

УДК 551.583.7(571.651)

ПАЛЕОКЛИМАТИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ оз. ЭЛЬГЫГЫТГЫН: ОБЗОР РЕЗУЛЬТАТОВ И ПЕРСПЕКТИВЫ МЕЖДУНАРОДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

П. С. Минюк¹, М. Меллес², Дж. Бригхам-Гретте³, К. Кеберл⁴

¹Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт ДВО РАН, г. Магадан

E-mail: minyuk@neisri.ru

²Институт геологии и минералогии, Кельнский университет, г. Кельн, Германия

E-mail: mmelles@uni-koeln.de

³Отдел геонаук, Массачусетский университет, г. Амхерст, США

E-mail: juliebg@geo.umass.edu

⁴Отдел литосферных исследований, Венский университет, г. Вена, Австрия

E-mail: christian.koeberl@univie.ac.at

Приведены материалы комплексного изучения оз. Эльгыгытгын, Чукотка (67°30' с. ш., 172°05' в. д.). Изложены метеорологические, гидрологические данные, а также результаты геохимического, минералогического, диатомового, палинологического и палеомагнитного анализов донных отложений. Приведены инфракрасно-люминесцентные датировки осадков скв. PG1351 и Lz1024. Показаны палеоклиматические критерии осадков. Установленные климатические зоны сопоставлены с 1-й по 9-ю морскую изотопно-кислородную стадию.

Ключевые слова: оз. Эльгыгытгын, палеоклимат, плейстоцен.

ВВЕДЕНИЕ

Озеро Эльгыгытгын находится на северо-западе Чукотки, в 100 км севернее Полярного круга (67°30' с. ш., 172°05' в. д.), на стыке влияния океанского и континентального климатов (рис. 1). Это одно из древнейших озер в Арктике. Палеоклиматические данные, которые несут осадки этого озера, являются связующим звеном между арктическими и северитихоокеанскими климатическими летописями, с одной стороны, и континентальными (байкальскими, китайскими) данными – с другой. В связи с этим оно представляет огромный интерес для палеоклиматических реконструкций и корреляций. В Арктическом секторе наиболее информативны палеоклиматические данные по ледовым щитам Гренландии (GISP2, GRIP, NGRIP), охватывающие интервал нескольких ледниково-межледниковых циклов (Greenland..., 1993; Grootes et al., 1993; Andersen et al., 2004). В последние годы активно исследуются донные осадки Северного Ледовитого океана. Пробурена серия скважин на хр. Менделеева (Darby et al., 2005) и Ломоносова (Moran et al., 2006; Backman et al., 2006; Backman, Moran, 2008). Однако для этих осадков важнейшей проблемой является стратиграфия в связи с низкими скоростями осадконакопления, низкой биологической продуктивностью, растворением органических остат-

ков, неоднозначностью интерпретации палеомагнитных данных (Jakobsson et al., 2001; Darby et al., 2006; Adler et al., 2009; Channell, Xuan, 2009).

Международные полевые исследования на озере по этой тематике в которых принимали участие ученые России, Германии и США, начали проводиться с 1998 г. В это время были подняты первые колонки осадков. Бурение вели весной, со льда, в двух точках – PG1351 и PG1352 (см. рис. 1). Скважина PG1351 была пройдена на глубину около 13 м. Осадки этой скважины изучены наиболее полно. Анализ некоторых результатов приведен в настоящей работе.

Следующая международная экспедиция состоялась в августе 2000 г. В ходе ее выполнены сейсмостратиграфические исследования осадочного чехла, изучены коренные вулканогенные породы. Были измерены физико-химические характеристики воды, проведены батиметрические измерения, отобрана серия приповерхностных проб донных отложений для оценки характера современного осадконакопления. В самой глубокой части озера на различной глубине помещены датчики для круглогодичного измерения температуры и давления. На берегу озера смонтирована автоматическая метеостанция с почасовой регистрацией основных метеорологических параметров – скорости и направления ветра, температуры воздуха и почвы, осадков, солнечной радиации.

В апреле – сентябре 2003 г. проведена третья экспедиция. В результате полевых исследований

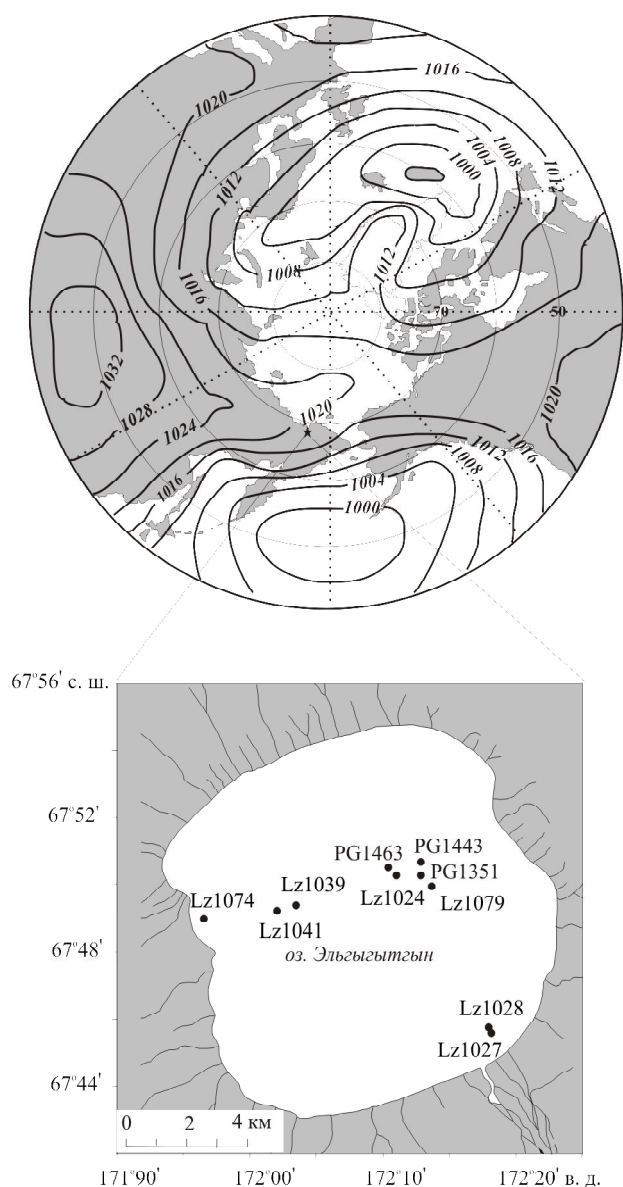


Рис. 1. Давление (hPa) на уровне моря в Арктике для января (Serreze, 2005) и расположение оз. Эльгыгытгын и скважин, упоминаемых в тексте

Fig. 1. Sea level pressure (hPa) values in the Arctic in January (Serreze, 2005) and schematized area of Elgygytyn Lake and borehole sites

собрана новая коллекция импактных пород, проведены гидрологические, лимнологические, метеорологические и седиментологические исследования. Выполнено геоморфологическое и мерзлотное изучение озерных и речных террас. Из центральной части озера поднята 16,7-метровая колонка осадков LZ1024 (см. рис. 1). Дополнительно ряд скважин (Lz1027, Lz1028, Lz1074) пробурены на мелководье для исследований изменений уровней озера. С западного склона озера подняты колонки (Lz1041, Lz1039) для изучения позднечетвертичных склоновых процессов. Проведены новые сейсмостратиграфические исследо-

вания с использованием более мощной воздушной пушки и многоканальной косы гидрофонов (длина косы 250 м). Эхолокацией с частотой 4,5 кГц получены более детальные данные о строении верхних 30–40 м осадочного чехла. В итоге геофизических исследований построена трехмерная модель дна озера и источников сноса. Во время экспедиции собрана новая информация с метеорологической станции и датчиков, находящихся в озере. В окрестностях озера в двух точках установлена дополнительная аппаратура для измерения температуры и осадков (Melles et al., 2005).

СВЕДЕНИЯ ОБ ОБЪЕКТЕ ИССЛЕДОВАНИЙ

Озеро Эльгыгытгын расположено в Анадырском плоскогорье на Чукотке, в Охотско-Чукотском вулканогенном поясе. В разрезе вулканогенных пород, слагающих окрестности озера, выделяются пыкарваамская (игнимбриты, туфы, витроигнимбриты, туфопесчаники), вороньинская (игнимбриты, туфы), козвуньская (андезибазальты, туфы, туфобрекчии, туфопесчаники) и эргываамская (туфы, игнимбриты) свиты (Белый, Райкевич, 1994; Белый, Беляя, 1998). Продукты выветривания и разрушения этих пород служат источником обломочного материала, поступающего в озеро. Происхождение озера связывается с падением метеорита (Gurov et al., 2007; и др.). Возраст этого события определен около $3,5 \pm 0,5$ млн лет калий-аргоновым методом (Gurov et al., 1979), $3,52 \pm 0,11$ млн лет (Storzer, Wagner, 1979) и $3,43 \pm 0,15$ млн лет (Комаров и др., 1983) – трековым и $3,58 \pm 0,04$ млн лет – Ar^{40}/Ar^{39} методом (Layer, 2000).

Территория озера относится к зоне гипоарктических тундр (Юрцев, 1973). Граница бореального леса расположена в 150 км южнее и западнее озера. Здесь в лесной зоне встречаются *Pinus pumila*, *Alnus*, древовидная *Betula*, *Larix dahurica*.

Современная растительность региона детально изучена Ю. П. Кожевниковым (1993). Он определил 249 видов растений принадлежащих к 108 родам и 39 семействам. Разнообразно представлены семейства Poaceae (29 видов), Cyperaceae (24 вида), Asteraceae (25 видов), Saxifragaceae (20 видов), Caryophyllaceae (19 видов), Brassicaceae (17 видов), Ranunculaceae (13 видов). Флора включает около 100 редких видов. В целом в ней доминируют циркумполярные арктоальпийские виды.

Диаметр озера около 12 км, глубина его не превышает 175 м, объем воды оценивается в $14,1 \text{ км}^3$. В оз. Эльгыгытгын впадает около 50 мелких ручьев, вытекает р. Энмываам. Площадь водосбора составляет около 293 км^2 , поверхность озера – около 110 км^2 . Температура воды в центре озера не превышает 4°C , летом на мелководье она достигает 5°C (Nolan et al., 2003; Nolan, Brigham-Grette, 2007). В периоды, когда озеро покрыто льдом, наблюдается вертикальная диффе-

ренциация воды по температуре. Перемешивание воды происходит в летнее время с разрушением ледового покрова (Nolan, Brigham-Grette, 2007).

Значение pH воды практически не меняется с глубиной и составляет около 6,5. В самых нижних нескольких метрах водного слоя этот параметр увеличивается до 7,5 (скв. PG1443), уменьшается (скв. Lz1024) до 6,0 или остается неизменным (скв. Lz1079).

Электропроводность воды низкая (< 25 мкс/см), содержание ионов и катионов практически не меняется с глубиной – Na^+ (1,24–0,5 мг/л), Mg^{2+} (0,11–0,19 мг/л), Ca^{2+} (0,71–1,05 мг/л), K^+ (0,14–0,19 мг/л), Cl^- (0,30–1,43 мг/л), SO_4^{2-} (2,44–2,72 мг/л), прозрачность воды, измеренная диском Secchi, очень высокая и составляет около 20 м (Cremer, Wagner, 2003; Cremer et al., 2005).

Средняя годовая температура воздуха в 2002 г. равнялась $-10,3^\circ\text{C}$, с максимальной температурой $+26^\circ\text{C}$ летом и минимальной -40°C зимой. В летнее время выпало около 70 мм осадков, в зимнее – 110 мм. Преобладающие ветра имеют преимущественно юго-восточное и северо-западное направление. Для района характерно всего несколько безветренных дней в месяц. Среднечасовая скорость ветра в 2002 г. составила 5,6 м/с, а максимальная среднечасовая скорость за этот год – 15,6 м/с (Nolan et al., 2003; Nolan, Brigham-Grette, 2007). Замерзание озера происходит в октябре, таяние льда – в июле-августе (Nolan et al., 2003).

По имеющимся данным, район озера не подвергался оледенениям в прошлом (Глушкова, 1993). Согласно геофизическим данным, в разрезе осадочного чехла отсутствуют тела, которые возможно интерпретировать как ледниковые формы, хотя широко развиты склоновые отложения (Gebhardt et al., 2006; Niessen et al., 2007). Сейсмостратиграфическими исследованиями установлено, что осадочный чехол озера расчленяется на две толщи общей мощностью 320–350 м и характеризуется скоростью прохождения волн около 3000 м/с. Верхняя толща представлена озерными слоистыми осадками, чередующимися на окраинах бассейна, преимущественно в западной части, со склоновыми отложениями. Нижняя толща сложена массивными неслоистыми отложениями (Niessen et al., 2007). Здесь отчетливо выделяется центральное поднятие, типичное для кратерных структур (Gebhardt et al., 2006). Осадочные отложения подстилаются брекчиями, скорость прохождения волн в которых составляет более 3600 м/с.

В районе озера зафиксированы 35–40-, 9–11- и 2–3-метровые озерные террасы, свидетельствующие о колебаниях уровня воды озера в прошлом (Глушкова, 1993; Glushkova et al., 1995; Минюк и др., 2003; Глушкова, Смирнов, 2006; Glushkova, Smirnov, 2007; Федоров и др., 2008; Глушкова и др., 2009). В течение голоцена уровень воды в озере понизился на 4 м (Schwamborn et al., 2007).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ДОННЫХ ОСАДКОВ

Для реконструкции условий осадконакопления, климата, изменения окружающей среды осадки, поднятые колонками со дна озера, исследовали различными методами, включая литологический, минералогический, палеомагнитный, геохимический, палинологический, диатомовый анализы (Brigham-Grette et al., 2007).

Литология, минералогия. Осадки из кернов пробуренных скважин сложены массивными и слоистыми илами от оливково-серого, желтовато-серого до серого, темно-серого цвета, которые занимают определенное положение в разрезах. Из верхних 300 см разреза скв. PG1351 исследованы глинистые минералы, представленные преимущественно иллитом, смектитом и хлоритом. В отложениях, соответствующих МИС 1 и МИС 3, доминируют смектит и иллит; в осадках коррелятивных МИС 2 и МИС 4 преобладает хлорит (Asikainen et al., 2007). Соотношение этих минералов в осадках контролировалось климатом и связано с различными условиями преобразования и сохранения глинистых минералов в источниках сноса. Среди аутигенных минералов в осадках озера широко распространены вивианит, агрегаты и конкреции которого отмечены по всему разрезу (Минюк и др., 2003; Asikainen et al., 2007). В донных отложениях скв. Lz1024 и PG1351 выявлены 24 слоя турбидитов и 2 прослоя вулканических пеплов, имеющих важное корреляционное значение (Juschus et al., 2009).

Возраст. Возраст осадков определен радиоуглеродным и инфракрасно-люминесцентным методами (Nowaczyk et al., 2002; Juschus et al., 2007, 2009; Forman et al., 2007). Полученные даты использованы для построения возрастных моделей (Nowaczyk et al., 2002, 2007). Возрастные датировки осадков из наиболее мощных разрезов приведены в табл. 1.

Диатомовый анализ. Первые сведения о диатомовой флоре оз. Эльгыгытгын были получены из небольших (до 25 см) колонок донных отложений, отобранных в 50-х гг. прошлого столетия (Сечкина, 1956; Жузе, Сечкина, 1960). Современные диатомовые водоросли в сообществах планктона и перифитона описаны В. Г. Харитоновым (1980, 1993, 2002).

В рамках проекта диатомовая флора исследована преимущественно из осадков скв. PG1351 (Минюк и др., 2003; Cherepanova et al., 2007), PG1463 (Cremer, Wagner, 2003) и Lz1029 (Cremer, Van de Vijver, 2006), а также из седиментационных ловушек (Cremer et al., 2005). Диатомовая флора представлена 298 таксонами, относящимися к 2 классам, 2 семействам и 25 родам. Наиболее разнообразен класс Pennatophyceae (221 таксон), в котором особенно выделяются роды *Pinnularia* (36), *Cymbella* (34), *Eunotia* (30),

Таблица 1. Инфракрасно-люминесцентные датировки осадков скв. PG1351 (Forman et al., 2007) и Lz1024 (Juschus et al., 2007, 2009)

Table 2. Infrared stimulated luminescence age data for sediments from PG1351 (Forman et al., 2007) and Lz1024 (Juschus et al., 2007, 2009) boreholes

| Скважина | Глубина, см | Возраст, тыс. л. н. | Скважина | Глубина, см | Возраст, тыс. л. н. |
|----------|-------------|---------------------|----------|-------------|---------------------|
| PG1351 | 66–70 | 11,5±0,8 | Lz1024 | 10–20 | 2,8±1,9 |
| PG1351 | 116–120 | 11,7±1,3 | Lz1024 | 68–78 | 20±3 |
| PG1351 | 116–120 | 20,2±1,6 | Lz1024 | 191–204 | 34±3 |
| PG1351 | 244–247 | 48,2±3,9 | Lz1024 | 218–228 | 41±4 |
| PG1351 | 271–275 | 61,6±4,3 | Lz1024 | 323–333 | 92±9 |
| PG1351 | 321–327 | 63,5±4,5 | Lz1024 | 399–409 | 71±8 |
| PG1351 | 459–474 | 104,2±7,5 | Lz1024 | 477–487 | 97±9 |
| PG1351 | 459–474 | 82,1±5,9 | Lz1024 | 618–628 | 132±13 |
| PG1351 | 678–693 | 159,5±13,1 | Lz1024 | 671–681 | 129±11 |
| PG1351 | 678–693 | 148,9±11,1 | Lz1024 | 779–789 | 163±14 |
| PG1351 | 678–693 | >112,1±8,8 | Lz1024 | 864–874 | 203±17 |
| PG1351 | 878–895 | 212,3±16,1 | Lz1024 | 968–978 | 165±16 |
| PG1351 | 1224–1232 | >162,5±11,8 | | | |

Achnanthes (24), *Navicula* (22), *Surirella* (19), *Gomphonema* (18). Класс Centrophyceae не так разнообразен, но его представители – *Cyclotella ocellata*, *C. krammeri*, *Cyclostephanus costatus* var. *sibirica* образуют доминирующую группу изученных танато- и тафоценозов диатомей. Для флоры диатомей озера характерна высокая степень эндемизма, однако видовой состав водорослей из осадков скв. PG1351 мало изменяется по разрезу. Был выделен ряд экологических групп диатомей, включающих болотные формы (*Stauroneis phoenicenteron*, *Pinnularia viridis*, *Eunotia glacialis* и представители рода *Surirella*), виды-обрастатели (представители рода *Cymbella*), донные (*Amphora libyca*, *A. inariensis*, *Caloneis hyalina* var. *robusta*, *Diploneis elliptica*) и североальпийские (*Achnanthes bioethii* и *Gomphonema acutiusculum*) виды. Анализ диатомовой флоры осадков оз. Эльгыгытгын позволил установить в разрезе изученной скв. PG-1351 восемь комплексов, которые могут соответствовать осадкам определенных климатических стадий от МИС 1 до МИС 8. Для «теплых» комплексов отмечается высокое видовое разнообразие диатомей на фоне ярко выраженного доминирования видов рода *Cyclotella* и присутствие элементов торфяно-болотной флоры (*Pinnularia*, *Eunotia*, *Stauroneis*, *Neidium* и др.), а для «холодных» – сокращение численности створок диатомей и их видового богатства (Минюк и др., 2003).

Палинология. Палинологические исследования проведены по осадкам скв. PG1351 и Lz1024, а также рецентным пробам из придонного слоя. Современные спорово-пыльцевые спектры характеризуются высоким содержанием пыльцы *Alnus* (25–39%), *Betula* (до 20%), *Pinus* subgen. *Harpoxylon* (до 20%). В группе кустарничковых и травянистых растений доминирует пыльца *Рoaceae* (10–20%), *Сурерасеae* (до 5–9%), *Рараверасеae* (до 4%). Спорывые растения представлены спорами *Sphagnum* (до 3%). Эти спек-

тры не только характеризуют малопродуктивную растительность вокруг озера, но и дают более широкие сведения о региональной растительности Анадырского плоскогорья (Матросова, 2005).

В разрезе скв. PG1351 выделено 13 спорово-пыльцевых зон, отражающих смену растительности и климата в течение МИС 1–8 (Шило и др., 2001; Lozhkin et al., 2007). Спорово-пыльцевые зоны объединены в три группы.

Первой группе зон – EG1 (1283–1175 см), EG5 (745–593 см), EG9 (448–390 см), EG11 (267–75 см) – свойственно высокое содержание пыльцы *Рoaceae* (до 80%), *Artemisia* (до 30%), *Рараверасеae* (до 12%), спор *Selaginella rupestris* (до 25%), низкое присутствие или отсутствие пыльцы кустарничков, что свидетельствует о похолодании климата и распространении злаково-травянистых тундр.

Вторая группа зон – EG2 (1175–1085 см), EG3 (1085–954 см), EG4 (954–745 см) и EG10 (390–267 см) – характеризуется повышенным содержанием пыльцы *Pinus* subgen. *Harporoxylon* (до 5%), *Betula* (до 25%), *Alnus* (до 15%), *Ericales* (до 15%), остаются доминантами *Рoaceae* (до 60%), *Artemisia* (до 10%). Спектры свидетельствуют о смене травянистой тундры травянисто-березовой, что говорит об относительном потеплении климата.

В третьей группе зон – EG6–EG8 (593–448 см), EG12 (75–47 см), EG13 (47–0 см) – резко увеличивается количество пыльцы *Pinus* subgen. *Harporoxylon* (до 60%), *Betula* (до 50%), *Alnus* (до 50%), показывая развитие кустарничковых березовых тундр, сменяющихся ольхово-березовыми тундрами. В начале голоцена и во время стадии 5е температура была выше современной на 2–4°C (Lozhkin et al., 2007). Выявленные черты изменения растительности, восстанавливаются также по спорово-пыльцевым данным скв. Lz1024, однако они охватывают более ранний интервал – до МИС 9 (Ложкин и др., 2007; Матросова, 2009). Наблюдается хорошая сопоставимость данных по двум скважинам (Матросова, 2009).

Палеомагнетизм. Палеомагнитные исследования выполнены по осадкам скв. PG1351 и Lz1024. Анализ результатов изложен в ряде публикаций (Nowaczyk et al., 2002, 2007; Минюк и др., 2003). Установлено, что магнитные минералы представлены псевдо-однодоменными частицами магнетита с параметрами элементарной решетки 8,396–8,398 Å и точками Кюри 580–590°C. Различий в минеральном составе магнитной фракции для осадков с разной магнитностью (осадки теплых и холодных эпох) не наблюдается. Магнитная восприимчивость изменяется в осадках от десятков до 2500×10^6 ед. СИ, остаточная намагниченность – от 0,5 до 200 мА/м. В целом по разрезу вариации этих параметров идентичны. Размагничивание образцов переменным магнитным полем (до 100 мТ) показывает на однокомпонентность намагниченности. Магнитное наклонение колеблется в пределах 30–90° и имеет преимущественно положительный знак. Образцы с пологими углами наклона отражают экскурсы геомагнитного поля и приурочены к определенным интервалам. Такие интервалы отмечены приблизительно на глубине 250 см (?), 500 см (Блейк), 920 см (Ямайка) (Nowaczyk et al., 2002; Минюк и др., 2003).

Исследования показали, что вариации магнитной восприимчивости связаны с условиями осадконакопления (= климатом) и достаточно хорошо сопоставляются с данным диатомового и палинологического анализов. Для холодных эпох характерны минимальные величины магнитной восприимчивости, в то время как теплым интервалам свойственны повышенные значения этого параметра. Низкая магнитная восприимчивость, возможно, обусловлена растворением магнитных минералов. Кривые магнитной восприимчивости осадков коррелируются с изотопно-кислородными кривыми, полученными для ледовых кернов Гренландии (Grootes et al., 1993) и для кернов донных отложений океанов (например, Martinson et al., 1987; Bassinot et al., 1994), и охватывают интервал от верхней части 8-й по 1-ю МИС (Nowaczyk et al., 2002, 2007; Минюк и др., 2003). Разрез скв. Lz1024 захватывает и МИС 9.

Органическая геохимия. Исследования проведены по разрезу скв. PG1351. Определялось общее содержание углерода (ТС), азота (ТН), серы (ТС), органического углерода (ТОС), стабильного изотопа ($\delta^{13}\text{C}$), биогенного опала (SiO_2) (Melles et al., 2007). Установлено, что эти параметры отражают седиментологические и климатические изменения в прошлом. Содержание биогенного кремнезема хорошо коррелируется с количеством створок диатомей в осадках. По геохимическим показателям в разрезе скважины выделяется не менее двух ледниково-межледниковых циклов. Осадкам различных палеоклиматических обстановок свойственны соответствующие геохимические характеристики, по которым устанавливаются 4 типа осадков.

Первый тип характеризуется низким содержанием органического углерода, азота, серы, низким отношением органического углерода к сере и высоким содержанием $\delta^{13}\text{C}$. Эти осадки выделены на глубине 0–113, 154–281, 340–400, 414–477, 493–518, 587–622, 654–683, 727–800, 898–1080, 1156–1203 и 1217–1268 см. Накопление их происходило при относительно теплом климате, вызывающем таяние льда на озере. Для этого времени характерен значительный привнос флювиального обломочного материала в бассейн озера и перемешивание воды. Это обусловило газовый обмен между атмосферой и озером, вследствие чего в придонных водах преобладали окислительные условия, способствовавшие разложению органики. Активность бентосной фауны привела к развитию биотурбаций. Такие условия были характерны для голоцена, а также для МИС 3, 5.1, 5.3, 6.1, 6.3, 6.5, 7.1–7.3, 7.5 и 8.3.

Для второго типа осадков (глубина 518–587 см) характерны более высокие концентрации органического углерода, азота, увеличение отношения ТОС/ТН, частично опала по сравнению с первым типом и более низкие значения $\delta^{13}\text{C}$. В то же время общее содержание серы аналогично содержанию первого типа. Осадки с такими показателями могли сформироваться в период максимальных потеплений (МИС 5.5). Значительный уровень биогенного осадконакопления и высокое отношение ТОС/ТН объясняются увеличением биологической продуктивности озера и большим привносом органики с водосборного бассейна озера. В придонной части озера господствовала окислительная обстановка.

Третий тип осадков (113–154, 400–414, 477–493, 622–654, 683–727 см) характеризуется высоким содержанием ТОС, ТН, S, высоким отношением органического углерода к сере и низким содержанием $\delta^{13}\text{C}$ и опала. Формирование этого типа осадков происходило при сухом холодном климате (МИС 2, верхняя часть МИС 6, подстадии 5.2 и 5.4). Именно в таких условиях могли формироваться глинистые окатыши, найденные в осадках. Круглогодичный ледовый покров ограничивал газовый обмен между атмосферой и водной толщей озера, создавая восстановительную обстановку в придонном слое, при которой разложение органического материала замедлялось. Некоторое содержание биогенного опала в осадках может свидетельствовать о пониженном, но стабильном развитии диатомей в озере. Возможно, во время сухих и очень холодных зим с сильными ветрами прозрачный лед озера не был покрыт снегом, что позволяло проникать свету на некоторую глубину, и этого было вполне достаточно для развития определенных видов диатомей.

Четвертый тип осадков (глубина 281–340, 800–898, 1080–1156, 1203–1217 и ниже 1268 см) отличается от третьего несколько меньшим содержанием ТОС, ТН и опала, большими концентрация-

ми серы и $\delta^{13}\text{C}$ и отсутствием глинистых окатышей. При таких условиях, возможно, на льду был снежный покров, ограничивающий проникновение света в воду и, следовательно, уменьшающий биопродуктивность. Климат в это время был холодный, но более влажный, чем при формировании осадков 3-го типа. Осадки этого типа (холодный, но влажный климат) свойственны стадии 4, низам стадии 6 и верхней части стадии 8.

Неорганическая геохимия. Редкие и породообразующие элементы изучены методом рентгенофлуоресцентного анализа по осадкам скв. PG1351 и Lz1024. Результаты исследований изложены в ряде статей (Минюк и др., 2003; Minyuk et al., 2007; Борходоев, Минюк, 2008). По всей длине изученных колонки наблюдаются значительные вариации содержания элементов, однако не все они обусловлены климатическими факторами. Установлено, что теплым стадиям свойственны повышенные содержания SiO_2 , CaO , Na_2O , K_2O и пониженные концентрации TiO_2 , Al_2O_3 , MgO , Fe_2O_3 . Отмечается различие в содержании породообразующих элементов в осадках озера и в окружающих вулканитах. Установлено, что концентрации SiO_2 , CaO , Na_2O , K_2O выше в вулканитах, чем в осадках. По другим элементам наблюдается обратная закономерность. Химический состав осадков, накопление которых происходило во время теплых стадий, ближе к таковому вулканических пород. Это свидетельствует об увеличении поступления химически невыветренного обломочного материала в озеро в эти периоды. Индекс химического изменения – ИХИ (Nesbitt, Young, 1982) ниже в осадках теплых стадий, чем в отложениях, сформировавшихся в более холодных условиях. Потери при прокаливании (при 1000°C), отражающие содержание органики, летучих компонентов, воды, карбонатов, варьируют в осадках от 3,1 до 11,3% (среднее 6,3). Высокие значения этого параметра характерны для осадков холодных стадий, которым свойственны большие концентрации органического углерода (Melles et al., 2007). Наблюдается прямая корреляция содержания P_2O_5 и MnO ($K = 0,6$). Концентрации этих элементов не связаны с климатическими стадиями. Выявленные пики фосфора и марганца обусловлены присутствием в осадках вивианита и отражают, видимо, этапы повышенной биологической продуктивности озера в прошлом. Марганец, как показал электронно-зондовый рентгеноспектральный анализ, входит в состав вивианита как примесь.

Среди редких элементов наиболее показательны с точки зрения палеоклиматической информативности осадков стронций и цирконий. Отмечено, что для теплых периодов характерны высокие содержания стронция и низкие циркония, в то время как холодным эпохам свойственна обратная закономерность.

Геохимические характеристики осадков сопоставлены с изотопно-кислородными шкалами (Martinson et al., 1987; Bassinot et al., 1994). На основе сопоставления в разрезе скв. Lz1024 выявлено 9 климатических стадий. Практически во всех климатических стадиях установлены более дробные единицы – подстадии.

Таким образом, материалы комплексных исследований осадков и сравнительный анализ полученных результатов с данными по другим регионам указывают на глобальность зафиксированных палеоклиматических флуктуаций. Осадкам теплых стадий свойственно видовое разнообразие диатомей, высокое содержание пыльцы деревьев и кустарников. В это время в бассейне формировались преимущественно неслоистые массивные илы, возможно, подверженные биотурбациям, господствовала окислительная обстановка, существовал активный газовый обмен между атмосферой и водной толщей, повышалась биопродуктивность. Отложения характеризуются низким содержанием органического углерода, азота, серы, низким отношением органического углерода к сере и высоким содержанием изотопа $\delta^{13}\text{C}$, высокой магнитной восприимчивостью. Обратная зависимость наблюдается для осадков холодных периодов. Здесь преобладала восстановительная обстановка. При таких условиях, возможно, происходило частичное растворение магнитных минералов.

Для теплых эпох характерно накопление иллит-сметкита, для холодных – хлорита. Это обстоятельство отразилось практически на всех геохимических характеристиках осадков. Осадкам теплых стадий свойственно повышенное содержание CaO , NaO , SiO_2 , K_2O , Sr и низкие концентрации Al_2O_3 , MgO , TiO_2 , Fe_2O_3 , для осадков холодных эпох наблюдается обратная зависимость.

Полученные материалы и их сопоставление с палеоклиматическими архивами донных осадков океанов, данные радиоуглеродного и оптиколюминесцентного датирования свидетельствуют, что изученные осадки сформировались во время изотопно-кислородных стадий 1–8 (скв. PG1351) или 1–9 (скв. Lz1024). Некоторые климатические индикаторы по осадкам скв. PG1351 приведены на рис. 2. На данный момент исследований это наиболее продолжительная непрерывная палеоклиматическая запись для континентальной Арктики, и ее можно использовать, например, как эталонную при корреляции разрозненных разрезов среднего и верхнего плейстоцена Северо-Востока России.

ГЛУБОКОЕ БУРЕНИЕ

Глубокое бурение осадочного чехла выполнено зимой-весной 2009 г. со льда озера. В месте бурения на площадке размерами 100×100 м представители канадской компании ЕВА наморозили лед до толщины около 2 м. В процессе всего пе-

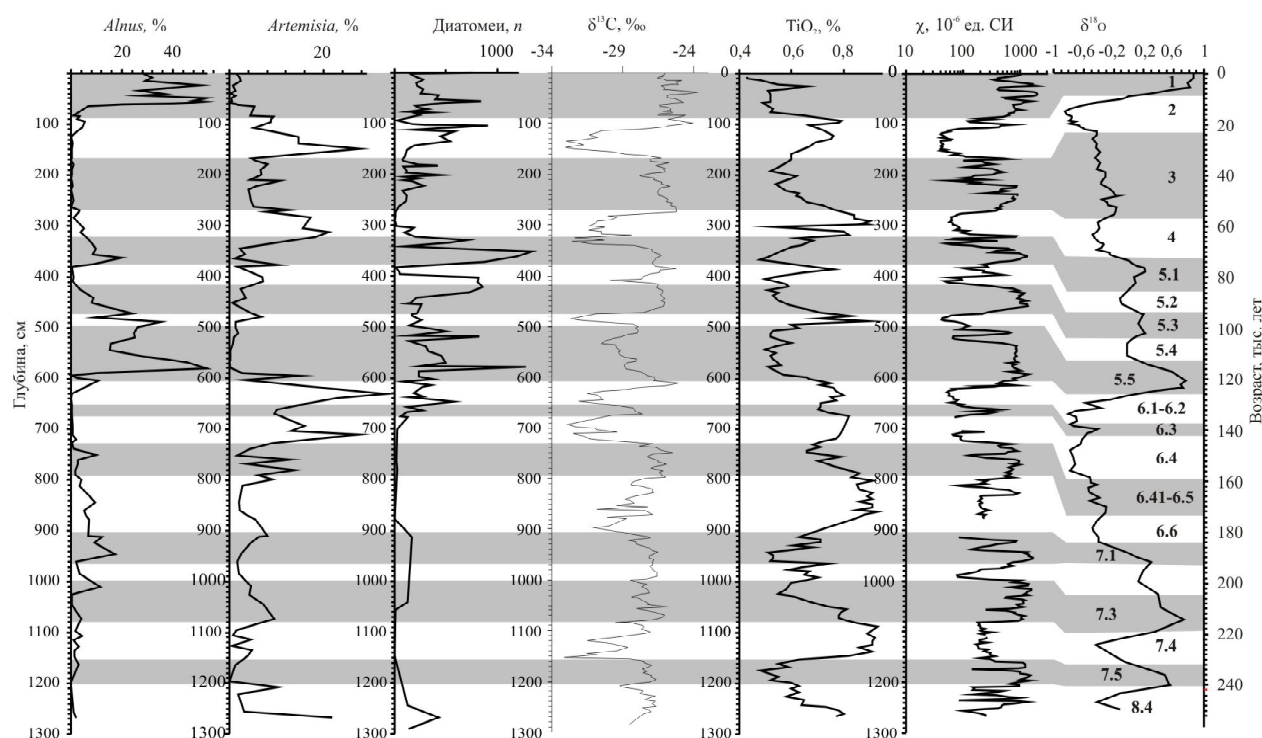


Рис. 2. Характерные палеоклиматические показатели осадков оз. Эльгыгитгын (Минюк и др., 2003): n – количество створок диатомей в одном горизонтальном ряду; χ – магнитная восприимчивость, справа – изотопно-кислородная шкала (Martinson et al., 1987)

Fig. 2. Representative paleoclimate proxies of Elgygytyn Lake sediments (Минюк и др., 2003): n – the number of diatom valves in a row; χ – magnetic susceptibility; oxygen isotopic stage is shown on the right (Martinson et al., 1987)

риода бурения по уровню воды в контрольных лунках проводились замеры проседания льда.

Для бурения применялся станок GLAD-800 компании DOSSEC, который был смонтирован на платформе, закрытой специальным тентом. Бурение проводили специалисты компании DOSSEC, а также бурильщики ЗАО «Чаунское горно-геологическое предприятие» и помощники из научного персонала с использованием PQ и HQ труб и инструмента. Пробурены три скважины – 1А, 1В и 1С до глубины соответственно 146, 112 и 517 м. Для мягких осадков (верхние 100 м осадочного чехла) применялось гидравлическое бурение (НПС – Hydraulic Piston Corer). Внутренняя труба керноприемника с помещенным в ней 3-метровым пластиковым вкладышем для керна под действием сжатого воздуха выстреливали в осадок на 3 м мощности. Вкладыш с керном извлекали из внешней трубы, разрезали на метровые куски для транспортировки. Упакованный керн хранили при температуре 2–5°C в холодильных камерах. Этим способом пробурены скв. 1А до глубины примерно 100 м и скв. 1В (рис. 3).

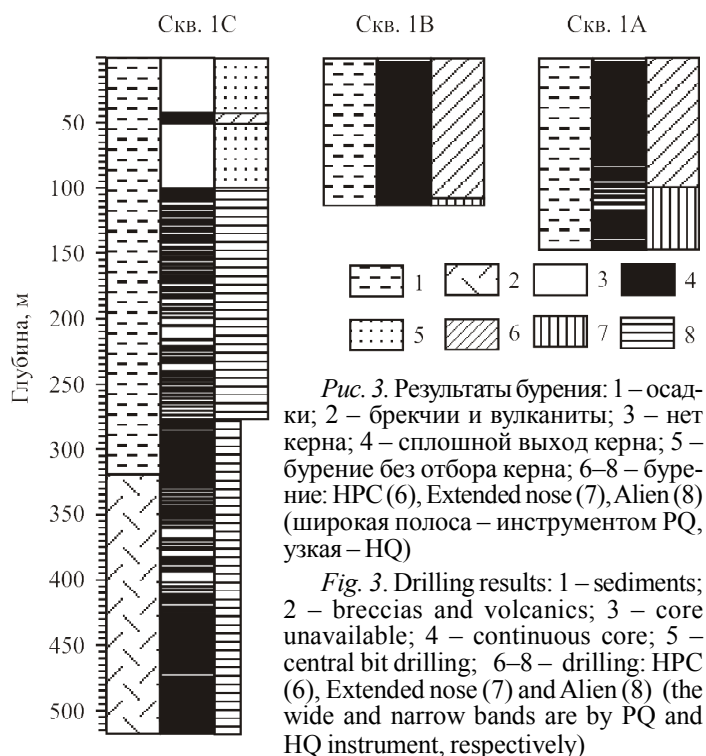
При бурении слабоуплотненных осадков внутренняя труба керноприемника с вкладышем находилась внутри внешней, однако выступали на 20 см от ее коронки (Extended nose). На забое внутреннюю трубу без вращения, а внешнюю с вращением задавливали в осадок. Забоя промывали водой. Керн поступал в пластиковый вкла-

дыш. Такой способ применен при бурении скв. 1А примерно от 100 м до забоя и несколько метров в скв. 1В.

Для плотных осадков и пород использовано роторное бурение (Alien), когда внутренняя труба находилась внутри керноприемника, керн поступал во вкладыш или без него. Промывку забоя осуществляли глинистым раствором. Бурение проводили в скв. 1С трубами PQ и HQ (см. рис. 3). В зависимости от плотности осадка и пород использовали кернорватели различной жесткости.

Выход керна составил 92 (скв. 1А), 98 (скв. 1В) и 63% (скв. 1С), причем в последней скважине 52% – для осадков и 76% – для брекчий и вулканитов. Граница осадков и брекчий по предварительным данным установлена на глубине 315 м. Контактные слои сильно выветрены, отдельные куски брекчий полностью разложены, но сохраняют структуру и цвет и легко режутся ножом. Базальные слои осадочной толщи включают прослой плотных слоистых песков. В осадках ниже глубины 100 м также отмечены частые прослой песков, из-за которых выход керна был неравномерный.

Специалисты ICDP в стволах скважин измерили магнитную восприимчивость, температуру, магнитное поле, электросопротивление, а также провели гамма- и акустический каротаж. Магнитная восприимчивость керна из осадочной толщи измерена также в полевых условиях.



ПЛАНИРУЕМЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Керн в пластиковых трубках разрежут на две половины, одна из которых, архивная, будет храниться в специальном кернохранилище лимнологического центра университета штата Миннесота. Рабочую половину керна сначала исследуют неструктивными методами. По всей длине керна проведут сканирование структуры и цвета, измерение магнитной восприимчивости через 1 мм, описание керна, рентгенографию, сканирование на элементный состав; измерят также физические свойства керна.

На втором этапе керн разделят на различные анализы. Из центральных частей по всей длине керна отоберут призму на палеомагнитные исследования, преимущественно для определения полярности (*u*-channel) и петромагнитных характеристик. Из оставшейся части каждый 2-сантиметровый отрезок керна разделят на следующие анализы: а) определение редких и породообразующих элементов, после чего по этим же образцам выполняют палинологический и диатомовый анализы, исследуют магнитные характеристики и аутигенные минералы; б) определение изотопов по диатомеям; в) исследование глинистых и тяжелых минералов, гранулометрии, седиментологии; г) определение изотопов кислорода и углерода, органического углерода, общего углерода, азота, серы; биогенного кремнезема, изотопа бериллия; д) определение влажности, пористости.

Отдельные образцы отберут на инфракраснолюминесцентное датирование и биомаркеры. Прослойки тефры опробуют на элементный состав и радиологическое датирование, турбидитовые слои –

на грануло-минералогические исследования, остатки органики – на карпологию, конкреции и стяжения – на минералогию.

Основными участниками с российской стороны являются СВКНИИ ДВО РАН, ДВГИ ДВО РАН, БПИ ДВО РАН, ААНИИ Росгидромета, с немецкой – Кельнский университет, институт А. Вегенера, Центр геологических исследований, с американской – Вашингтонский университет, университет штата Массачусетс, университет Аляски, университет штата Миннесота и др., с австрийской – Венский университет.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Национального научного фонда США, Министерства науки и образования Германии, Международной программы континентального бурения, РФФИ, ДВО РАН, Министерства науки Австрии.

ЛИТЕРАТУРА

Белый В. Ф., Белая Б. В. Поздняя стадия развития Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1998. – 108 с.

Белый В. Ф., Райкевич М. И. Впадина озера Эльгыгытгын (геологическое строение, морфоструктура, импактиты, задачи исследований и охрана косной природы). – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1994. – 27 с.

Борходоев В. Я., Минюк П. С. РФА озерных осадков для исследования геохимических показателей палеоклимата Северо-Востока России / VI Всерос. конф. по рентгеноспектр. анализу: материалы конф. (Краснодар, 5–10 окт. 2008 г.). – Краснодар: КГУ, 2008. – С. 280.

Глушкова О. Ю. Геоморфология и история развития рельефа района озера Эльгыгытгын // Природа впадины озера Эльгыгытгын (проблемы изучения и охраны). – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1993. – С. 26–48.

Глушкова О. Ю., Смирнов В. Н. Геоморфология и позднекайнозойская палеогеография района оз. Эльгыгытгын (Центральная Чукотка) // Геоморфология. – 2006. – № 1. – С. 57–69.

Глушкова О. Ю., Смирнов В. Н., Матросова Т. В. и др. Климатостратиграфическая характеристика и радиоуглеродные датировки террасового комплекса в бассейне оз. Эльгыгытгын // Вестник СВНЦ ДВО РАН. – 2009. – № 2. – С. 31–43.

Жузе А. П., Сечкина Т. В. Диатомовые водоросли в донных отложениях оз. Эльгыгытгын (Анадырское плоскогорье) // Тр. Лаб. озероведения АН СССР. – 1960. – Т. 10. – С. 55–62.

Кожевников Ю. П. Сосудистые растения окрестностей озера Эльгыгытгын // Природа впадины озера Эльгыгытгын (проблемы изучения и охраны). – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1993. – С. 62–82.

Комаров А. Н., Кольцова Т. В., Гурова Е. П., Гуров Е. П. Определение абсолютного возраста импактитов из кратера Эльгыгытгын методом треков // ДАН УССР. – 1983. – № 10. – Сер. Б. – С. 11–13.

Ложкин А. В., Андерсон П. М., Матросова Т. В. и др. Непрерывная летопись изменений природной среды Чукотки за последние 350 тыс. лет // Тихоокеан. геол. – 2007. – Т. 26, № 6. – С. 53–59.

- Матросова Т. В.* Современные спорово-пыльцевые спектры донных отложений озера Эльгыгытгын (Северо-Западная Чукотка) / XI Всерос. палинолог. конф. «Палинология: теория и практика». – М., 2005. – С. 156–157.
- Матросова Т. В.* Реконструкция растительности и климата северной Чукотки за последние 350 тыс. лет (по палинологическим данным осадков озера Эльгыгытгын). – Вестник СВНЦ ДВО РАН. – 2009. – № 2. – С. 23–20.
- Минюк П. С., Новачек Н. Р., Глушкова О. Ю. и др.* Палеоклиматические данные озера Эльгыгытгын, Северо-Восток России (комплексные исследования) // Процессы постседиментационного намагничивания и характер изменения магнитного поля и климата Земли в прошлом. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 2003. – С. 91–135.
- Сечкина Т. В.* Новые диатомовые из грунтов оз. Эльгыгытгын Анадырского района // Ботан. матер. отд. спор. раст. Ботан. ин-та АН СССР. – Л., 1956. – Т. 11. – С. 42–49.
- Федоров Г. Б., Швамборн Г., Большианов Д. Ю.* Колебания уровня озера Эльгыгытгын в позднечетвертичное время // Вестник СПб. ун-та. – 2008. – Сер. 7. – Вып. 1. – С. 73–78.
- Харитонов В. Г.* Диатомовые водоросли оз. Эльгыгытгын (Анадырский район) // Ботан. журн. – 1980. – Т. 65, № 11. – С. 1622–1628.
- Харитонов В. Г.* К флоре диатомовых водорослей озера Эльгыгытгын // Природа впадины озера Эльгыгытгын (проблемы изучения и охраны) / под ред. В. Ф. Белого, И. А. Черешнева. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 1993. – С. 95–104.
- Харитонов В. Г.* Особенности формирования структуры танатоценоза в оз. Эльгыгытгын : сб. тез. VIII школы диатомологов России и стран СНГ / под ред. С. И. Генкала. – Борок : Ин-т биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина, 2002. – С. 34–35.
- Шило Н. А., Ложкин А. В., Андерсон П. М. и др.* Первая непрерывная пыльцевая летопись изменений климата и растительности Берингии за последние 300 тысяч лет // Докл. РАН. Геология. – 2001. – Т. 376, № 2. – С. 231–234.
- Юрцев Б. А.* Ботанико-географическая зональность и флористическое районирование Чукотской тундры // Ботан. журн. – 1973. – Т. 58, № 7. – С. 812–821.
- Adler R. E., Polyak L., Ortiz J. D. et al.* Sediment record from the western Arctic Ocean with an improved Late Quaternary age resolution: HOTRAX core HLY0503-8JPC, Mendeleev Ridge // Global and Planetary Change. – 2009. – Vol. 68. – P. 18–29.
- Andersen K. K., Azuma N., Barnola J.-M. et al.* High-resolution record of Northern Hemisphere climate extending into the last interglacial period // Nature. – 2004. – Vol. 431. – P. 147–151.
- Asikainen C. A., Francus P., Brigham-Grette J.* Sedimentology, clay mineralogy and grain-size as indicators of 65 ka of climate change from El'gygytyn Crater Lake, Northeastern Siberia // J. Paleolimnology. – 2007. – Vol. 37, No. 1. – P. 105–122.
- Backman J., Moran K.* Introduction to special section on Cenozoic Paleoclimatology of the Central Arctic Ocean // Paleoclimatology. – 2008. – Vol. 23. – doi:10.1029/2007PA001516.
- Backman J., Moran K., McInroy D. B., Mayer L. A. and the Expedition 302 Scientists.* Proc. IODP. – Edinburgh: Integrated Ocean Drilling Program Management International, Inc., 2006. – Vol. 302.
- Bassinot F. C., Labeyrie L. D., Vincent E. et al.* The astronomical theory of climate and the age of the Brunhes-Matuyama magnetic reversal // Earth and Planet. Sci. Lett. – 1994. – Vol. 126. – P. 91–108.
- Brigham-Grette J., Melles M., Minyuk P. and Scientific Party.* Overview and Significance of a 250 ka Paleoclimate Record from El'gygytyn Crater Lake, NE Russia // J. Paleolimnology. – 2007. – Vol. 37, No. 1. – P. 1–16.
- Channell J. E. T., Xuan C.* Self-reversal and apparent magnetic excursions in Arctic sediments // Earth and Planet. Sci. Lett. – 2009. – Vol. 284. – P. 124–131.
- Cherepanova M. V., Snyder J., Brigham-Grette J.* Diatom stratigraphy of the past 250 ka from El'gygytyn Lake sediments, northeastern Russia // J. Paleolimnology. – 2007. – Vol. 37, No. 1. – P. 155–162.
- Cremer H., Van de Vijver B.* On Pliocaenicus costatus (Bacillariophyceae) in Lake El'gygytyn, East Siberia // Eur. J. Phycol. – 2006. – Vol. 41, No. 2. – P. 169–178.
- Cremer H., Wagner B.* The diatom flora in the ultra-oligotrophic Lake El'gygytyn, Chukotka // Polar Biology. – 2003. – Vol. 26. – P. 105–114.
- Cremer H., Wagner B., Juschus O., Melles M.* A microscopical study of diatom phytoplankton in deep crater Lake El'gygytyn, Northeast Siberia // Algological Studies. – 2005. – Vol. 116. – P. 147–169.
- Darby D., Jakobsson M., Polyak L.* Icebreaker expedition collects key Arctic seafloor and ice data // EOS Transaction, AGU. – 2005. – Vol. 86. – P. 549–556.
- Darby D. A., Polyak L., Bauch H. A.* Past glacial and interglacial conditions in the Arctic Ocean and marginal seas – a review // Progress in Oceanography. – 2006. – Vol. 71. – P. 129–144.
- Forman S. L., Pierson J., Gomez J. et al.* Luminescence geochronology for sediments from Lake El'gygytyn, northwest Siberia, Russia: constraining the timing of paleoenvironmental events for the past 200 ka // J. Paleolimnology. – 2007. – Vol. 37, No. 1. – P. 77–88.
- Gebhardt C. A., Niessen F., Kopsch C.* Central ring structure in one of the world's best-preserved impact craters // Geology. – 2006. – Vol. 34. – P. 145–148.
- Glushkova O. Yu., Smirnov V. N.* Pliocene to Holocene geomorphic evolution and paleogeography of the Elgygytyn Lake region, NE Russia // J. Paleolimnology. – 2007. – Vol. 37, No. 1. – P. 37–47.
- Glushkova O. Yu., Lozhkin A. V., Solomatkina T. B.* Stratigraphy and paleogeography of the Elgygytyn Lake in the Holocene (Northeastern Chukotka) // Тихоокеан. геол. – 1995. – Т. 14, № 4. – С. 23–30.
- Greenland Ice-Core Project (GRIP) Members.* Climate instability during the last interglacial period recorded in the GRIP ice core // Nature. – 1993. – Vol. 364. – P. 203–208.
- Groote P. M., Stuiver M., White J. W. C. et al.* Comparison of oxygen isotope records from the GISP2 and GRIP Greenland ice cores // Nature. – 1993. – Vol. 366. – P. 552–554.
- Gurov E. P., Koeberl C., Yamnichenko A.* El'gygytyn impact crater, Russia: Structure, tectonics, and morphology // Meteoritics & Planetary Science. – 2007. – Vol. 42, No. 3. – P. 307–319.

- Gurov E. P., Valter A. A., Gurova E. P., Kotlovskaja F. I. Elgygytgyn impact crater: shock metamorphism of volcanic rocks / 10th Lunar and Planet Science conference : Abstracts of papers. – Houston: NASA, PLI/USRA, 1979. – P. 479–481.
- Jakobsson M., Lovlie R., Arnold E.M. et al. Pleistocene stratigraphy and paleoenvironmental variation from Lomonosov Ridge sediments, central Arctic Ocean // *Global and Planetary Change*. – 2001. – Vol. 31. – P. 1–22.
- Juschus O., Melles M., Gebhardt C., Niessen F. Late Quaternary mass movement events in Lake El'gygytgyn, North-eastern Siberia // *Sedimentology*. – 2009. – doi: 10.1111/j.1365-3091.2009.01074.x
- Juschus O., Preusser F., Melles M., Radtke U. Applying SAR-IRSL methodology for dating fine-grained sediments from Lake El'gygytgyn, north-eastern Siberia // *Quaternary Geochronology*. – 2007. – Vol. 2. – P. 187–194.
- Layer P. W. Argon-40/Argon-39 age of the El'gygytgyn event, Chukotka, Russia // *Meteoritics & Planetary Science*. – 2000. – Vol. 35. – P. 591–599.
- Lozhkin A. V., Anderson P. M., Matrosova T. V., Minyuk P. S. The pollen record from El'gygytgyn Lake: implications for vegetation and climate histories of northern Chukotka since the late middle Pleistocene // *J. Paleolimnology*. – 2007. – Vol. 37, No. 1. – P. 135–153.
- Martinson G., Pisias N. G., Hays J. D. et al. Age dating and the orbital theory of the ice ages: development of a high-resolution 0 to 300-year chronostratigraphy // *Quaternary Res.* – 1987. – Vol. 27. – P. 1–29.
- Melles M., Brigham-Grette J., Glushkova O.Yu. et al. Sedimentary geochemistry of a pilot core from Lake El'gygytgyn – a sensitive record of climate variability in the East Siberian Arctic during the past three climate cycles // *J. Paleolimnology*. – 2007. – Vol. 37, No. 1. – P. 89–104.
- Melles M., Minyuk P., Brigham-Grette J., Juschus O. (eds). The expedition El'gygytgyn Lake 2003 (Siberian Arctic) // *Rep. Polar Mar. Res.* – 2005. – Vol. 509. – 139 p.
- Minyuk P. S., Brigham-Grette J., Melles M. et al. Inorganic geochemistry of El'gygytgyn Lake sediments, northeastern Russia, as an indicator of paleoclimatic change for the last 250 kyr // *J. Paleolimnology*. – 2007. – Vol. 37, No. 1. – P. 123–133.
- Moran K., Backman J., Brinkhuis H. et al. The Cenozoic palaeoenvironment of the Arctic Ocean // *Nature*. – 2006. – Vol. 441. – P. 601–605.
- Nesbitt H. W., Young G. M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites // *Nature*. – 1982. – Vol. 299. – P. 715–717.
- Niessen F., Gebhardt C.A., Kopsch C., Wagner B. Seismic investigation of the El'gygytgyn impact crater lake: preliminary results // *J. Paleolimnology*. – 2007. – Vol. 35, No. 1. – P. 49–63.
- Nolan M., Brigham-Grette J. Basic hydrology, limnology, and meteorology of modern Lake El'gygytgyn, Siberia // *J. Paleolimnology*. – 2007. – Vol. 35, No. 1. – P. 17–35.
- Nolan M., Liston G., Prokein P. et al. Analysis of Lake Ice dynamics and morphology on Lake El'gygytgyn, Siberia, using SAR and Landsat // *J. Geophys. Res.* – 2003. – Vol. 108, D2. – P. 8162–8174.
- Nowaczyk N. R., Minyuk P., Melles M. et al. Magnetostratigraphic results from impact crater Lake El'gygytgyn, northeastern Siberia: a 300 kyr long high-resolution terrestrial palaeoclimatic record from the Arctic // *Geophysical Journal Int.* – 2002. – Vol. 150, No. 1. – P. 109–128.
- Nowaczyk N., Melles M., Minyuk P. A revised age model for core PG1351 from Lake El'gygytgyn, Chukotka, based on magnetic susceptibility variations correlated to northern hemisphere insolation variations // *J. Paleolimnology*. – 2007. – Vol. 37, No. 1. – P. 65–76.
- Schwamborn G., Fedorov G., Schirrmeister L. et al. Periglacial sediment variations controlled by late Quaternary climate and lake level change at Elgygytgyn Crater, Arctic Siberia // *Boreas*. – 10.1111/j.1502-3885.2007.00011.x. ISSN 0300-9483.
- Serreze M. C. Arctic climates // *Encyclopedia of world climatology*. – Dordrecht : Springer, 2005. – P. 77–85.
- Storzer D., Wagner D.A. Fission track dating of El'gygytgyn, Popigai and Zhamanshin craters: no source for Australasian or North American tektites // *Meteoritics*. – 1979. – Vol. 14. – P. 541–542.

Поступила в редакцию 23.10.2009 г.

PALEOCLIMATIC RECORDS OF ELGYGYTGYN LAKE: A REVIEW OF OBTAINED STUDY RESULTS AND JOINT STUDY PROSPECTS

P. S. Minyuk, M. Melles, J. Brigham-Grette, C. Koeberl

This paper presents the results of multiproxy studies of Elgygytgyn Lake in Chukotka (67°30' N, 172°05' E). It includes weather records and hydrologic data, as well as the results of geochemical, mineralogic, diatom, palynologic and paleomagnetic studies of lake bottom sediments. Infrared stimulated luminescence age data are obtained for sediments from PG1351 and Lz1024 cores. Sediments are shown to have paleoclimatic criteria. Established climatic zones are compared with 1 to 9 sea oxygen isotopic stages.

Key words: Elgygytgyn Lake, paleoclimate, Pleistocene.