

НЕПРЕРЫВНАЯ ЛЕТОПИСЬ ИЗМЕНЕНИЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ ЧУКОТКИ ЗА
ПОСЛЕДНИЕ 350 ТЫСЯЧ ЛЕТ

*А.В. Ложкин¹, П.М. Андерсон², Т.В. Матросова¹, П.С. Минюк¹, Дж. Бриггем-
Гретте³, М. Меллес⁴*

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

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

³ Массачусетский университет, г. Амхерст, США

⁴ Институт геофизики и геологии, г. Лейпциг, Германия

Поступила в редакцию 22 августа 2006 г.

При комплексном изучении верхнего 1283-сантиметрового слоя осадков оз. Эльгыгытгын, образовавшегося около 4 млн лет назад при падении метеорита на севере Чукотки, получена первая непрерывная летопись экстремальных перестроек климатов и растительности Берингии от середины среднего плейстоцена до современности (морские изотопные стадии 1–7 и верхняя часть изотопной стадии 8). В течение этого периода климат был теплее современного 8600–10700 л. н. (по радиоуглероду) и в оптимум позднеплейстоценового межледниковья (изотопная подстадия 5e, 116–128 тыс. л. н.). Продолжение исследований о осадков оз. Эльгыгытгын международной экспедицией (Германия–Россия–США) в 2003 году позволило получить новые данные об изменении растительного покрова в среднем плейстоцене и первую информацию о среднеплейстоценовом межледниковье (изотопная стадия 9, 297–347 тыс. л. н.). Пыльцевые спектры, характеризующие среднеплейстоценовое межледниковье, подобны спектрам ранней стадии позднеплейстоценового межледниковья и климатического оптимума в переходный от плейстоцена к голоцену период.

Климатическая летопись оз. Эльгыгытгын является опорной для стратиграфических построений и корреляций в восточном секторе Арктики и для понимания климатических изменений, исследуемых в рамках Международных проектов “Палеоклиматы по пересечению Полос–Экватор–Полос” (Pole–Equator–Pole Paleoclimates Project), “Глобальные изменения прошлого” (Past Global Changes Project) и др.

Ключевые слова: озерные осадки, климат, растительность, плейстоцен, голоцен, Берингия.

ВВЕДЕНИЕ

Первая непрерывная летопись изменений климата и растительности Берингии за послеплейстоценовое время была получена при комплексном изучении верхнего 1283-сантиметрового слоя осадков кратерного оз. Эльгыгытгын [5]. Озеро образовалось около 4 млн лет назад при падении метеорита на севере Чукотки в районе с координатами 67° 30' с. ш., 172° 05' в. д. (рис. 1). Оно находится в котловине диаметром 17 км, имеет овальную форму; его размеры составляют 12–14 км в диаметре; абсолютная отметка поверхности воды – 489 м. Дно в центральной части озера (9 км в диаметре) сравнительно ровное, с глубинами около 170 м. Здесь

пройжены скважины, вскрывшие алевроиты, на некоторых уровнях с хорошо выраженной тонкой слоистостью или включающие мелкозернистый песок.

Пионерная пыльцевая летопись осадков оз. Эльгыгытгын (рис. 2) охватывает время экстремальных перестроек климатов и растительности от середины среднего плейстоцена до современности. По своей продолжительности эта летопись конкурирует с данными по Гренландскому ледяному щиту, но в отличие от ледяного керна осадки оз. Эльгыгытгын дают детальную картину реакции наземной растительности в восточном секторе Арктики на глобальное климатическое воздействие в течение морских изотопных стадий 8–1.



Рис. 1. Географическое положение оз. Эльгыгытгын.

МЕТОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Диаграмма на рис. 2 включает 13 пыльцевых зон. Зоны выделяются по изменению соотношений групп пыльцы древесных и кустарниковых, кустарничковых и травянистых растений, группы спор и по изменению содержания ключевых пыльцевых и споровых таксонов. Участие каждого пыльцевого таксона приводится в процентах от суммы всех пыльцевых зерен, а содержание спор – как относительная величина в процентах от общего количества пыльцевых зерен для каждого спорового таксона. Последовательное чередование трех главных типов растительности – доминирование кустарников (пыльцевые зоны E13, E12, E8, E7, E6), преобладание трав и кустарничков (пыльцевые зоны E11, E9, E5, E1) и смешанный, представленный травянисто-кустарниковыми сообществами (зоны E10, E4, E3, E2), а также серии радиоуглеродных и оптико-люминесцентных датировок (рис. 2) позволяют сопоставить выделенные пыльцевые зоны с морскими изотопными стадиями [10].

Как показывают новые палинологические анализы осадков озера, приведенные на рис. 3, зона E1 на пыльцевой диаграмме рис. 2 соответствует верхней части изотопной стадии 8, а диаграмма в целом охватывает интервал в 267–270 тысяч лет. Выделение пыльцевых зон E2, E3 и E4 обосновано изменениями в содержании таких таксонов, как *Pinus* subgen. *Haploxylon*, *Betula*, *Alnus*, *Artemisia*, подчеркивающих неоднократную, обусловленную флуктуациями климата смену травянисто-березовых кустарниковых тундр травянистыми или травянисто-оль-

ховниково-березовыми. Эти зоны, отражающие растительные сообщества среднеплейстоценового интерстадиала, могут соответствовать изотопной стадии 7 (195–251 тыс. л. н.). Пыльцевые характеристики зон несут черты ледниковых и межледниковых спектров, аналоги которых представляют как бы смесь современных спектров о. Врангеля, северных склонов хр. Брукс (Аляска) и северо-запада Аляски [2, 9]. Среднеплейстоценовый возраст пыльцевой зоны E5 подтверждается оптико-люминесцентной датировкой $163\,600 \pm 1\,2200$ л. н. (UIC-675) на глубине 650–665 см. Характерные для спектров зоны высокое содержание пыльцы *Poaceae*, пики пыльцы *Artemisia*, *Papaveraceae* показывают развитие арктических с прерывистым покровом тундр в условиях сухого климата. Отраженное в спектрах весьма глубокое похолодание позволяет отнести зону E5 к изотопной стадии 6 (128–195 тыс. л. н.).

Пыльцевые зоны E6, E7 и E8 сопоставляются с изотопной стадией 5 (75–128 тыс. л. н.). Спектры этих зон дали первое убедительное доказательство значительного потепления климата Берингии в начале позднего плейстоцена. Максимум последнего межледниковья (изотопная подстадия 5e) отражен спектрами пыльцевой зоны E6 с пиками пыльцы *Betula* и *Alnus* (рис. 2). Вполне вероятно, в ландшафте северной Чукотки господствовала березовая лесотундра. Хотя пыльца *Larix* не установлена в спектрах, можно полагать, лиственничные леса распространялись на окружающем озеро нагорье. Такие реконструкции свидетельствуют, что границы *Larix dahurica* и древовидных *Betula* располагались 116–128 тыс. л. н. на 600 км севернее современных.

Доминирующая в спектрах зоны E7 (изотопная подстадия 5d, 104–116 тыс. л. н.) пыльца *Pinus* subgen. *Haploxylon* (*Pinus pumila*) показывает, что растительность внутри водосборной площади оз. Эльгыгытгын была подобна современным переходным между тундрой и тайгой фитоценозам Южной Чукотки, называемым стелющимися лесами [8]. Зона E8, по всей вероятности, соответствует изотопным подстадиям 5a, 5b и 5c (74–104 тыс. л. н.). Спорово-пыльцевые спектры этой зоны отражают региональные и локальные растительные сообщества – от кустарниковой березовой тундры с локальным увеличением роли *Duschekia fruticosa* и *Pinus pumila* до высококустарниковой тундры из *Pinus pumila*, *Duschekia fruticosa* и *Betula middendorffii*.

В верхней части диаграммы на рис. 2 выделяются две травянистые пыльцевые зоны (E9 и E11) с устойчивым составом спорово-пыльцевых спектров. Спектры зоны E9, сопоставляемой с изотопной стадией 4 (64–75 тыс. л. н.), продуцированы

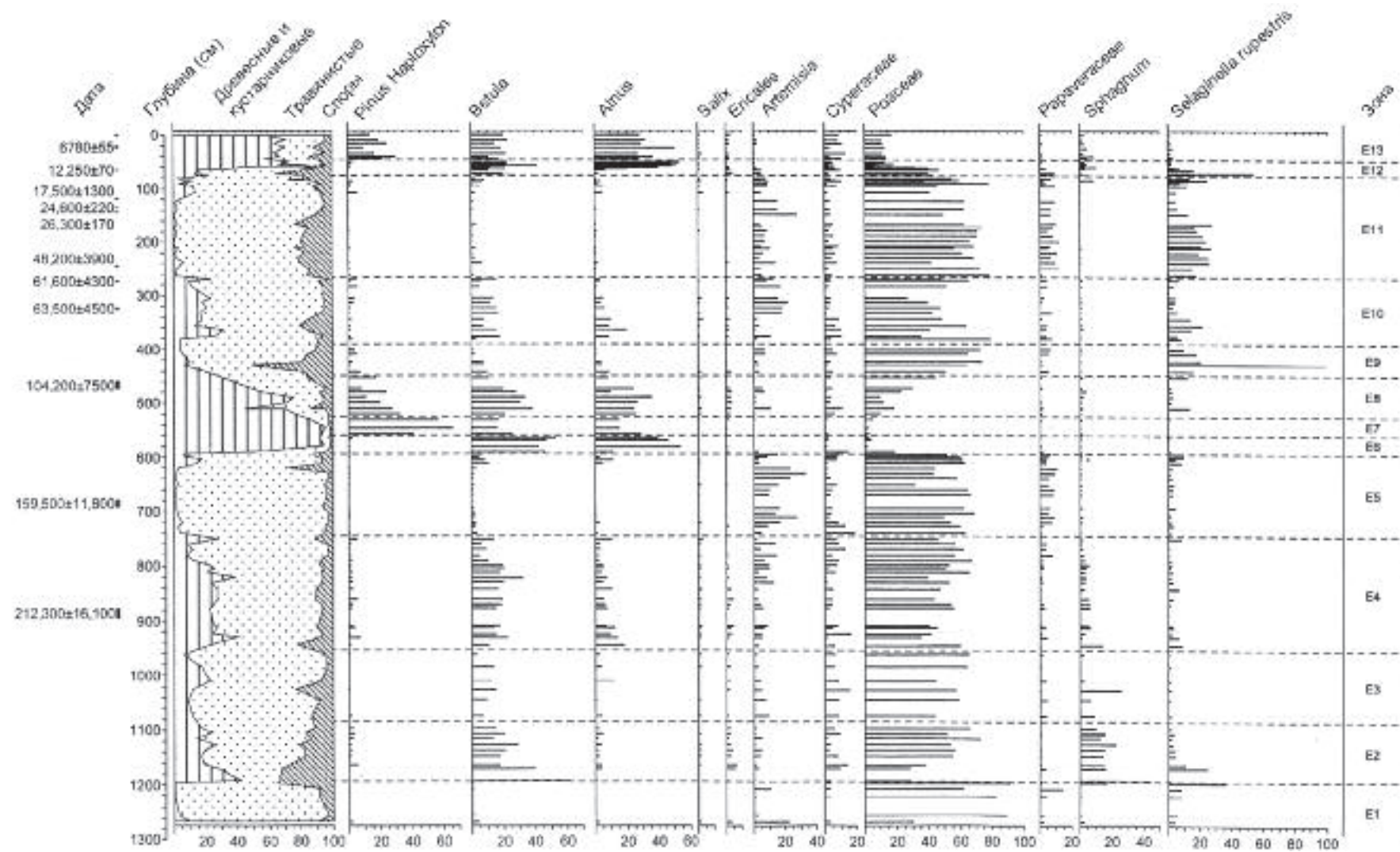


Рис. 2. Пионерная спорово-пыльцевая диаграмма толщи осадков оз. Эльгыгытгын.

тундровыми злаково-травянистыми сообществами во время глубокого похолодания климата. Спектры зоны E11, отнесенной к изотопной стадии 2 (12,3–27,4 тыс. л. н.), подчеркивают преимущественное развитие ксерофитной тундровой растительности.

В отличие от травянистых пыльцевых зон E9 и E11 спектры зоны E10 характеризуются заметным изменением на разных уровнях роли основных пыльцевых и споровых таксонов, отражающим неустойчивый климат позднеплейстоценового интерстадиала. В целом спектры этой зоны показывают, что в региональном и локальном растительном покрове доминировала сухая полынно-злаковая тундра с участием ольховника, кустарниковых берез и ивы, развивавшаяся в более суровых, чем современные, климатических условиях. Спектры зоны также подчеркивают небольшие различия между ледниковой и интергляциальной растительностью в высоких широтах по сравнению с горными районами бассейна р. Колыма и Северного Приохотья [6]. Зона E10 сопоставляется с изотопной стадией 3 (27,4–64 тыс. л. н.), но не исключено, что этой стадии принадлежат и нижние слои зоны E11.

Обращает на себя внимание четкое отражение на диаграмме рис. 2 двух важнейших палеоклиматических рубежей. Резкое изменение спорово-пыльцевых спектров в интервале 45–75 см (пыльцевая зона E12) свидетельствует о весьма существенной и быстрой перестройке растительного покрова: смене господствовавшей в Берингии во время максимального похолодания климата в конце позднего плейстоцена (изотопная стадия 2) мозаичной травянистой тундры (зона E11) кустарниковой березовой, а затем крупнокустарниковой ольховниково-березовой тундрой. Подобная смена установлена во всех переходных от плейстоцена к голоцену пыльцевых летописях Северо-Востока Сибири около 12300 л. н. [6], что подтверждается радиоуглеродной датировкой 12250±70 л. н. (NSRL-11028) (рис. 2). Первое значительное увеличение в послеледниковых спектрах роли пыльцы *Pinus pumila*, как это отражено в спектрах зоны E13, датируется в Колымском районе и Северном Приохотье 8000 л. н. [6]. Таким образом, пыльцевые зоны E12 и E13 отвечают изотопной стадии 1 (современность – 12,3 тыс. л. н.).

Исследования оз. Эльгыгытгын были продолжены в 2003 году международной экспедицией (ФРГ–Россия–США). В центре озера вновь были пройдены скважины и получен керн длиной 1590 см. Палинологический анализ более глубоких слоев озерных осадков позволил получить новые данные об изменении климата и растительности в течение интервала, отвечающего изотопной стадии 8 (251–

297 тыс. л. н.) и первую информацию о среднеплейстоценовом межледниковье (изотопная стадия 9, 297–347 тыс. л. н.). Новые данные показали: полную аналогию изменений спорово-пыльцевых спектров на диаграммах, полученных по результатам исследований двух полевых сезонов; полную аналогию последовательной смены на диаграммах пыльцевых зон; границы пыльцевых зон проводятся на одинаковой глубине в кернах, полученных первой и второй экспедициями.

Пыльцевая диаграмма, приведенная на рис. 3, отражает изменение растительного покрова на окружающем оз. Эльгыгытгын Анадырском нагорье в первую половину среднеплейстоценового интерстадиала (пыльцевые зоны E2 и E3, изотопная стадия 7), в течение среднеплейстоценовой ледниковой стадии (пыльцевая зона E1, изотопная стадия 8), в среднеплейстоценовом межледниковье (пыльцевые зоны B, C, D; изотопная стадия 9). Самую нижнюю пыльцевую зону A, по-видимому, следует отнести к изотопной стадии 10. В характеризующих эту зону спорово-пыльцевых спектрах доминирует пыльца *Poaceae* (54–74%) и в заметных количествах установлена пыльца *Artemisia* (до 12%), *Papaveraceae* (до 11%), а содержание пыльцы кустарников крайне низкое – от единичных зерен до 10% пыльцы *Betula*. Эти спектры обнаруживают общие черты со спектрами пыльцевой зоны E1 (изотопная стадия 8), особенно с ее финальной частью, отраженной в основании диаграммы на рис. 2. Растительность вокруг оз. Эльгыгытгын в конце изотопной стадии 10 (около 350 тыс. л. н.) представляла арктическую с прерывистой покровом тундру, развивавшуюся в сухом климате со средними температурами июля не выше +2° – +3° С, январскими температурами от -24° до -25° С, осадками в январе 17–19 мм и в июле около 40 мм [4]. Подобные спорово-пыльцевые спектры, а, следовательно, и растительные сообщества имеют только отдаленные аналоги в современных берингийских ландшафтах [3].

Палинологический анализ осадков оз. Эльгыгытгын выполнялся по методике исследования арктических озер [1]. Как правило, 2 куб. см осадка для каждого пыльцевого уровня взяты из образцов для палеомагнитного анализа, которые предварительно отбирались из керна непрерывно каждые 2 см. Принимая во внимание скорость накопления осадков в озере 0,04–0,05 мм в год, можно допустить, что образец из пластикового кубика со стороной 2 см “вмещает” информацию о растительности за 200–400 лет. Следовательно, каждый пыльцевой спектр дает усредненную информацию за этот отрезок времени. Такой вывод позволил выделить пыльцевые зоны B и D по данным единичных спектров, характеризующих

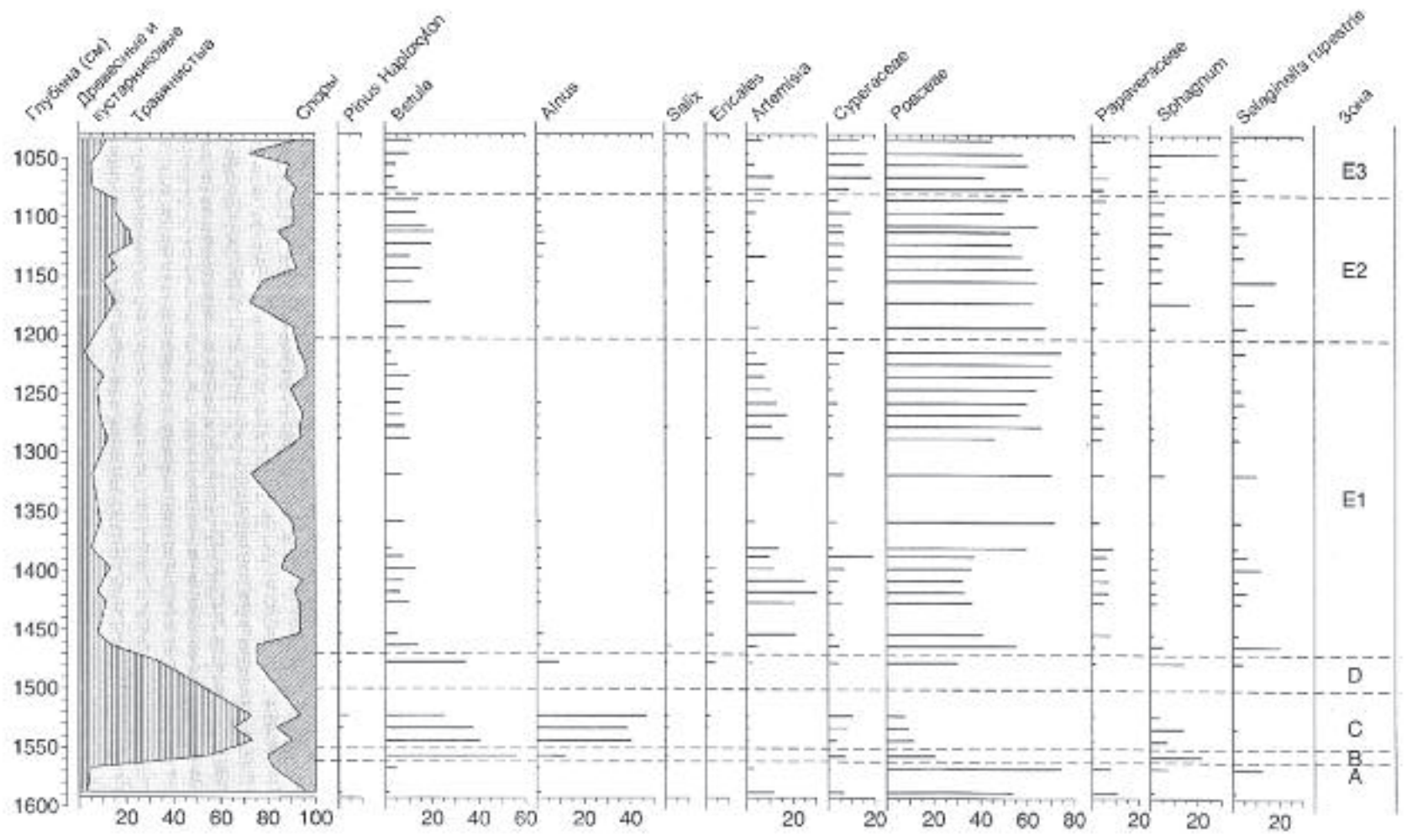


Рис. 3. Спорово-пыльцевая диаграмма среднеплейстоценовых отложений оз. Эльгыгытгын в интервале 1034.2–1587.2 см, по данным анализа керна, полученного в 2003 г.

начальную и конечную фазы среднелейстоценового межледниковья.

Зона В – пыльцевая зона березы. Подобные спектры весьма характерны для пыльцевых озерных летописей Северо-Востока Сибири, показывающих изменение растительности при переходе от ледниковой стадии к межледниковью [6]. Резкое увеличение по сравнению со спектрами зоны А количества пыльцы *Betula* (56%), несомненно, отражает значительную перестройку растительного покрова, вызванную потеплением климата. Зона показывает широкое развитие сообществ кустарниковой березы типа ерников. По всей вероятности, такое изменение растительного покрова происходило в результате сукцессионных процессов, и кустарниковые березы, образующие кустарниковый ярус тундры, с потеплением развиваются наиболее широко, обладая высокой способностью к быстрому распространению. Вполне вероятно, что в первую фазу среднелейстоценового межледниковья древовидные березы участвуют в составе растительности, образуя вокруг озера лесотундровые сообщества. В зоне В количество пыльцы *Poaceae* сокращается, но злаковые и злаково-разнотравные луга остаются важнейшим компонентом ландшафта.

В спектрах максимума среднелейстоценового межледниковья (зона С) доминирует пыльца *Alnus* (38–47%) и *Betula* (25–41%). Хотя пыльцевой анализ не показывает достаточно убедительно присутствие пыльцы древесных видов *Betula*, а макрофоссилии растений отсутствуют, можно полагать, что *Betula*, *Alnus* и, вероятно, *Salix* были представлены деревьями и крупными кустарниками высоты деревьев.

Зона С подобна зоне Е6 (рис. 2), характеризующей оптимум позднелейстоценового межледниковья, и зоне Е12 (рис. 2), отражающей постгляциальный термический максимум (поздний дриас, предбореальный и бореальный периоды голоцена) на севере северо-восточной Сибири. Сходство пыльцевых спектров зон С, Е6 и Е12 позволяет реконструировать климатические параметры для оптимума среднелейстоценового межледниковья: средние температуры января от -16° до -24.7° С и июля от $+10.6^{\circ}$ до $+12.7^{\circ}$ С.

Пыльцевая зона D, как и зона В, показывает развитие ерников с участием древовидных берез. Вместе с тем, в заключительную фазу среднелейстоценового межледниковья более широко распространяются злаковые и злаково-разнотравные сообщества.

Зона Е1 на рис. 3 дает полную характеристику растительности, существовавшей в течение изотопной стадии 8 (в отличие от верхней фазы изотопной стадии 8 на диаграмме рис. 2). В эту ледниковую стадию около оз. Эльгыгытгын и в целом на Анадыр-

ском нагорье развивалась тундра с доминированием травянистых растений. *Salix* и *Betula* были представлены стелющимися формами. Высокие содержания в спектрах зоны пыльцы *Artemisia*, *Papaveraceae* свидетельствуют о существовании сухих каменистых склонов. Поверхности, покрытые растительностью, вероятно, ограничивались защищенными небольшими возвышенностями. Процентные содержания спор *Selaginella rupestris*, относительно низкие в спектрах среднего плейстоцена (зоны Е5, Е1), возможно, показывают, что основной растительный покров на нижних склонах был более сомкнут, чем в позднелейстоценовое ледниковье. Сухие сообщества из *Artemisia* и других сложноцветных были, очевидно, обычны в течение среднего и позднего плейстоцена.

Сравнивая диаграммы на рис. 2 и 3, можно увидеть, что границы между пыльцевыми зонами Е1 и Е2, Е2 и Е3 проводятся на одинаковых уровнях. Это объясняется, скорее всего, невысокой скоростью накопления осадков в большом озере.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Новые палинологические данные, полученные при комплексном изучении осадков оз. Эльгыгытгын, являются хорошим обоснованием для дальнейших исследований этого уникального природного объекта, результатом которых могла бы стать непрерывная летопись эволюции климатов и растительности Берингии в более ранние эпохи, включая плиоцен. Но уже сейчас можно отметить, что климатическая летопись оз. Эльгыгытгын является одной из наиболее полных непрерывных записей изменений природной среды в Арктике в результате глобальных климатических флуктуаций. Это особенно важно, так как, несмотря на серьезные усилия по согласованию спорных вопросов стратиграфии четвертичных отложений Чукотки, сделанные в 80-е годы перед публикацией региональных четвертичных стратиграфических схем Северо-Западной Чукотки (рабочая схема) и Восточной Чукотки и Анадырско-Корякского региона (корреляционная схема) [7], главные вопросы стратиграфии четвертичных отложений Чукотки все еще весьма дискуссионны. В связи с этим климатическая летопись оз. Эльгыгытгын является опорной для стратиграфических построений и корреляций в восточном секторе Арктики. Кроме того, вместе с данными, полученными при исследовании осадков таких озер Северо-Востока Сибири, как Джека Лондона ($62^{\circ} 05'$ с. ш., $149^{\circ} 30'$ в. д.), Эликчан-4 ($60^{\circ} 44'$ с. ш., $151^{\circ} 52'$ в. д.), летопись оз. Эльгыгытгын представляет особый интерес для понимания климатических изменений в рамках Междуна-

родных проектов “Палеоклиматы по пересечению Полюс–Экватор–Полюс” (Pole–Equator–Pole Paleoclimates Project), “Глобальные изменения прошлого” (Past Global Changes Project) и др.

Исследования поддержаны Российским фондом фундаментальных исследований (проекты 06-05-64129, 07-05-00610-а), Дальневосточным отделением РАН (проект 05-III-B-09-009), Национальным научным фондом США (проекты АТМ 99-05813, АТМ 00-117406).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андерсон П.М., Ложкин А.В., МакДональд Г., Эдвардс М. Протокол 1: Пыльца с микрофоссилий наземных растений // Палеоклиматы арктических озер и эстуариев (Программа исследований и методики). Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1994. С. 9–25.
2. Андерсон П.М., Ложкин А.В., Белая Б.В., Стеценко Т.В. Отражение современного пыльцевого дождя Чукотки в донных осадках озер // Четвертичная палеогеография Берингии. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2002. С. 40–50.
3. Андерсон П.М., Ложкин А.В. Предисловие к пыльцевым летописям озерных отложений Берингии // Климатические летописи в четвертичных осадках Берингии. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2004. С. 4–26.
4. Матросова Т.В., Андерсон П.М., Ложкин А.В., Минюк П.С. Климатическая история Чукотки за последние 300 тыс. лет по данным пыльцевой летописи оз. Эльгыгытгын // Климатические летописи в четвертичных осадках Берингии. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2004. С. 26–42.
5. Первая непрерывная пыльцевая летопись изменений климата и растительности Берингии за последние 300 тысяч лет / Н.А. Шило, А.В. Ложкин, П.М. Андерсон, Б.В. Белая, Т.В. Стеценко, О.Ю. Глушкова, Дж. Бриггем-Гретти, М. Меллес, П.С. Минюк, Н. Новачек, С. Форман // Докл. РАН. 2001. Т. 376, № 2. С. 231–234.
6. Позднечетвертичные растительность и климаты Сибири и Российского Дальнего Востока (палинологическая и радиоуглеродная база данных) / Под ред. П.М. Андерсон и А.В. Ложкина. Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 2002. 370 с.
7. Решения Межведомственного стратиграфического совещания по четвертичной системе Востока СССР: Межведомственный стратиграфический комитет / Гл. ред. Н.А. Шило. Магадан, 1987. 220 с.
8. Север Дальнего Востока / Под ред. Н.А. Шило. М.: Наука, 1970. 488 с.
9. Anderson P.M., Brubaker L.B. Holocene vegetation and climate histories of Alaska // Global Climates Since the Last Glacial Maximum. Minnesota: University of Minnesota Press, 1993. P. 386–400.
10. Bradley R.S. Quaternary Paleoclimatology // Allen & Unwin. Boston. 1985. 427 p.

Рекомендована к печати Н.А. Горячевым

A.V. Lozhkin, P.M. Anderson, T.V. Matrosova, P.S. Minyuk, J. Brigham-Grette, M. Melles

A continuous record of environmental change in Chukotka during the last 350 thousand years

The comprehensive study of the upper 1283 cm of sediment from Lake El'gygytgyn, which formed nearly 4 million years ago following a meteorite impact in northern Chukotka, yielded the first continuous record of extreme changes in Beringian climate and vegetation from the middle Middle Pleistocene to Recent time (marine isotope stage equivalent of 1-7 and the upper part of isotope stage 8). During this period, the climate was warmer than at present between 8600 and 10700 ¹⁴C years BP and during the Late Pleistocene interglaciation (isotope substage 5e, 116-128 thousand years ago). In 2003, the German-Russian-USA international expedition continued studying sediments of Lake El'gygytgyn to obtain new evidence of the change in the vegetation cover in the Middle Pleistocene and the first information on the Middle Pleistocene interglaciation (isotope stage 9, 297-347 thousand years ago). Pollen spectra characterizing the Middle Pleistocene interglaciation are similar to spectra of the early stage of the Middle Pleistocene interglaciation and the climatic optimum in the Pleistocene to Holocene transitional period.

The climatic history of Lake El'gygytgyn is the basis for stratigraphic reconstructions and correlations in the eastern sector of the Arctic. These data also expand understanding of climatic changes within the international projects “Pole–Equator–Pole Paleoclimate Project,” “Past Global Changes Project,” and others.

Key words: lacustrine sediments, climate, vegetation, Pleistocene, Holocene, Beringia.