС 3. Доминируют те же таксоны, причем высокие показатели обилия *P. costatus* (до 92,9%) и представителей рода *Cyclotella* (до 71,2%) в глубокой части озера отмечаются в противофазе, что свидетельствует о разных экологических предпочтениях этих таксонов и, соответственно, различных условиях среды в периоды активного развития данных видов. В прибрежной зоне одним из доминантов также является *P. costatus* (до 38,0%), но преобладает в палеосообществах *A. distans* (до 68,6%). Вместе с тем выбранные для интерпретации диатомовые критерии: содержание створок в осадках, видовое богатство, особенности экологической структуры палеосообществ, ведут себя неоднозначно. Анализ их изменений позволил выделить в интервале осадков, охарактеризованных диатомовым комплексом 2, несколько диатомовых экозон, которые соответствуют пыльцевым зонам, отмеченным для данной скважины (Ложкин и др., 2010). Наиболее представительная информация получена для скв. Е4-13 и Е4-2.

Для осадков экозоны 2.1 в скв. Е4-13 (см. рис. 2) характерно некоторое увеличение содержания створок. Экологическая структура палеосообществ диатомей непостоянна. В нижней части интервала доминируют обитатели дна, встречающиеся на небольших глубинах: *Gyrosigma acuminatum* (Kutz.) Rabenh. (44,8%), *Neidium ampliatum* (Ehr.) Krammer (30,3%), *Navicula pupula* var. *baicalensis* Skv. (25,7%). Выше по разрезу происходит смена доминантов, ими становятся обрастатель *Cymbella aspera* (25,6%) и болотная *E. monodon* (21,7%). Для осадков центральной части озера (скв. Е4-2) отмечены низкие показатели содержания створок диатомей (см. рис. 3), но в отложениях также встречена *Gyrosigma acuminatum* (до 10,0%). Следовательно, установленная смена диатомовых палеосообществ отражает тенденцию возможного постепенного обмеления озера и некоторого заболачивания прибрежной зоны. Скорее всего, в это время центральная часть озера на долгое время покрывалась льдом и диатомеи более активно развивались на мелководье.

В осадках, соответствующих диатомовой экозоне 2.2, содержание створок в скв. Е4-13 резко возрастает. В пробе с глубины 600 см доминируют литоральная *Ellerbeckia teres* (Brun) Crawford (37,6%) и *E. monodon* (34,0%). К. Краммером и Х. Ланге-Берталотом *E. arenaria* f. *teres* (Brun) Crawford (название таксона, использованное авторами, переведенное в настоящее время в синонимику *E. teres*) отмечена как ископаемый таксон (Krammer, Lange-Bertalot, 1991). Вместе с тем родственная этому таксону форма *E. arenaria* f. *arenaria* (Moore) Crawford характерна для аэальных экотопов (Krammer, Lange-Bertalot, 1991), возможно и древняя форма могла иметь сходные экологические характеристики. Тем более что вид *E. teres* встречен в оз. Байкал на мелководье и определен как литорально-планктонный (Поповская и др., 2011). Выше по разрезу доминирует *A. distans* (до 68,6%), субдоминантами являются *P. costatus* (до 19,1%) и *A. valida* (до 18,8%). Для палеосообществ глубоководной зоны (скв. Е4-1, Е4-2) характерно доминирование *P. costatus* (до 45,0%), субдоминант *A. valida* (до 26,4%), высокие оценки обилия (до 11,0%) имеет *Cyclotella* морфотип *tripartita*. Активное развитие диатомей свидетельствует о благоприятных условиях. Скорее всего, температуры поверхностных вод были выше, чем во время формирования осадков экозоны 2.1. Палеосообщества зоны фиксируют и повышение уровня воды в озере. Диатомовая экозона 2.2 соответствует пыльцевой зоне 5d (Ложкин и др., 2010).

Выше по разрезу скв. Е4-13 концентрация створок в осадках несколько уменьшается.

Отмечена тенденция к снижению видового разнообразия. Доминируют *A. distans* (до 47%), субдоминанты – *P. costatus* (до 15,4%), *P. hemiptera* (до 14,3%). В глубоководной части содержание створок в осадках остается высоким. Доминируют *P. costatus* (до 52,9%) и *C. ocellata* морфотип *tripartita* (до 39,0%). Палеосообщества интервала объединены в диатомовую экозону 2.3 и отражают менее благоприятные условия для развития диатомей и некоторое понижение уровня озера.

Концентрация створок и видовое разнообразие увеличиваются вверх по разрезу. Доминирует *P. costatus* (до 38,0%). В качестве субдоминанта выступает *A. distans* (до 24,9%). Ископаемые сообщества экозоны 2.4 отражают некоторое улучшение условий развития диатомей во время похолодания и соответствуют пыльцевой зоне 5c (Ложкин и др., 2010).

Содержание створок диатомей в осадках диатомовой экозоны 2.5 в скв. Е4-13 уменьшается, невысоко и видовое разнообразие таксонов. Для интервала характерны бидоминантные сообщества, в которых преобладают *P. costatus* (до 31,4%) и *A. distans* (до 30,0%), обильны *A. valida* (до 13,7%), а также представители рода *Cyclotella*: морфотипы *tripartita* (до 13,2%) и *kuetzingiana* (до 7,9%), которые с этого времени устойчиво присутствуют в вышележащих осадках. Относительно высокие оценки обилия имеют *E. monodon* (до 17,9%), *E. glacialis* (до 8,2%), *E. minor* (до 5,4%), *P. hemiptera* (до 12,2%). Представленные палеосообщества свидетельствуют о небольшом понижении уровня озера. Морфологическое разнообразие представителей рода *Cyclotella*, скорее всего, отражает ярко выраженные амплитуды колебаний температурных условий по сезонам, а общее доминирование таксонов из рода *Cyclotella* – обитателей олиготрофных вод – прохладный климат и низкое содержание питательных веществ в воде.

В осадках экозоны 2.6 в скв. Е4-13 количество створок увеличивается. В палеосообществах доминирует *A. distans* (до 44,6%), субдоминантами являются *A. valida* (21,1%), *P. costatus* (20,3%), *E. glacialis* (13,3%), *E. monodon* (11,8%). Данная зона соответствует пыльцевой зоне 5b (Ложкин и др., 2010).

Очередное сокращение содержания створок отмечено для осадков диатомовой экозоны 2.7 в скв. Е4-13. В палеосообществах экозоны с более высокими оценками обилия встречается *P. costatus* (до 29,3%), несколько отстает от него *A. distans* (до 18,7%). В палеосообществах верхней части интервала возрастает участие представителей рода *Cyclotella*: морфотип *tripartita* (17,1%) и морфотип *kuetzingiana* (8,8%), а на глубине 457 см лидирующие пози-

ции занимает *A. distans* (69,1%). Частые изменения экологической структуры диатомовых ископаемых сообществ, скорее всего, указывают на нестабильные температурные условия водоема.

В палеосообществах *диатомовой экозоны 2.8* в скв. Е4-13 происходят изменения в доминирующей группе, по-прежнему в ней остается *A. distans* (до 23,4%), но появляется *P. hemiptera* (до 21,8%), относительно высокие оценки обилия имеют *Pinnularia maior* (Kutz.) Cl. (до 11,9%), *Neidium iridis* (Ehr.) Cl. (до 10,3%). Палеосообщества, в которых доминируют обитатели мелководья и высоко видовое разнообразие представителей этой экологической группы, отражают активное развитие диатомей в прибрежных районах озера. Можно говорить о более теплых условиях, но при этом уровень озера, вероятно, был ниже современного. Отсутствие болотных диатомей может свидетельствовать о небольшом количестве атмосферных осадков, выпадавших в это время в районе исследования. Данная экозона соответствует пыльцевой зоне 5а (Ложкин и др., 2010) и, возможно, кокоревскому потеплению Сибири (Кинд, 1974).

В целом характерной особенностью палеосообществ *диатомовой экозоны 2.9* в скв. Е4-13 являются высокие оценки обилия *E. monodon*, которая постепенно к верхней части интервала выходит в группу доминантов с оценками обилия до 43,6%, в то время как для нижней части интервала отмечено чередование палеосообществ с доминированием *P. maior* (до 51,7%) и *P. costatus* (до 34,4%). С глубины 381 см (скв. Е4-13) в палеосообществах высокие оценки обилия имеют представители рода *Cyclotella*: морфотипы *kuetzingiana* (до 21,0%) и *tripartita* (до 13,4%). Наряду с болотными видами, разнообразны и относительно обильны донные таксоны и обрастатели *Cymbella subaequalis* Grun. (5,2%), *Navicula pupula* var. *baicalensis*, *Amphora copulata* (Kutz.) Scholman et Archibald (4,1%), *Amphora pediculus* (Kutz.) Grun. (3,1%), *Diploneis elliptica* (6,6%) и др.

Для экологической структуры диатомового комплекса 1 (скв. Е4-1, Е4-2, Е4-13), соответствующего МИС 1, установлена постепенная смена доминантов. В нижней части интервала осадков, охарактеризованного данным комплексом, еще преобладает *Cyclotella* морфотип *tripartita* Нек. (до 89,7%), в средней – ее замещает *Aulacoseira subarctica* (до 59,9%), а в верхней доминирующей становится *S. construens* (до 37,0%), характерная для современных сообществ.

Для осадков *диатомовой экозоны 1.1* в скв. Е4-2 присущи низкие показатели количества

створок. В доминирующую группу входят морфотипы *tripartita* (до 75,1%) и *kuetzingiana* (до 35,0%). Остальные таксоны встречены с низкими оценками обилия. Исключение составляют *E. minor* (5,4%) и *Hannaea arcus* (Ehr.) Patrick (4,9%) в пробе № 248. В прибрежной зоне (скв. Е4-13) содержание створок в осадках, наоборот, немного увеличивается. Характерной особенностью палеосообществ данной экозоны является частая смена состава доминирующей группы, в которую на разных глубинах интервала входят *A. valida* (40,8%), *E. monodon* (20,0%), *Cyclotella michiganiana* Skv. (21,0%), *P. costatus* (18,1%), *E. monodon* (13,8%), *Ellerbeckia arenaria* f. *teres* (12,1%). Незначительное содержание створок в осадках, доминирование холодноводных обитателей олиготрофных вод рода *Cyclotella*, а также резкие и частые изменения экологической структуры палеосообществ свидетельствует о низких по сравнению с современными температурах, а присутствие реофилы *H. arcus* – об усилении влияния речного стока. Выделенная диатомовая экозона соответствует пыльцевой зоне 4 (Ложкин и др., 2010).

Особенность палеосообществ *диатомовой экозоны 1.2* – появление в скв. Е4-1, Е4-2 (см. рис. 2, 3) в качестве доминирующего таксона *P. costatus* (до 81,3%). Участие остальных таксонов невелико. Содержание створок в осадках остается невысоким. Изменения в доминирующей группе могут быть обусловлены двумя причинами:

уровень озера поднялся в результате поступления талых вод. В этом случае с этими водами произошла инвазия в оз. Эликчан *P. costatus*. По данным, полученным ранее, уровень озера в boreальное время был выше современного на 2–2,5 м (Андерсон и др., 2004a); таксон мог появиться в озерных осадках в результате размыва более древних отложений с высоким содержанием *P. costatus*.

Концентрация створок в осадках *диатомовой экозоны 1.3* в скв. Е4-2 продолжает оставаться невысоким, показатели видового разнообразия низкие – от 26 до 35 таксонов в 10 рядах. Доминируют морфотипы комплекса *Cyclotella ocellata* – *tripartita* (до 64,9%) и *kuetzingiana* (до 27,3%). Относительно высокие оценки обилия имеют *A. distans* (до 10,5%), *H. arcus* (до 10,2%), причем присутствие последнего таксона в палеосообществах интервала постоянно. И в осадках мелководной зоны также в монодоминантных палеосообществах интервала преобладают створки морфотипов *tripartita* и *ocellata* (до 69,9%). Скорее всего, уровень озера понижается, ярче выражено влияние речного стока, тогда как участие собственно озерной флоры диатомей в формировании

нии тафоценозов уменьшается. Температуры были ниже современных.

Диатомовую экозону 1.4 можно считать переходной к современному состоянию озерной экосистемы. Содержание створок диатомей в осадках остается низким, но видовое разнообразие высокое. Доминирует *A. subarctica* (до 31,9%), с высокими оценками обилия встречаются морфотип *kuetzingiana* (до 14,8%), реофил *H. arcus* (до 9,5%). Палеосообщества этой зоны фиксируют, пожалуй, самое низкое стояние уровня озера. Именно в это время в самом начале атлантического периода произошло понижение уровня озера на 3,3 м, по сравнению с современным, которое было вызвано похолоданием климата (Anderson и др., 2004а).

Диатомовая экозона 1.5 отражает постепенную перестройку экосистемы озера и переход ее к современному состоянию. Содержание створок в осадках скв. Е4-1, Е4-2 резко и значительно увеличивается, высоким становится и видовое разнообразие (до 101 таксона в 10 рядах). Доминируют *A. subarctica* (до 59,9%) и морфотипы *ocellata* и *tripartita* (до 41,9%). Относительно обильны обрастатели, среди них *Epithemia turgida* (Ehr.) Kutz. (до 10,1%), появляется *S. construens* (до 9,4%). Палеосообщества отражают повышение температур и уровня озера, вызвавшее увеличение площади мелководной зоны, в пределах которой начала развиваться водная растительность, служившая экотопом для обрастателей. Данные диатомового анализа совпадают с результатами, полученными ранее (Anderson и др., 2004а), согласно которым подъем уровня озера начался в атлантический период.

Для диатомовой экозоны 1.6 характерны высокие содержания створок в осадках и видовое разнообразие. В палеосообществах доминируют представители комплекса морфотипов *Cyclotella* (до 37,9%), активно развивается *S. construens* (до 17,6%) с вариететами *venter* (до 17,3%) и *binodis* (Ehr.) Hust. (до 2,0%), массовыми являются *E. turgida* (до 10,0%), *Cocconeis placentula* var. *euglypta* (до 8,1%), *T. fenestrata* (до 7,6%), *Epithemia sorex* Kutz. (до 5,0%). Особенность палеосообществ диатомей, формировавшихся в это время, – высокие оценки обилия обрастателей, что свидетельствует о развитии водной растительности в прибрежной зоне. Экосистема озера приобретает современный облик в суббореальную фазу голоценена.

ВЫВОДЫ

Прослежена эволюция диатомовой флоры оз. Элигчан в течение последних 70 тыс. лет. Выделенные комплексы и экозоны диатомей сопоставлены с изменениями среды, происходив-

шими в это время. Отмечается активная реакция диатомовой флоры на колебания экологических параметров. Достоверность полученных выводов подтверждается корреляцией с данными спорово-пыльцевого анализа и радиоуглеродного AMS-датирования (Ложкин и др., 2010; Lozhkin, Anderson, 2011).

Реакция диатомовых сообществ на климатические флуктуации выражалась в основном в увеличении продуктивности и разнообразия диатомей в теплые и уменьшении этих показателей в холодные периоды. Это показывают изменения в содержании створок диатомей в осадках. Так, на начальной стадии каргинского межледникова во время потепления Элигчан-4 концентрация створок в осадках и разнообразие таксонов значительно увеличиваются по сравнению с осадками, сформировавшимися во время МИС 4. Вместе с тем эта тенденция сохраняется не всегда. В переходный период от неоплейстоцена к голоцену концентрация створок и видовое разнообразие невысокие. Это обусловлено более интенсивным воздействием других факторов. В данном случае – поступлением с талыми водами больших объемов терригенного материала.

По изменению содержания створок в осадках можно судить не только о значительных долговременных изменениях температуры поверхности вод, но и о внезапных кратковременных палеоклиматических флуктуациях, соответствующих событиям Дансгаарда – Ошгера, D/O-событий (Dansgaard et al., 1993). Подтверждение этому – диатомовые экозоны 2.2, 2.4, 2.6, 2.8, выделенные в объеме комплекса 2, соответствующего МИС 2, последней ледниковой стадии.

Высокие оценки обилия в палеосообществах, сформировавшихся во время МИС 3 и 2, *Pliocaenicus costatus* – вида, который доминировал в голоценовых тафоценозах (Cherepanova et al., 2010) и часто встречается в современных сообществах диатомей оз. Эльгыгытгын (Cremer et al., 2005), расположенного за полярным кругом, в озерах Полярного Урала (Ярушина, Генкал, 2007), горных водоемах Восточной Сибири (Генкал и др., 2011), могут говорить о том, что температура поверхностных вод в период «теплой» МИС 3 в отдельные ее фазы была ниже современной.

P. costatus в миоценовое и плиоценовое время имел обширный ареал, охватывающий территорию от современной Германии до п-ова Камчатка (Flower et al., 1998). В настоящее время площадь распространения этого таксона сильно сократилась (Генкал и др., 2011). Учитывая тот факт, что *P. costatus* начинает постепенно исчезать из палеосообществ оз. Элигчан на границе МИС 2 и 1, можно предположить, что

именно изменение условий на рубеже самого мощного похолодания в четвертичной истории нашей планеты и голоценового периода обусловило сокращение ареала этого таксона.

Активное развитие диатомей в течение всей МИС 2, соответствующей похолоданию плеистоцена, свидетельствует об отсутствии постоянного, круглогодичного ледостава на озере даже в самые холодные фазы этой стадии. Это подтверждает точку зрения О. Ю. Глушкиной (Glushkova, 2001) о том, что во время «холодной» МИС 2 прибрежные и речные долины не были покрыты льдом.

Установлены изменения экологической структуры диатомовых палеосообществ, связанные с неоднократными повышениями и понижения уровня воды в озере. Понижение воды в озере приводило к увеличению площади мелководной зоны, заболачиванию окружающих озеро территорий во время относительных потеплений, в результате чего в осадки поступали донные и болотные диатомеи. Во время холодных периодов понижение уровня озера фиксируется по увеличению обилия и разнообразия донных обитателей мелководий. При этом маркеров заболачивания не выявлено.

Формирование современного облика диатомовой флоры озера началось в оптимальную фазу голоцена и завершилось к суб boreально-му времени. Состояние экосистемы озера с этих пор оставалось относительно неизменным.

Исследования поддержаны грантами Президиума РАН и Президиума ДВО РАН (12-И-П28-01, 12-И-СО-08-024, 12-И-А-09-049), грантом РФФИ 12-05-00286-а.

ЛИТЕРАТУРА

Андерсон П. М., Ложкин А. В., Минюк П. С., Пахомов А. Ю. Изменение уровня озер в бассейне верхней Колымы в предбoreальный, boreальный и атлантический периоды голоцена // Пространственная и временная изменчивость природной среды Северо-Восточной Азии в четвертичный период. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 2004 а. – С. 58–63.

Андерсон П. М., Ложкин А. В., Белая Б. В., Степченко Т. В. Новые данные по стратиграфии верхнечетвертичных отложений Северного Приохотья // Изменение природной среды Берингии в четвертичный период. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 1998. – С. 69–87.

Андерсон П. М., Ложкин А. В. Предисловие к пыльцевым летописям озерных отложений Берингии // Климатические летописи в четвертичных осадках Берингии. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 2004 б. – С. 4–26.

Баринова С. С., Медведева Л. А., Анисимова О. В. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. – Тель-Авив : Pilies Studio, 2006. – 498 с.

Генкал С. И., Бондаренко Н. А., Шур Л. А. Диатомовые водоросли озер юга и севера Восточной Сибири. – Рыбинск : Дом печати, 2011. – 72 с.

Давыдова И. Н. Диатомовые водоросли – индикаторы природных условий водоемов в голоцене. – Л. : Наука, 1985. – 244 с.

Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные). – Л. : Наука, 1974. – Т. 1. – 403 с.

Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные). – Л. : Наука, 1988. – Т. 2. – Вып. 1. – 116 с.

Жузе А. П. Диатомеи и их роль в познании истории океанов // Изв. АН СССР. Сер. геол. – 1961. – № 2. – С. 234–238.

Кинд Н. В. Поздний плеистоцен. – М., 1974. – 230 с.

Лаухин С. А., Цзянь Чжимин, Пушкарь В. С., Черепанова М. В. Последнее оледенение на севере Восточной Чукотки и его роль в палеоокеанографии Северной Пацифики // ДАН. – 2006. – Т. 411А, № 9. – С. 1422–1425.

Ложкин А. В., Андерсон П. М., Матросова Т. В. Вулканический пепел в осадках озер Северо-Востока Сибири // Климатические летописи в четвертичных осадках Берингии. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 2004. – С. 108–113.

Ложкин А. В., Андерсон П. М., Браун Т. А. и др. Новая летопись изменения климата и растительности Северного Приохотья в течение изотопных стадий 4–1 // Вестник СВКНИИ ДВО РАН. – 2010. – № 1. – С. 63–70.

Ложкин А. В., Андерсон П. М., Глушкина О. Ю. и др. О некоторых особенностях развития озер в горных районах Верхней Колымы // Берингия в четвертичный период. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 2000. – С. 20–45.

Ложкин А. В., Андерсон П. М., Белая Б. В. Радиоуглеродное датирование пыльцевых зон в озерных осадках Колымо-Охотского междуречья // ДАН. – 1995. – Т. 343, № 3. – С. 396–399.

Ложкин А. В., Федорова И. Н. Эволюция растительности и климата Северо-Востока СССР в позднем плеистоцене и голоцене (по данным исследования осадков озер) // Формирование рельефа, коррелятных отложений и россыпей Северо-Востока СССР. – Магадан : СВКНИИ ДВО АН СССР, 1989. – С. 3–9.

Позднечетвертичные растительность и климаты Сибири и российского Дальнего Востока (палинологическая и радиоуглеродная база данных) / под ред. П. М. Андерсон, А. В. Ложкина. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 2002. – 369 с.

Поповская Г. И., Генкал С. И., Лихошвай Е. В. Диатомовые водоросли планктона озера Байкал : атлас-определитель. – Новосибирск : Наука, 2011. – 192 с.

Харитонов В. Г. Конспект флоры диатомовых водорослей (Bacillariophyceae) Северного Охотоморья. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 2010. – 189 с.

Черепанова М. В. Пресноводные диатомовые сообщества озер Северо-Востока Сибири // Пространственная и временная изменчивость природной среды Северо-Восточной Азии в четвертичный период. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 2004. – С. 77–89.

Шило Н. А., Ложкин А. В., Титов О. О., Шумилов Ю. В. Киргильякский мамонт (палеогеографический аспект). – М. : Наука, 1983. – 214 с.

Ярушина М. И., Генкал С. И. К изучению флоры центрических диатомовых водорослей (Centrophyceae) водоемов восточного склона Полярного Урала (Россия) // Альгология. – 2007. – № 2. – С. 237–253.

- Cherepanova M. V., Usol'tseva M. V., Pushkar V. S., Dubrovina Yu. F.* Morphogenesis in *Cyclotella ocellata* – Complex from Lake El'gygytgyn (Chukchi Peninsula) During the Pleistocene–Holocene // Paleontol. Journ. – 2010. – Vol. 44, No. 10. – P. 1252–1261.
- Cremer H., Wagner B., Juschus O., Melles M.* A Microscopical Study of Diatom Phytoplankton in Deep Crater: Lake El'gygytgyn, Northeast Siberia // Algological Studies. – 2005. – Vol. 116. – P. 147–169.
- Dansgaard W., Johnsen S. J., Clausen H. B. et al.* Evidence for general instability of past climate from a 250-kyr ice-core record // Nature. – 1993. – Vol. 364. – P. 218–220.
- Douglas M. S. V., Smol J. P.* Freshwater diatoms as indicators of environmental change in the High Arctic // The diatoms: applications for the environmental and earth sciences. – Cambridge : Univ. Press, 1999. – P. 227–244.
- Flower R. J., Ozornina S. P., Kuzmina A. E., Round F. E.* *Pliocaenicus* taxa in modern and fossil material mainly from Eastern Russia // Diatom Research. – 1998. – Vol. 13, No. 1. – P. 39–62.
- Glushkova O. Yu.* Geomorphological correlation of late Pleistocene glacial complexes of Western and Eastern Beringia // Quaternary Science Reviews. – 2001. – Vol. 20. – P. 405–417.
- Gregory-Eaves I., Smol J. P., Finney B. et al.* Characteristics and variation in lakes along a north-south transect in Alaska // Archiv fur Hydrobiologie. – 2000. – Vol. 147. – S. 193–223.
- Imbrie J., Hays J. D., Martinson D. G.* The orbital theory of Pleistocene climate: support from a revised chronology of the marine $\delta^{18}\text{O}$ record. // Milankovitch and Climate: Understanding the Response to Astronomical Forcing. – Reidel, Dordrecht, 1984. – P. 269–305.
- Krammer K., Lange-Bertalot H.* Bacillariophyceae // Sußwasserflora von Mitteleuropa. Bd 2/1, Teil 1. Naviculaceae. – Jena : VEB Gustav Fischer Verlag, 1986. – 876 S.
- Krammer K., Lange-Bertalot H.* Bacillariophyceae // Sußwasserflora von Mitteleuropa. Bd 2/2, Teil 2. Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surrillaceae. – Stuttgart ; N. Y. : VEB Gustav Fischer Verlag, 1988. – 598 S.
- Krammer K., Lange-Bertalot H.* Bacillariophyceae // Sußwasserflora von Mitteleuropa. Bd 2/3, Teil 3. Centrales, Fragilariaeae, Eunotiaceae. – Stuttgart ; Jena : VEB Gustav Fischer Verlag, 1991. – 576 S.
- Krammer K.* Cymbella // Diatoms of Europe. Diatoms of the European inland waters and comparable habitats. – Ruggell : A. R. G. Ganter Verlag K. G., 2002. – Vol. 3. – 584 p.
- Krammer K.* Cymbopleura, Delicata, Navicymbula, Gomphocymbelopsis, Afrocymbella // Ibid. – 2003. – Vol. 4. – 530 p.
- Krammer K.* The genus Pinnularia // Ibid. – 2000. – Vol. 1. – 703 p.
- Laukhin S. A.* The Late Pleistocene Glaciation in the Northern Chukchi Peninsula // Quaternary International. – 1997. – Vol. 41/42. – P. 33–41.
- Lozhkin A. V., Anderson P. M.* Forest or no forest: implications of the vegetation records for climatic stability in Western Beringia during Oxygen Isotope Stage 3 // Quaternary Science Reviews. – 2011. – Vol. 30. – P. 2160–2181.
- Michelutti N., Laing T. E., Smol J. P.* Diatom Assessment of Past Environmental Changes in Lakes Located Near the Noril'sk (Siberia) Smelters // Water, Air and Soil Pollution. – 2001. – Vol. 125, No. 1. – P. 231–241.
- Pienitz R., Smol J. P.* Diatom Assemblages and their Relationship to Environmental Variables in Lakes from the Boreal Forest-Tundra Ecotone near Yellowknife, Northwest Territories, Canada // Hydrobiologia. – 1993. – Vol. 269/270. – P. 391–404.
- Weckstrom J., Korhola A., Blom T.* The Relationship between Diatoms and Water Temperature in Thirty Subarctic Fennoscandian Lakes // Arctic and Alpine Research. – 1997. – Vol. 29, No. 1. – P. 75–92.

Поступила в редакцию 19.04.2012 г.

DIATOMS FROM THE ELIKCHAN LAKE (NORTHERN PRIOKHOTJE) AND THEIR VALUE FOR RECONSTRUCTION OF LAKE EVOLUTION WITHIN THE LAST 70 THOUSAND YEARS

***M. V. Cherepanova, A. S. Avramenko, P. M. Anderson, A. V. Lozhkin, P. S. Minyuk,
V. S. Pushkar***

The diatom evolution of the Lake Elikchan within the last 70 thousand years is studied. Diatoms are found to actively respond to fluctuations of ecological parameters in the past, which permitted to establish diatom assemblages and correlate them with marine isotope stages 1–4. Basing on the studies of the diatom paleoassemblage ecological structure, the environmental conditions and development of the lake ecosystem in Late Pleistocene and Holocene are reconstructed. The diatom data correlation with data from other analyses (palynological, tephrochronological, radiocarbon dating) confirm the authenticity of the conclusions made.

Key words: diatoms, diatom analysis, lake sediments, Late Pleistocene, Holocene.