

УДК 551.351 (571.651)

МЕЖЛЕДНИКОВЬЯ И ЛЕДНИКОВЫЕ СТАДИИ СРЕДНЕГО ПЛЕЙСТОЦЕНА В ПЫЛЬЦЕВОЙ ЗАПИСИ оз. ЭЛЬГЫГЫТГЫН (Центральная Чукотка)

Е. Ю. Недорубова

*Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н. А. Шило ДВО РАН,
г. Магадан*

E-mail: super.exidia@yandex.ru

В отложениях кратерного оз. Эльгыгытгын, образовавшегося при падении метеорита 3,6 млн л. н. за полярным кругом Чукотки в районе с координатами 67°30' с. ш., 172°05' в. д. (интервал керна 17,29–6,05 м), было выделено 5 палинологических зон, которые соответствуют ледниковым и межледниковым эпохам и сопоставляются с 10–6-й МИС (374–130 тыс. л. н.). Реакция растительности на изменения климата в этом интервале позволяет рассматривать 9-ю и 7-ю изотопные стадии как межледниковья. Во время потеплений климата широко распространялись заросли кустарниковых берез и ольховника. Межледниковье было благоприятно для развития лиственнично-березовых лесов. В холодные подстадии доминировали травянистые тундры, сменявшиеся в долинах окружающего озера Анадырского плоскогорья лесотундровыми сообществами. Смена фитоценозов отчетливо проявляется на границе ледниковых и межледниковых стадий в последовательном замещении травянистых тундровых сообществ березово-кустарниковой и березово-ольховниковой крупнокустарниковой тундрой.

Ключевые слова: палинология, пыльцевые зоны, растительность, климат, изотопные стадии.

ВВЕДЕНИЕ

По географическому положению, размерам и древнему возрасту оз. Эльгыгытгын является наиболее информативным природным геообъектом для решения многих палеогеографических и палеоэкологических задач, особенно при изучении флористического аспекта, который позволяет выявить особенности хронологии этапов развития и изменения растительности, а также получить более разностороннюю информацию об изучаемом объекте исследования (Недорубова, 2017). Озеро образовалось в результате падения метеорита в заполярном районе Чукотки около 3,6 млн л. н. Наиболее значительный объем материала был получен в результате последней международной экспедиции «El'gygytgyr Drilling Project» в 2008–2009 гг., когда был поднят керн (скв. D1), характеризующий полную 317-метровую мощность озерных осадков. В непрерывной пыльцевой летописи, полученной при анализе осадков озера, поднятой последней экспедицией, был изучен интервал, охватывающий вторую половину

среднего плейстоцена общей стратиграфической шкалы квартера (Борисов, 2010). Он сопоставляется с 10-й, 9-й, 8-й, 7-й и 6-й морскими изотопно-кислородными стадиями (Lisiecki, Raymo, 2005). Границы пыльцевых зон (см. рисунок) соответствуют границам изотопных стадий. Корреляция пыльцевых зон с морскими изотопными стадиями основывается на данных комплексного изучения осадков глубоководных скважин 1A, 1B, 1C, пробуренных в 2009 г. (Nowaczyk et al., 2013), а также PG1351 и LZ1024 (Шило и др., 2001; Forman et al., 2007; Juschus et al., 2007).

При реконструкции растительности ледниковых и межледниковых интервалов необходимо учитывать, что спектры донных осадков оз. Эльгыгытгын отражают региональные особенности растительного покрова Чукотки, обладая сходством со спектрами южных районов региона, а не с локальной тундровой растительностью в окрестностях озера (Недорубова, 2014). Общее количество пыльцы древесных и кустарниковых растений в рецентных пыльцевых спектрах может достигать 45%. Особую роль в современных спорово-пыльцевых спектрах донных осадков играет пыльца *Duschekia fruticosa* (Rupr.) Pouzar

(35%), *Betula* (20%), *Pinus pumila* (Pall.) Regel (15%), которая занесена ветром с Анадырского плоскогорья (Ложкин и др., 2002, 2016; Матросова, 2006).

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

Для извлечения пыльцы и спор из озерных осадков использовали методику химической обработки проб, применяемую при исследовании арктических озер (Андерсон и др., 1994). Препараты изучали под микроскопом Motic DM-BA-300 при увеличении в 400–600 раз. Для статистического анализа в каждой пробе подсчитывали не менее 300 пыльцевых зерен. Для «холодных» спектров в отдельных случаях допустимой считалась сумма пыльцы в 100 зерен. Построение диаграмм по данным пыльцевого анализа выполняли с использованием компьютерных программ Tilia и Tilia-graph (<http://museum.state.il.us/pib/grimm/tilia>). На итоговой спорово-пыльцевой диаграмме отображены соотношения основных растительных таксонов (в левой части показаны группы растительности – древесные и кустарниковые растения, кустарничковые и травянистые растения, а также споры). Процентное содержание каждого пыльцевого таксона показано от суммы всех пыльцевых зерен. Участие спор определялось отдельно для каждого спорового таксона от суммы всей пыльцы как величина относительная.

АНАЛИЗ ДАННЫХ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты палинологического анализа отложений оз. Эльгыгытгын в интервале 374–130 тыс. л. н. (17,29–6,05 м) приведены на спорово-пыльцевой диаграмме (см. рисунок).

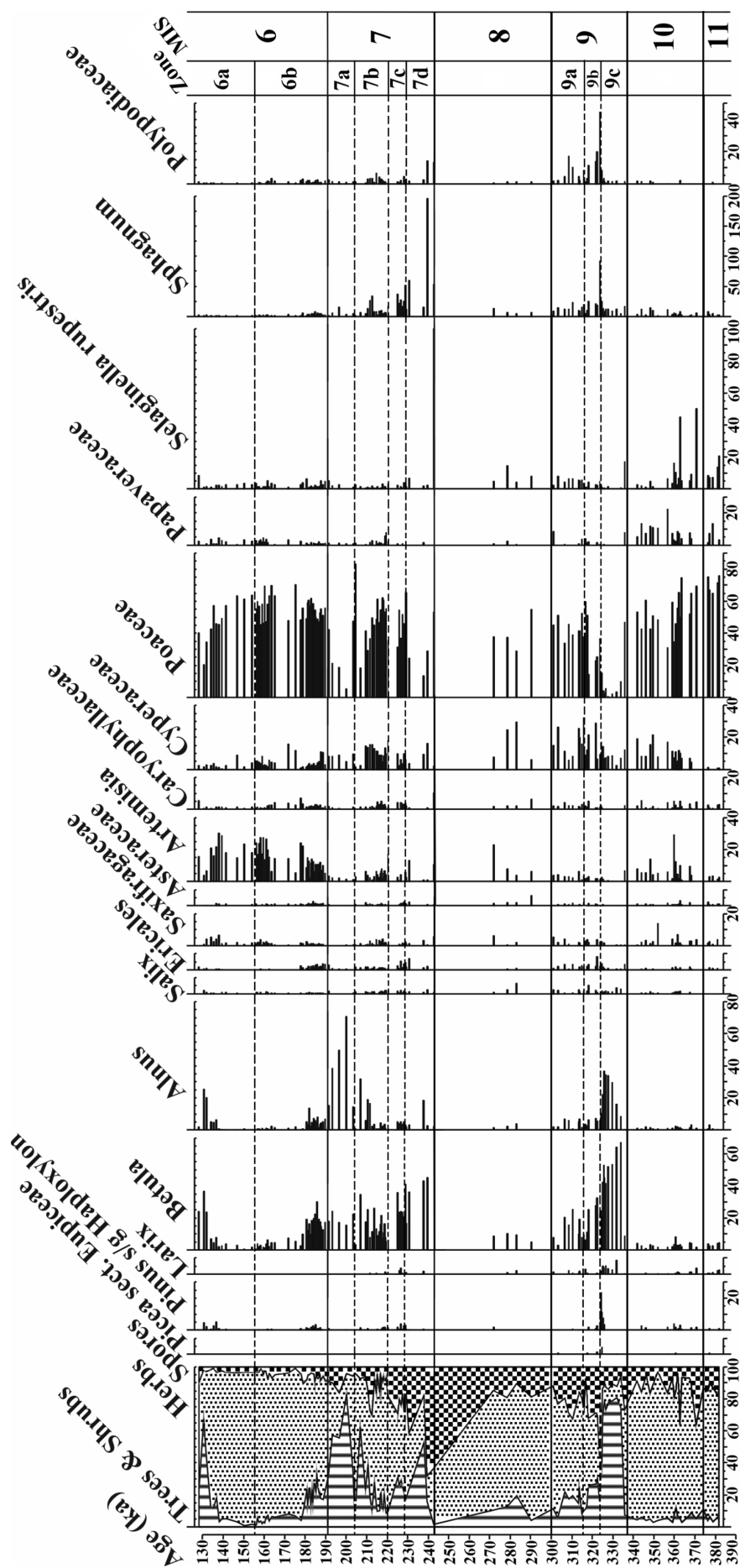
Реконструкция растительности Центральной Чукотки в период, сопоставляемый с морской изотопной стадией 10 (374–337 тыс. л. н.)

Спектры, установленные в осадках (17,29–16,23 м), отнесенных к изотопной стадии 10 (374–337 тыс. л. н.), отличаются высокими содержаниями пыльцы кустарничковых и травянистых растений, составляющими 78–93%. Доминантами спектров являются пыльца Poaceae (54%–75%), *Artemisia* (до 6%), Papaveraceae (8%), Cyperaceae (до 16%). В небольшом количестве присутствует пыльца Caryophyllaceae, Rosaceae, Brassicaceae, Polygonaceae, Ranunculaceae, Asteraceae, Saxifragaceae, Polemoniaceae. Группа древесных и кустарниковых растений представлена пыльцой *Pinus* s/g *Harpoxylon*, *Betula*, *Alnus*, *Salix*, отличающейся невысокими процентными показателями. Среди спор преобладают *Selaginella rupestris* (до 50%), *Sphagnum*, в некоторых пробах присутствуют споры Polypodiaceae. Спорово-пыльцевые спектры 10-й изотопной стадии об-

ладают многими общими чертами со спектрами верхней фазы 11-й изотопной стадии (Lozhkin et al., 2017), граница между которыми проходит 374 тыс. л. н. (Lisiecki, Raymo, 2005). Результаты палинологического анализа осадков, синхронных МИС 10, позволяют охарактеризовать ее как ледниковую стадию. Ландшафты с угнетенной бедной растительностью, по всей вероятности, напоминали по составу растительные сообщества о. Врангеля, находящегося в 600 км севернее оз. Эльгыгытгын. В доминирующей осоково-злаковой тундре сплошной растительный покров отсутствовал. Каменистые склоны и небольшие возвышенности занимали сообщества полыней и полярных маков. *Salix* была представлена только кустарниковыми видами, прижатыми к почве, но в защищенных участках долин формировавшими незначительные по площади заросли высотой не более 1 м.

Реконструкция растительности Центральной Чукотки в период, сопоставляемый с морской изотопной стадией 9 (337–300 тыс. л. н.)

Морская изотопно-кислородная стадия 9 более сложная, в ней выделяются три спорово-пыльцевые зоны: 9a (15,35–14,25 м), 9b (15,75–15,35 м), 9c (16,21–15,75 м). Зона 9c (337–324 тыс. л. н.) находится на границе с 10-й изотопной стадией и резко отличается от нее по пыльцевым характеристикам. Прежде всего обращают на себя внимание пиковые значения пыльцы древесных и кустарниковых растений (до 80%). Особенно примечательно высокое содержание в спектрах пыльцы *Larix* (5–10%), свидетельствующее о развитии в окрестностях озера сомкнутого лиственничного леса с густым подлеском из ольховника, кустарниковых берез и сосны стланиковой. Хотя древесные растительные формы *Betula*, *Alnus*, *Salix* не могут быть выделены по морфологии пыльцы, но вполне возможно, что климатические условия были благоприятны для развития лиственнично-березовых лесов и галерейных лесов с участием ольхи (*Alnus hirsuta*). Небольшое участие в спектрах пыльцы *Pinus pumila* (до 8%) показывает, что сосна стланиковая еще не образовывала заросли в горах выше границы леса. Лиственничные леса, господствовавшие в районе оз. Эльгыгытгын в течение пыльцевой зоны 9c, можно сравнить с современными лесами в глубоких горных долинах Северного Приохотья, бассейнов верховьев рр. Колыма и Индигирка. В более холодный интервал изотопной стадии 9, в зону 9b (324–315 тыс. л. н.), территория, занимаемая лиственничными лесами, резко сокращается. Широко распространяются осоково-злаковые тундры, сохраняющие доминирующую роль в растительном покрове также в течение периода, синхронного с пыльцевой зоной 9a (315–300 тыс. л. н.).



Спорово-пыльцевая характеристика осадков оз. Эльгыгьттын, синхронных 10-й, 9-й, 8-й, 7-й и 6-й изотопным стадиям, скважина D1

Spore and pollen characteristics of sediments from Lake El'gygytyn, core D1. The record is age equivalent to isotope stages 10, 9, 8, 7 and 6

Сопоставление спорово-пыльцевых спектров МИС 9 с современным пыльцевым дождем Северной Чукотки позволяет сделать вывод о том, что эта стадия характеризует растительность межледниковья.

Реконструкция растительности Центральной Чукотки в период, сопоставляемый с морской изотопной стадией 8 (300–243 тыс. л. н.)

Спектры МИС 8 (14,23–12,49 м) отличаются доминированием пыльцы травянистых и кустарниковых растений – 60–80%, особенно пыльцы *Poaceae* (до 70%), *Artemisia* (до 25%). Постоянно встречаются *Caryophyllaceae*, *Ericales*, *Polygonaceae*, *Saxifragaceae*, *Brassicaceae*, в незначительных количествах присутствует *Paraveraceae*. Группа древесных и кустарниковых растений (до 30%) представлена пыльцой *Betula* (до 18%), *Alnus* (до 6%), *Salix* (до 5%), *Pinus* s/g *Haploxylon* (до 1%). Количество спор *Selaginella rupestris* колеблется от 2 до 13%. Уменьшается содержание спор *Sphagnum* и *Polypodiaceae* (до 7%). В незначительном количестве встречаются споры *Lycorodiaceae*. Изучение этой стадии было затруднено из-за большого количества «пустых» проб, в которых содержание пыльцевых зерен не достигало «пороговых значений» для построения непрерывной пыльцевой диаграммы. В связи с этим на диаграмме можно заметить некоторые пробелы. Отраженное в спектрах МИС 8 похолодание климата привело к значительному сокращению древесной и кустарниковой растительности и расширению территории арктической и субарктической тундры. В условиях холодного и сухого климата распространяются представители ксерофитных сообществ (*Artemisia*, *Caryophyllaceae*, *Paraveraceae*, *Selaginella rupestris*). К югу от Анадырского плоскогорья были развиты типичные тундры с кустарниковой березой и ольховником. В районе озера господствовала тундра с несомкнутым покровом и стелющимися формами ивы.

Реконструкция растительности Центральной Чукотки в период, сопоставляемый с морской изотопной стадией 7 (243–191 тыс. л. н.)

Детализация пыльцевой летописи 7-й и 6-й изотопных стадий позволяет вновь обратиться к ним.

Морская кислородно-изотопная стадия (МИС) 7 (243–191 тыс. л. н.) так же, как и МИС 9 (337–300 тыс. л. н.), имеет сложное строение. В некоторых шкалах в ней выделяется ряд теплых и холодных подстадий 7.1, 7.2, 7.3, 7.4, 7.5 (Bassinot et al., 1994).

Палинологические данные, характеризующие эту стадию в осадках оз. Эльгыгытгын, отражают черты теплого и холодного климата. Стадия подразделяется на 4 пыльцевые зоны: 7a (9,93–9,59 м), 7b (11,27–9,93 м), 7c (11,97–11,27 м), 7d (12,47–11,97 м) по изменению содержания основ-

ных пыльцевых таксонов (см. рисунок). Зона 7d (243–229 тыс. л. н.) свидетельствует о широком распространении злаково-осоковой тундры (содержание пыльцы *Poaceae* достигает 50–60%, *Cyperaceae* – до 20%). Также для спектров зоны 7d важными таксонами являются пыльца *Betula* и пыльца *Salix*. Вероятно, что кустарниковая береза была основным компонентом древесной растительности и произрастала на нагорье в окрестностях оз. Эльгыгытгын. Заметное участие в спектрах спор *Sphagnum* указывает на развитие умеренно влажных растительных сообществ. В спорово-пыльцевых спектрах зоны 7c (229–220 тыс. л. н.) наблюдается довольно высокое содержание пыльцы древесных и кустарниковых растений – до 35%, в основном за счет пыльцы *Betula* (до 60%). Количество пыльцы *Pinus* s/g *Haploxylon* составляет до 5%, *Alnus* – до 8%, *Salix* – до 2%. Эта реконструкция свидетельствует о том, что кустарниковая береза играла важную роль в региональной растительности, которую можно охарактеризовать как березово-кустарниковую тундру. Пыльцевая зона 7b (220–204 тыс. л. н.) отличается преобладанием пыльцы *Betula* над *Alnus*. Максимальное количество пыльцы *Betula* в этой подзоне напоминает позднеледниковые спектры северной Аляски, что отражает развитие «продуктивной высококустарниковой тундры» (Anderson, Brubaker, 1994). Проникновение древовидных берез на север Чукотки было обусловлено, вероятно, более теплыми, чем в настоящее время, климатическими условиями. Это подчеркивается максимальными значениями пыльцы *Alnus* (до 70%) зоны 7a (204–191 тыс. л. н.). Зоны 7a и 7d могут коррелировать с теплыми подстадиями 7.1 и 7.5 (Bassinot et al., 1994). Полученные данные позволяют отнести МИС 7 к межледниковью.

Реконструкция растительности Центральной Чукотки в период, сопоставляемый с морской изотопной стадией 6 (191–130 тыс. л. н.)

По результатам палинологического анализа, в следующей после межледниковья морской изотопной стадии 6 (см. рисунок) выделяются две спорово-пыльцевые зоны: 6a (6,71–6,05 м) и 6b (9,56–6,71 м). Палинологическая зона 6b (191–155 тыс. л. н.) является переходной к 7-й изотопной стадии и характеризует начало постепенного потепления климата. Спорово-пыльцевые спектры зоны 6b отражают растительность, близкую интерстадиальным растительным сообществам (Недорунова, 2017). В ней выделяются два пика древесно-кустарниковых сообществ с преобладанием березы и ольховника на фоне доминирования злаково-полевой (*Poaceae-Artemisia*) тундры. Следующая зона 6a (155–130 тыс. л. н.) свидетельствует о холодных климатических условиях, когда в районе озера господствовала

арктическая тундра с доминированием злаков и осок. Низкий температурный режим привел к увеличению площади произрастания ксерофитных сообществ. Кустарниковая растительность отступила к югу. Скорее всего, она была приурочена к долинам рек и сохранялась в рефугиумах. Встречающаяся в спектрах редкая пыльца кустарников (*Betula*, *Duschekia*), по всей вероятности, была принесена ветром с дальних площадей из рассеянных популяций. Наиболее близкие аналоги ископаемых спектров встречаются на о. Врангеля.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования детализирована пыльцевая запись осадков оз. Эльгыгытгын (интервал керна 17,29–6,05 м), позволившая реконструировать природную среду Центральной Чукотки в период от 374 до 130 тыс. л. н.

Полученные данные свидетельствуют о том, что на границе ледникового 10-й изотопной стадии с межледниковьем 9 происходит значительная перестройка растительного покрова, обусловленная потеплением климата и сменой фитоценозов. Она выражается в замещении ландшафтов с угнетенной бедной растительностью осоково-злаковой тундры с сообществами полыней и полярных маков, произрастающих на небольших возвышенностях и каменистых склонах на лиственничные сообщества с густым подлеском из ольховника, кустарниковых берез и сосны стланиковой. Затем наблюдается обратный переход к эпохе похолодания – развитие в 8-ю изотопную стадию мозаичной травянистой тундры. В спорово-пыльцевых спектрах 7-й изотопной стадии сукцессии отражаются резким увеличением количества пыльцы древесных и кустарниковых растений и прежде всего пыльцы *Betula* и *Alnus*, свидетельствующих о развитии лиственничных березово-ольховых лесов. Похолодание климата в течение 6-й изотопной стадии вновь вызывает преимущественное развитие тундровых осоково-злаковых сообществ. Наиболее резко смена биоценозов наблюдается на границе 10-й и 9-й, 8-й и 7-й изотопных стадий. Сукцессионные процессы выражаются, прежде всего, в резком увеличении в растительном покрове сообществ кустарниковых берез (см. рисунок).

Исследования поддержаны Дальневосточным отделением РАН (проект 15-I-2-067), Российским фондом фундаментальных исследований (проект 15-05-06420).

ЛИТЕРАТУРА

Андерсон П. М., Ложкин А. В., МакДональд Г., Эдвардс М. Протокол 1: Пыльца и микрофоссилии на-

земных отложений // Палеоклиматы арктических озер и эстуариев. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 1994. – С. 5–32.

Борисов Б. А. Об изменении уровня нижней границы четвертичной системы и уточнении возраста границ ее основных подразделений // Региональная геология и металлогения. – 2010. – № 41. – С. 26–28.

Ложкин А. В., Андерсон П. М., Белая Б. В., Матросова Т. В. Отражение современного пыльцевого дождя Чукотки в донных осадках озер // Четвертичная история Берингии. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 2002. – С. 40–51.

Ложкин А. В., Андерсон П. М., Минюк П. С., Недорубова Е. Ю. Смена биоценозов в Восточной Арктике 374–917 тыс. лет назад (по данным палинологического анализа осадков озера Эльгыгытгын) // Вестник СВНЦ ДВО РАН. – 2016. – № 2. – С. 3–9.

Матросова Т. В. Современные спорово-пыльцевые спектры Анадырского плоскогорья (оз. Эльгыгытгын) // Геология, география и биологическое разнообразие Северо-Востока России : Материалы Дальневост. регион. конф., посвящ. памяти А. П. Васильковского и в честь его 95-летия (Магадан, 28–30 нояб. 2006 г.). – Магадан : СВНЦ ДВО РАН, 2006. – С. 159–162.

Недорубова Е. Ю. Изменение природной среды Северной Чукотки в течение 6-й и 7-й изотопных стадий (по данным палинологического анализа осадков оз. Эльгыгытгын) // Вестник СВНЦ ДВО РАН. – 2017. – № 3. – С. 29–35.

Недорубова Е. Ю. Природная среда Чукотки 360–430 тыс. лет назад // Там же. – 2014. – № 4. – С. 29–33.

Шилов Н. А., Ложкин А. В., Андерсон П. М. и др. Первая непрерывная пыльцевая летопись изменений климата и растительности Берингии за последние 300 тысяч лет // ДАН. – 2001. – Т. 376, № 2. – С. 231–234.

Anderson P. M., Brubaker L. B. Vegetation history of Northcentral Alaska: a mapped summary of Late Quaternary pollen data // Quatern. Sci. Rev. – 1994. – Vol. 13. – P. 71–92.

Bassinet F. C., Labeyrie L. D., Vincent E. et al. The astronomical theory of climate and the age of the Brunhes – Matuyama magnetic reversal // Earth Planet. Sci. Lett. – 1994. – Vol. 126. – P. 91–108.

Forman S., Pierson J., Gomez J. et al. Luminescence geochronology for sediments from Lake El'gygytyn, Northeast Siberia, Russia: constraining the timing of paleoenvironmental events for the past 200 ka // J. of Paleolimnology. – 2007. – No. 1. – P. 77–88.

Juschus O., Preusser F., Melles M., Radtke U. Applying SAR-IRSL methodology for dating fine-grained sediments from Lake El'gygytyn, Northeast Siberia // Quaternary Geochronology. – 2007. – No. 2. – P. 187–194.

Lisiecki L. E., Raymo M. E. A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic $\delta^{18}\text{O}$ records // Paleoceanography. – 2005. – Vol. 20. – PA1003. – doi:10.1029/2004PA001071

Lozhkin A. V., Minyuk P. S., Anderson P. M. et al. Variability in landscape and lake system responses

to glacial and interglacial climates during the Middle Pleistocene based on palynological and geochemical data from Lake El'gygytyn, Eastern Arctic // Review of Palaeobotany and Palynology. – 2017. – Vol. 246. – P. 1–13.

Nowaczyk N. R., Haltia E. M., Ulbricht D. et al. Chronology of Lake El'gygytyn sediments – a combined magnetostratigraphic, palaeoclimatic and orbital tuning study based on multi-parameter analyses // Climate of the Past. – 2013. – Vol. 9. – P. 2413–2432.

Поступила в редакцию 12.12.2017 г.

MID-PLEISTOCENE INTERGLACIALS AND GLACIATION STAGES IN THE CONTINUOUS POLLEN RECORD FROM LAKE EL'GYGYTGYN (Central Chukotka)

E. Yu. Nedorubova

North-East Interdisciplinary Scientific Research Institute n. a. Shilo FEB RAS, Magadan

The crater Lake El'gygytyn resulted from a meteorite impact that occurred 3.6 million years ago within the Arctic Circle in Chukotka, at 67°30' N, 172°05' E; . In its sediments, 5 palynologic zones were distinguished within the interval between 374 and 130 thousand yrs. BP, referred to as marine isotope stages 10, 9, 8, 7, and 6. A continuous pollen chronicle from this interval of plant history permits to consider stages 9 and 7 interglacials. Interglacial climatic conditions were favorable for the development of larch-birch forests. Herbaceous tundra dominated in the colder substages, being replaced by forest-tundra communities in the valleys of the Anadyr Plateau, surrounding the lake. The change in phytocenosis is clearly manifested at the boundary of glacial and interglacial stages in the successive replacement of grassy tundra communities by birch-shrub and birch-alder-larch forest/tundra.

Keywords: palynology, pollen zones, vegetation, climate, isotope stage.

REFERENCES

- Anderson, P. M., Brubaker, L. B., 1994, Vegetation History of Northcentral Alaska: a Mapped Summary of Late Quaternary Pollen Data, *Quatern. Sci. Rev.*, vol. 13, pp. 71–92.
- Anderson, P. M., Lozhkin, A. V., MacDonald, G., Edwards M., 1994, Protocol 1: Pollen and Microfossils of Terrestrial Sediments, *Paleoclimates of Arctic Lakes and Estuaries*, Magadan, NEISRI FEB RAS, pp. 5–32 [In Russian].
- Bassinot, F. C., Labeyrie, L. D., Vincent, E., Quidel-leur, X., Shackleton, N. J., Lancelot, Y., 1994, The Astronomical Theory of Climate and the Age of the Brunhes – Matuyama Magnetic Reversal, *Earth Planet. Sci. Lett.*, vol. 126, pp. 91–108.
- Borisov, B. A., 2010, On the Change in the Level of the Lower Boundary of Quaternary System and the Specified Age of its Main Departments, *Regional Geology and Metallogeny*, no. 41, pp. 26–28 [In Russian].
- Forman, S., Pierson, J., Gomez, J. et al., 2007, Luminescence Geochronology for Sediment from Lake El'gygytyn, Northeast Siberia, Russia: Constraining the Timing of Paleoenvironmental Events for the Past 200 ka, *J. of Paleolimnology*, no. 1, pp. 77–88.
- Juschus, O., Preusser, F., Melles, M., Radtke, U., 2007, Applying SAR-IRSL Methodology for Dating Fine-Grained Sediments from Lake El'gygytyn, Northeast Siberia, *Quaternary Geochronology*, no. 2, pp. 187–194.
- Lisiecki, L. E., Raymo, M. E., 2005, A Pliocene-Pleistocene Stack of 57 Globally Distributed Benthic $\delta^{18}\text{O}$ Records, *Paleoceanography*, vol. 20, PA1003, doi:10.1029/2004PA001071
- Lozhkin, A. V., Anderson, P. M., Belaya, B. V., Matrosova, T. V., 2002, The Reflection of the Modern Pollen Rain of Chukotka in the Bottom Sediments of Lakes, *The Quaternary Paleogeography of Beringia*, Magadan, NEISRI FEB RAS, pp. 40–51 [In Russian].
- Lozhkin, A. V., Anderson, P. M., Minuk, P. S., Nedorubova, E. Yu., 2016, Changes in Biocenoses in the Eastern Arctic 374–917 Thousand Years B. P. (Palynological Data from El'gygytyn Lake), *North-East Science Center Bulletin*, no. 2, pp. 3–9 [In Russian].
- Lozhkin, A. V., Minyuk, P. S., Anderson, P. M., Nedorubova, E. Yu., Korzun, J. A., 2017, Variability in Landscape and Lake System Responses to Glacial and Interglacial Climates During the Middle Pleistocene Based on Palynological and Geochemical Data from Lake El'gygytyn, Eastern Arctic, *Review of Palaeobotany and Palynology*, vol. 246, pp. 1–13.
- Matrosova, T. V., 2006, Modern Spore-Pollen Spectra of Anadyr Plateau (El'gygytyn Lake), *Geology, Geography and Biological Diversity of the North-East of Russia: Materials of the Far Eastern Regional Conference Dedicated to the Memory of A. P. Vas'kovskii and in Honor of his 95th Anniversary (Magadan, 28–30 Nov. 2006)*, Magadan, NESR FEB RAS, pp. 159–162 [In Russian].
- Nedorubova, E. Yu., 2014, Chukotka Environment 360–430 Thousand Years Ago (by Data from the Palynological Study of Lake El'gygytyn Sediments), *North-*

East Science Center Bulletin, no. 4, pp. 29–33 [In Russian].

Nedorubova, E. Yu., 2017, Environmental Changes in Northern Chukotka during Marine Isotope Stages 6 and 7 (as Reconstructed from Palynological Data from Lake El'gygytgyn), *ibid.*, no. 3, pp. 29–35 [In Russian].

Nowaczyk, N. R., Haltia, E. M., Ulbricht, D. et al., 2013, Chronology of Lake El'gygytgyn Sediments – A Combined Magnetostratigraphic, Palaeoclimatic, and

Orbital Tuning Study Based on Multi-Parameter Analyses, *Climate of the Past*, vol. 9, pp. 2413–2432.

Shilo, N. A., Lozhkin, A. V., Belaya, B. V., Stetsenko, T. V., Glushkova, O. Yu., Minyuk, P. S., Anderson, P. M., Brigham-Gretti, J., Melles, M., Novachek, N., Forman, S., 2001, First continuous pollen record of climate and vegetation changes in Beringia for the past 300 ka, *Reports on Earth Sciences*, vol. 376, pp. 19–22 [In Russian].