

УДК 551.351 (571.651)

## ИЗМЕНЕНИЕ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ СЕВЕРНОЙ ЧУКОТКИ В ТЕЧЕНИЕ 6-й И 7-й ИЗОТОПНЫХ СТАДИЙ (по данным палинологического анализа осадков оз. Эльгыгытгын)

*Е. Ю. Недорубова*

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

E-mail: super.exidia@yandex.ru

Осадки 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., включают интервал 130–243 тыс. л. н., соответствующий морским кислородно-изотопным стадиям 6 и 7. Непрерывная пыльцевая летопись в этом интервале растительной истории позволяет рассматривать 7-ю стадию как интерстадиал. Региональная растительность в относительно теплую интерстадиальную стадию характеризовалась широким распространением зарослей кустарниковых берез, ольховника. В холодные подстадии доминировали травянистые тундры, сменявшиеся в долинах окружающего озера Анадырского плоскогорья лесотундровыми сообществами. Смена фитоценозов отчетливо проявляется на границе ледниковой стадии 6 и интерстадиала в последовательном замещении травянистых тундровых сообществ березово-кустарниковой и березово-ольховниковой крупнокустарниковой тундрой.

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

### ВВЕДЕНИЕ

В последние годы при палеогеографических реконструкциях особое внимание уделяется флористическому аспекту, который позволяет выявить особенности хронологии этапов изменения растительности, а также получить более разностороннюю информацию об объекте исследования. Современный уровень развития палеогеографии и палеоэкологии требует более глубокого понимания историко-флористических процессов, которые могли бы способствовать обоснованию как циклического характера изменений растительности, так и направленности и неповторимости исторических этапов ее формирования.

Многие принципиальные положения в проблеме реконструкции растительного покрова Северо-Востока Азии и, в частности, Чукотки до настоящего времени были получены по разрозненным разрезам. Однако результаты международного комплексного изучения осадков оз. Эльгыгытгын, образовавшегося при падении метеорита 3,6 млн л. н. в заполярном районе Чукотки с координатами 67°30' с. ш., 172°05' в. д. могут восполнить этот пробел. Таким образом, исследование осадков оз. Эльгыгытгын, принимая во внимание его географическое положение, имеет, важное значение для понимания реакции арктической

растительности на изменение климата (Недорубова, 2014).

Эльгыгытгын – одно из древнейших арктических озер Земли и представляет собой уникальный объект для палеофлористических реконструкций на основе палинологических данных. Непрерывная пыльцевая летопись осадков оз. Эльгыгытгын не имеет мировых аналогов и может наиболее полно показывать последовательные изменения наземных растительных систем в позднем неогене и четвертичном периоде.

В настоящей работе изложены результаты детальных палинологических исследований отложений оз. Эльгыгытгын в интервале 130–243 тыс. л. н., вскрытых скважиной D1. Этот интервал охватывает вторую половину среднего звена плейстоцена общей стратиграфической шкалы квартера (Борисов, 2010), сопоставляемый с 6-й и 7-й стадиями изотопно-кислородной шкалы (Lisiecki, Raymo, 2005). Граница пыльцевых зон (рис. 1) соответствует границе изотопных стадий. Идентификация и положение границ морских изотопных стадий в непрерывной хронологии осадков оз. Эльгыгытгын установлены на основе палеомагнитных, палинологических, оптико-люминесцентных и других данных при комплексном анализе осадков озера по скважинам PG 1351 и LZ 1024 (рис. 2) (Шило и др., 2001; Forman et al., 2007; Juschus et al., 2007), а также

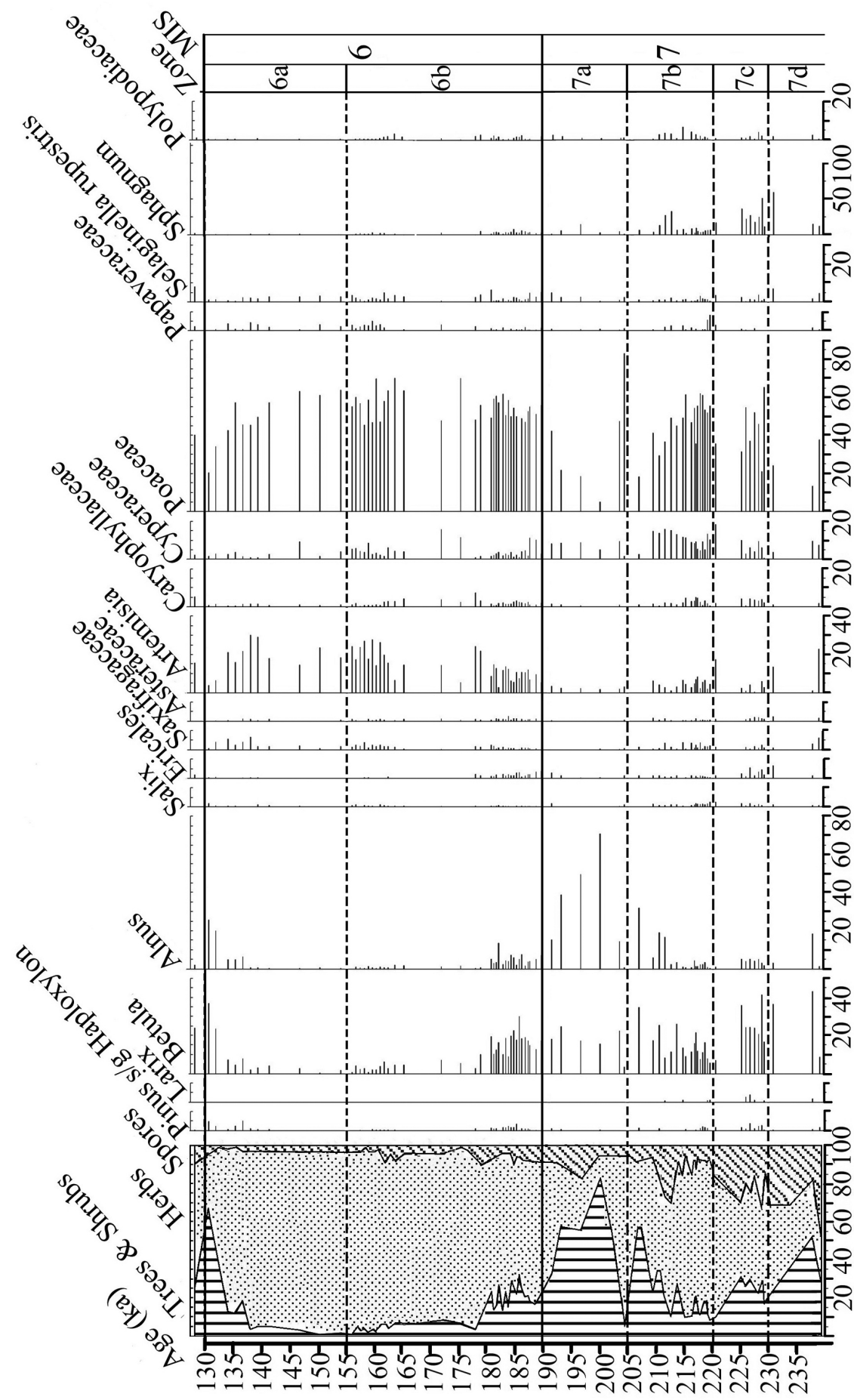


Рис. 1. Спорно-пыльцевая характеристика осадков оз. Эльгыгьтгын, синхронных 6-й и 7-й изотопным стадиям, скважина D1

Fig. 1. Spore and pollen characteristics of sediments from Lake El'gygytyn, core D1. The record is age equivalent to isotope stages 6 and 7

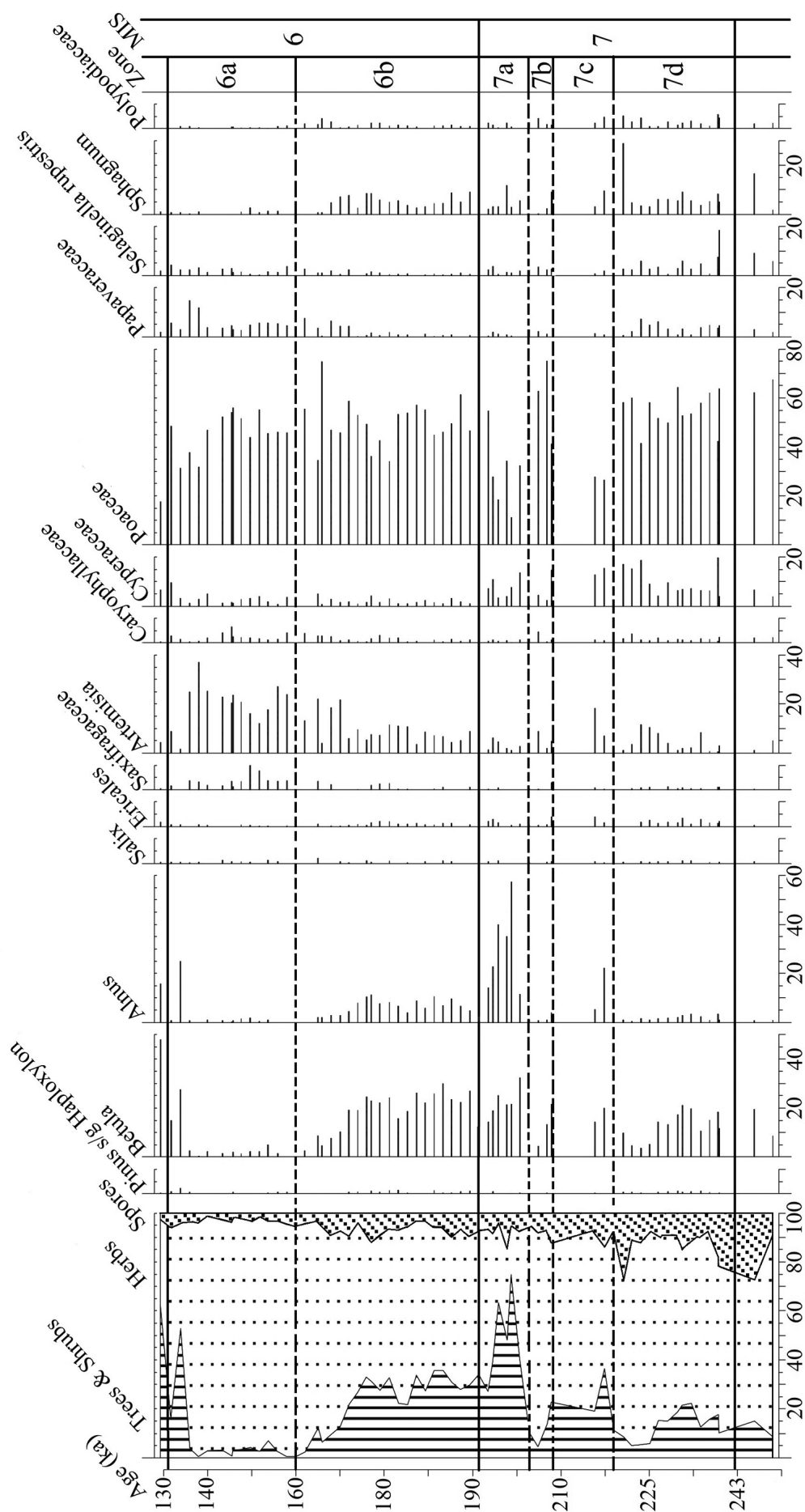


Рис. 2. Спорно-пыльцевая характеристика осадков оз. Эльгыгытгын, синхронных 6-й и 7-й изотопным стадиям, скважина LZ 1024 (по данным Магросовой и др., 2004)

Fig. 2. Spore and pollen characteristics of sediments from Lake El'gygytgyn, core LZ 1024. The record is age equivalent to isotope changes 6 and 7 (Magrosova and др., 2004)

данных комплексного изучения осадков глубоких скважин 1А, 1В, 1С, пробуренных в 2009 г. (Nowaczyk et al., 2013).

### МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для извлечения пыльцы и спор использована методика химической обработки проб, применяемая при исследовании арктических озер (Андерсон и др., 1994). Объем пробы составлял 2 см<sup>3</sup>. Основные этапы подготовки проб заключаются в следующем: сначала в пробу добавляют соляную кислоту (HCl) для растворения карбонатной фракции, потом применяют щелочь (KOH), чтобы удалить гуминовые кислоты. Растворение силикатов осуществляют плавиковой кислотой (HF). Затем проводят ацетализ, после чего пробу промывают дистиллированной водой. Воду из пробы удаляют с помощью спирта. Добавляют в полученный осадок глицерин – и проба готова для просмотра под микроскопом (Матросова, Федорова, 2002).

Препараты изучали под микроскопом Motich DM-BA-300 при увеличении в 400–600 раз. Для статистического анализа в каждой пробе подсчитывали не менее 300 пыльцевых зерен. Для «холодных» спектров допустимой считалась сумма пыльцы 100–150 зерен в пробе.

Построение диаграмм по данным пыльцевого анализа выполняли, используя компьютерные программы Tilia и Tilia-graph (<http://museum.state.il.us/pib/grimm/tilia>). На спорово-пыльцевой диаграмме (см. рис. 1) представлены основные растительные таксоны (в левой части показаны соотношения групп растительности – пыльцы древесных и кустарниковых растений, пыльцы кустарничковых и травянистых растений и спор). Содержание каждого пыльцевого таксона приводится в процентах от суммы всех пыльцевых зерен. Участие спор рассматривается как относительная величина, которая определяется отдельно для каждого спорового таксона от общего количества пыльцы.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И АНАЛИЗ ДАННЫХ

#### **Отражение современной растительности Чукотки в спорово-пыльцевых спектрах осадков оз. Эльгыгитын**

Изучение субфоссильных спектров на Чукотке в разные годы осуществляли Р. А. Баскович, А. П. Васьковский, М. П. Гричук, И. А. Каревская, М. В. Муратова, Е. В. Тер-Григорян, Т. Д. Давидович, Н. Б. Верховская, Т. Д. Боярская, З. В. Орлова, И. В. Душина, А. В. Ложкин. Все исследования в основном были связаны с палинологическим анализом аллювиальных, морских отло-

жений, почв под различными растительными сообществами. Было также показано, что генезис осадков непосредственно определяет особенности спорово-пыльцевых спектров. В рамках международных проектов «Past Global Changes Project», «Paleoclimates from Arctic Lakes and Estuaries», «Pole – Equator – Pole Paleoclimates Project» была проведена большая работа по изучению современных спорово-пыльцевых спектров озерных отложений Северо-Востока Азии (Ложкин, 2002; Андерсон и др., 2002а, б). Анализ современных спектров озерных осадков показал, что они достаточно корректно характеризуют региональные черты различных типов растительности, однако выявлены особенности, которые следует учитывать при интерпретации ископаемых спектров:

1) пыльцевые спектры лишь косвенно отражают состав лесов региона, так как пыльца *Larix cajanderi* Maug, основного компонента растительности лесной зоны Северо-Востока Азии, плохо сохраняется. В какой-то степени это же относится и к пыльце представителей семейства Salicaceae – родам *Salix* и *Populus*;

2) в формировании современных спорово-пыльцевых спектров безлесных регионов Чукотки часто определяющую роль играет дальний ветровой занос пыльцы (Тер-Григорян, 1979). Особенно это касается пыльцы кустарниковых растений (сосны стланиковой, кустарниковой березы, ольховника).

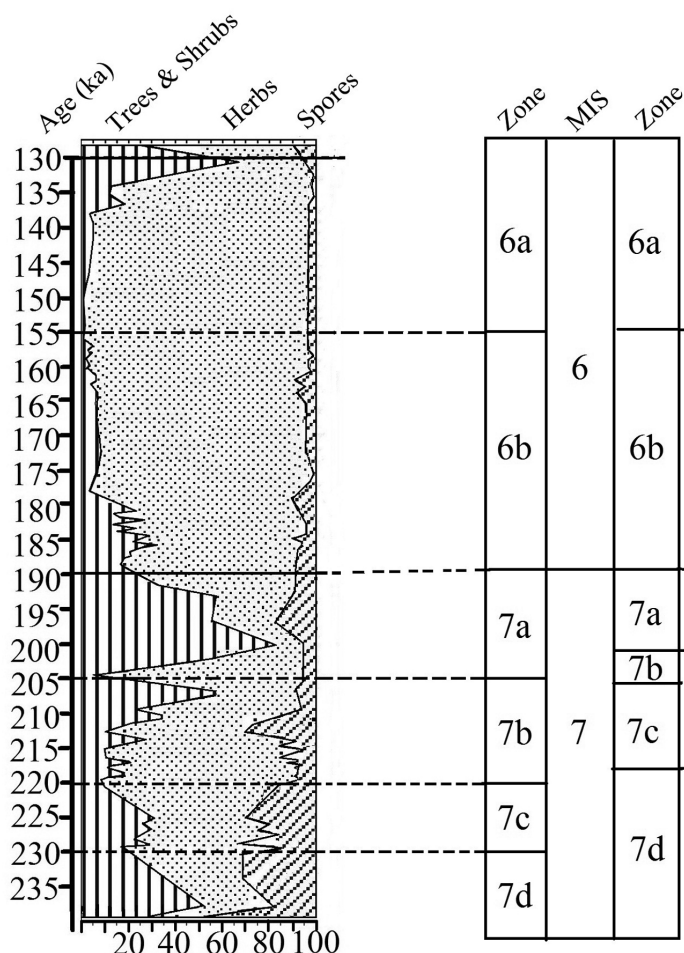
3) в связи с низкой пыльцевой продуктивностью растительных сообществ в районе озера решающее значение в составе современных спорово-пыльцевых спектров донных осадков играет пыльца ольховника, березы, сосны стланиковой, занесенная ветром с Анадырского плоскогорья. Поэтому при реконструкции растительности необходимо учитывать, что спектры в осадках озера отражают региональные особенности растительного покрова Чукотки, а не локальную тундровую растительность окрестностей оз. Эльгыгитын (Недорубова, 2014).

Ветровой занос пыльцы ольховника, сосны стланиковой и березы определяет состав современных спорово-пыльцевых спектров донных осадков озера, в которых содержание пыльцы *Duschekia fruticosa* (Rupr.) Pouzar достигает 35%, *Betula* – 20%, *Pinus pumila* (Pall.) Regel – 15%, а общее количество пыльцы кустарников может составлять 45% (Матросова, 2006; Ложкин и др., 2016).

#### **Реконструкция растительности среднего плейстоцена Чукотки в период, сопоставимый с морскими изотопными стадиями (МИС) 6 и 7 (130–243 тыс. л. н.)**

По результатам палинологического анализа, в МИС 6 четко выделяются две спорово-пыльцевые зоны: 6а и 6б (см. рис. 1).

Спорово-пыльцевые спектры  
осадков оз. Эльгыгытгын,  
скважина D1



Спорово-пыльцевые спектры  
осадков оз. Эльгыгытгын,  
скважина LZ 1024

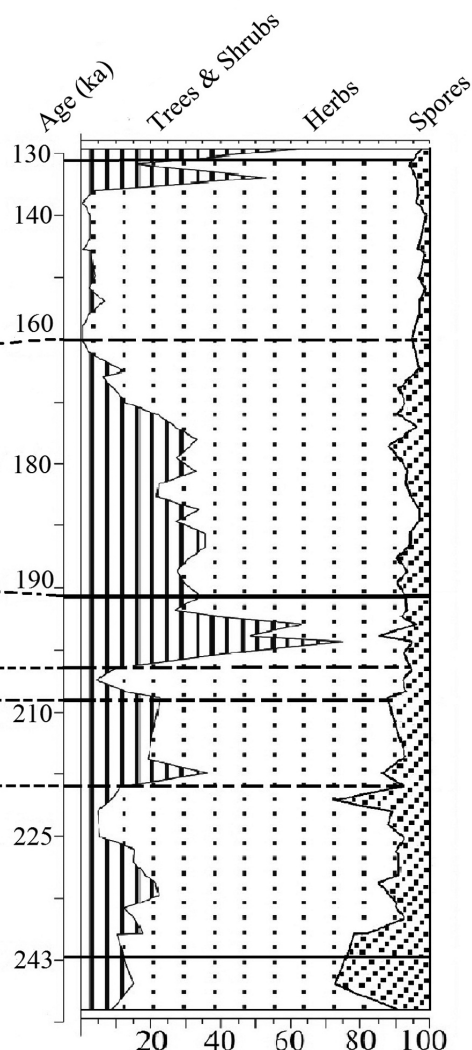


Рис. 3. Корреляция пыльцевых зон с морскими изотопно-кислородными стадиями скважин D1 и LZ 1024

Fig. 3. Correlation of pollen zones from cores D1 and LZ 1024, with associated isotope stages

Первая зона (130–155 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 сосредоточены на о. Врангеля. Вторая палинологическая зона 6b (155–191 тыс. л. н.) характеризует начало постепенного потепления климата (вполне вероятно, что спорово-

пыльцевые спектры этой подзоны холодной изотопной стадии 6 отражают переходную растительность, близкую растительным сообществам интерстадиала. В ней наблюдаются два пика развития древесно-кустарниковых сообществ с преобладанием березы и ольховника на фоне доминирования злаково-полынной (*Poaceae-Artemisia*) тундры. Заметное участие в спектрах спор *Sphagnum* говорит о развитии умеренно влажных вересковоцветных сообществ и, вероятно, существовании сфагновых болот.

Морская кислородно-изотопная стадия МИС 7 (191–243 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, также отражают черты теплого и холодного климата. В стадии выделяются 4 пыльцевые зоны (7a, 7b, 7c, 7d) по изменению содержания основных пыльцевых таксонов (см. рис.1). Спорово-пыльцевые спектры зон 7a и 7c характеризуются максимальным содержанием пыльцы *Alnus* и имеют в основном «интерстадиальные» черты. Пыльцевая зона 7b отличается преобладанием пыльцы *Betula* над *Alnus*. Максимальное количество пыльцы *Betula* в этой подзоне напоминает позднеледниковые спектры из северной Аляски, что характеризует развитие продуктивной высококустарниковой тундры (Anderson, Brubaker, 1994). Эти реконструкции свидетельствуют о том, что кустарниковая береза играла важную роль в региональной растительности. Из-за чрезвычайно небольшого участия в растительном покрове *Alnus* и *Pinus* растительность можно воссоздать как березово-кустарниковую тундру. Зона 7d свидетельствует о широком распространении злаково-осоковой тундры. Также для спектров зоны 7d важными таксонами являются пыльца *Betula* и пыльца *Salix*, и, вероятно, кустарниковая береза была основным компонентом растительности и произрастала на нагорье в окрестностях оз. Эльгыгытгын. Заметное участие в спектрах спор *Sphagnum* и пыльцы верескоцветных указывает на развитие умеренно влажных растительных сообществ. Такая реконструкция позволяет отнести МИС 7 к интерстадиалу. Пыльцевые зоны 7a и 7d могут соответствовать теплым подстадиям 7.1 и 7.5. Учитывая широтное положение современной границы леса, следует полагать, что вероятное проникновение древовидных берез на север Чукотки было обусловлено более теплыми, чем в настоящее время, климатическими условиями.

Сравнение новой пыльцевой записи изменений растительности в течение МИС 6 и МИС 7 (скважина D1) с данными палинологического анализа, выполненного по осадкам скважины LZ 1024 (Матросова и др., 2004), представлено на рис. 3. Полученные результаты хорошо коррелируются, что подтверждает достоверность установленной последовательности смены пыльцевых зон и реконструкции растительных сообществ конца среднего плейстоцена.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Климатическая летопись оз. Эльгыгытгын показывает, что на границе интерстадиала с ледниковой стадией происходит значительная перестройка растительного покрова, обусловленная сменой биоценозов. Она выражается в замещении березовой кустарниковой, а затем березово-ольховниковой крупнокустарниковой тундры и

лиственничной лесотундры мозаичной травянистой тундрой. Впервые такая смена биоценозов в Берингии была установлена в осадках ледниковых озер, формировавшихся в позднем плейстоцене (Позднечетвертичные..., 2002).

В спорово-пыльцевых спектрах сукцессии отражаются резким изменением количества пыльцы группы древесных и кустарниковых растений и прежде всего пыльцы *Betula* и *Alnus*. В интервале 130–243 тыс. л. н. сукцессия наиболее резко выражена на границе 7-й и 6-й изотопных стадий.

Я выражаю благодарность А. В. Ложкину, П. С. Минюку, Ю. А. Корзун и Л. Н. Котовой за помощь в подготовке материалов.

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 наземных отложений // Палеоклиматы арктических озер и эстуариев. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 1994. – С. 5–32.
- Андерсон П. М., Ложкин А. В., Белая Б. В., Стеценко Т. В. Современные спорово-пыльцевые спектры горных районов рек Колыма и Индигирка по данным озерных осадков // Четвертичная палеогеография Берингии. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 2002а. – С. 28–39.
- Андерсон П. М., Ложкин А. В., Белая Б. В., Стеценко Т. В. Современные спорово-пыльцевые спектры Северного Приохотья по данным озерных осадков // Там же. – 2002б. – С. 51–61.
- 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., Минюк П. С., Недурובה 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.
- Ложкин А. В. Современный пыльцевой дождь в арктических районах Берингии и реконструкция растительности ледниковых интервалов плейстоцена // Четвертичная палеогеография Берингии. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 2002. – С. 13–27.
- 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.
- Матросова (Стеценко) Т. В., Федорова И. Н. Методика извлечения пыльцы из озерных отложений // Методические аспекты палинологии : Материалы X Всерос. палинолог. конф., 14–18 окт. 2002 г. – М. : Ин-т геологии и разработки горючих ископаемых, 2002. – С. 139–142.

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.) / отв. ред. И. А. Черешнев. – Магадан : СВНЦ ДВО РАН, 2006. – С. 159–162.

Недорубова Е. Ю. Природная среда Чукотки 360–430 тыс. лет назад // Вестник СВНЦ ДВО РАН. – 2014. – № 4. – С. 29–33.

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.

Тер-Григорян Е. В. Состав пыльцы и спор в современных осадках на Севере побережья Чукотского полуострова // Палинологические исследования на Северо-Востоке СССР : Материалы I Междунар. семинара по палинолог. исслед. на Дальнем Востоке. – Владивосток : ДВНЦ АН СССР, 1979. – С. 67–74.

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 // ДАН. – 2001. – Т. 376, № 2. – С. 231–234.

Поступила в редакцию 05.07.2017 г.

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

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 Planet. Sci. Lett. – 1994. – Vol. 126. – P. 91–108.

Forman S., Pierson J., Gomez J. et al. 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. – 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 // Paleoclimatology. – 2005. – Vol. 20. – PA1003, doi:10.1029/2004PA001071.

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.

## ENVIRONMENTAL CHANGES IN NORTHERN CHUKOTKA DURING MARINE ISOTOPE STAGES 6 AND 7 (as reconstructed from palynological data from Lake El'gygytyn)

*E. Yu. Nedorubova*

Lake El'gygytyn is located beyond the Arctic Circle in Chukotka at 67°30'N, 172°05'E and formed following a meteorite impact that occurred 3.6 million years ago. Sediments within the crater lake include an interval between 130 and 243 thousand years ago, referred to as marine isotope stages 6 and 7. A continuous pollen chronicle from this interval of plant history allows us to consider stage 7 as an interstade. Regional vegetation in this relatively warm interstadial stage was characterized by the widespread establishment of birch and alder shrub thickets. Herbaceous tundra dominated in the colder areas, being replaced by forest-tundra communities in the valleys of the Anadyr Plateau, which borders the lake. The change in phytocoenosis is clearly manifested at the boundary of glacial stage 6 and the interstadial stage 7 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.