

УДК 551.583(571.651)

ИЗМЕНЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ АРКТИЧЕСКОЙ ЧУКОТКИ В ИЗОТОПНЫЕ СТАДИИ 40–49

Ложкин А. В.¹, Андерсон П. М.²

¹ФГБУН Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт
им. Н. А. Шило ДВО РАН, г. Магадан

²Вашингтонский университет, факультет наук о Земле и Космосе,
Центр четвертичных исследований, г. Сиэтл, США
E-mail: lozhkin@neisri.ru, pata@uw.edu

Палинологическая летопись осадков оз. Эльгыгытгын, формировавшихся в течение кислородно-изотопных стадий 40–49, показывает неоднократные изменения растительных сообществ в арктической Чукотке, отвечающие смене относительно холодных, интерстадиальных и межледниковых климатических условий. Выделенные 13 пыльцевых зон соответствуют интервалу 1.286–1.492 млн л. н. Постоянное участие в спектрах пыльцы *Larix* свидетельствует, что даже в крайне суровых климатических условиях, проявившихся в калабрии, в районах Анадырского плоскогорья и оз. Эльгыгытгын сохранялась лиственничная лесотундра, резко отличающаяся от травянистой тундры, характеризовавшей многие ледниковые интервалы в Арктике во время среднего и позднего плейстоцена. Наиболее теплые климатические условия в интервале 1.286–1.492 млн л. н., отраженные пыльцевой зоной 9, проявились в изотопную стадию 43. Максимум холода соответствует второй половине изотопной стадии 44 (пыльцевая зона 8).

Ключевые слова: изотопная стадия, спорово-пыльцевые спектры, пыльцевая зона, растительные сообщества, интерстадиал, межледниковье.

DOI: 10.34078/1814-0998-2023-1-33-43

Непрерывная палинологическая летопись, полученная при исследовании осадков кратерного оз. Эльгыгытгын, документирует изменения растительности на Полярной Чукотке (восточная Арктика) в четвертичный период и пьаченский век (Piacenzian) плиоцена (граница квартера и плиоцена проводится на уровне 2.588 млн л. н. между Gelasian и Piacenzian). Озеро Эльгыгытгын находится в кратере, возникшем 3.58 млн л. н. (Layer, 2000) при падении метеорита за Полярным кругом Чукотки в районе с координатами 67°30' с. ш., 172°05' в. д. (рис. 1). Диаметр кратера достигает 18 км. Размеры озера 12–14 км; глубина в центральной части 176 м. Поверхность воды озера над уровнем моря 489 м. Окружающие озеро вершины Анадырского плоскогорья поднимаются до 600–1000 м. Полная 317-метровая мощность осадков оз. Эльгыгытгын, представленных алевроитами с примесью тонкозернистого песка, была установлена по керну скважины 5011-1, пройденной в центре озера экспедицией «El'gygytgy Drilling Project» в 2009 г.

L. E. Lisiecki и M. E. Raymo (2005) показали, что интервал 1.286–1.492 млн лет назад включает 40–49 изотопные стадии. Этот интервал относится к калабрии, верхняя граница которого определяется по границе палеомагнитных зон Брюнес – Матуяма (на уровне 781 тыс. лет). Нижняя граница калабрии соответствует его границе с гелазием. Эту границу Четвертичная подкомиссия Международной комиссии по стратиграфии (ICS) определила 1.806 млн л. н. В 2011 г. Исполнительный комитет Международного союза геологических наук (IUGS) утвердил заявку ICS о глобальном стратотипе границы калабрий – гелазий (GSSP) – разрез Врика (Vrica) на юге Италии (Cita et al., 2012). Граница проводится по кровле сапропеля «е» в верхней части субхрона Олдувей (1.77–1.95 млн л. н.).

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Палинологический анализ озерных осадков в интервале 1.286–1.492 млн л. н. осуществлялся по методике, аналогичной единой методике палинологического изучения осадков всех интервалов оз. Эльгыгытгын. Эта методика была предложена для исследования арктических озер и

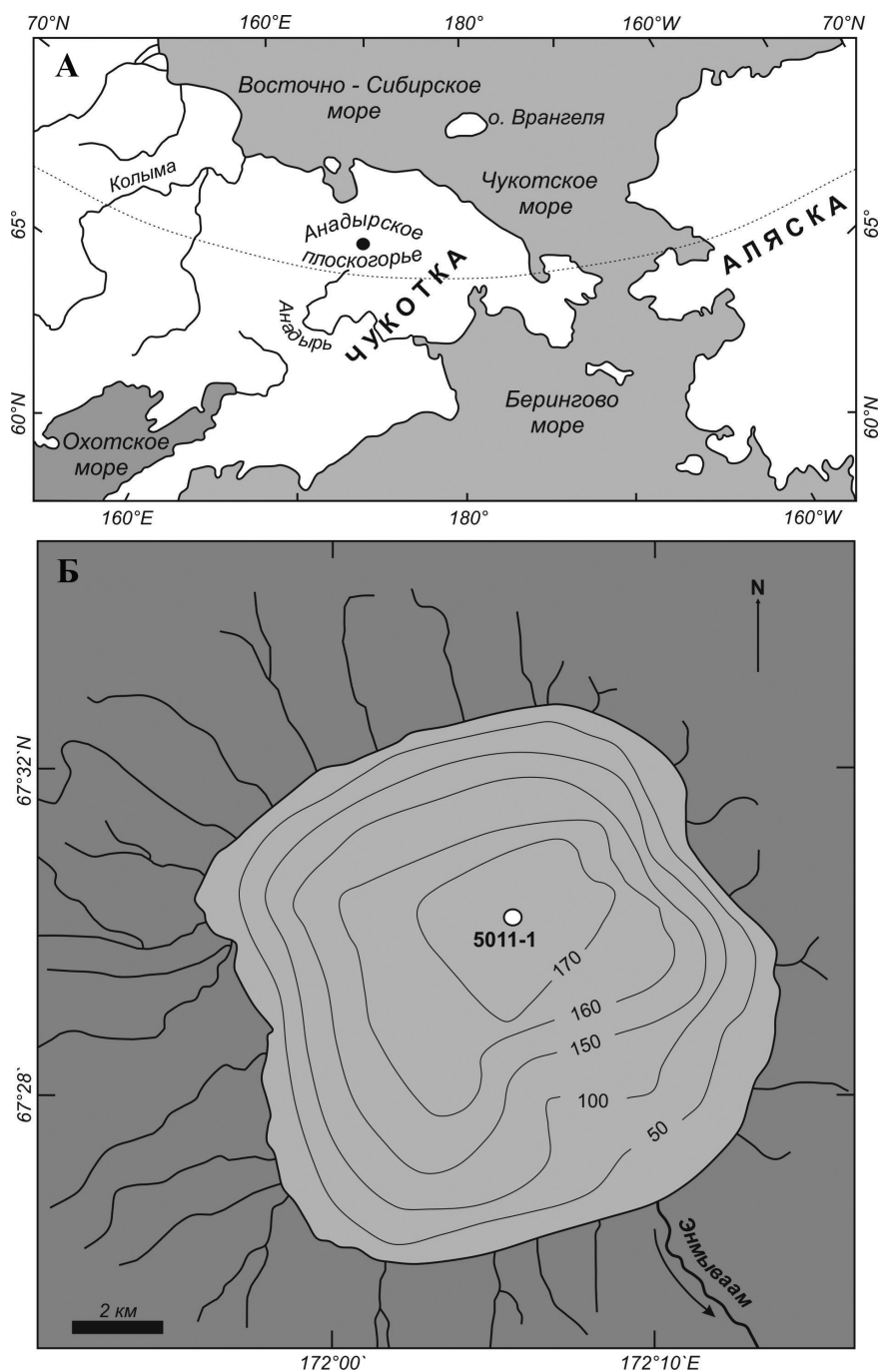


Рис. 1. Карта-схема (А), показывающая нахождение оз. Эльгыгытгын (темный кружок); пунктирная линия представляет Полярный круг. Карта-схема (Б), показывающая батиметрию оз. Эльгыгытгын (глубины озера даны в метрах), место отбора керна озерных осадков (белый кружок), ручьи, впадающие в озеро, и вытекающая из озера р. Энмываам

Fig. 1. Maps showing: (А) the location of Lake El'gygytyn (dark circle); the dotted line represents the Arctic Circle; and (Б) the bathymetry of Lake El'gygytyn (water depths in meters), the location of the coring site (white circle), and the El'gygytyn catchment including the Enmyvaam River (lake outlet)

эстуариев (PALE, 1994). При реконструкции растительности по данным пыльцевого анализа сумма всех пыльцевых зерен принималась за 100 %. В каждом образце подсчитывалось не менее 300 пыльцевых зерен наземных растений. На спорово-пыльцевой диаграмме (рис. 2, а) показаны соотношения групп растительности (в левой части диаграммы – пыльцы группы древесных и кустарни-

ковых растений, пыльцы группы кустарничковых и травянистых растений и группы спор), основных пыльцевых и споровых таксонов. Содержание каждого пыльцевого таксона приводится в процентах от суммы всех пыльцевых зерен. Участие спор рассматривается как относительная величина, определяемая отдельно для каждого спорового таксона от общего количества пыльцы.

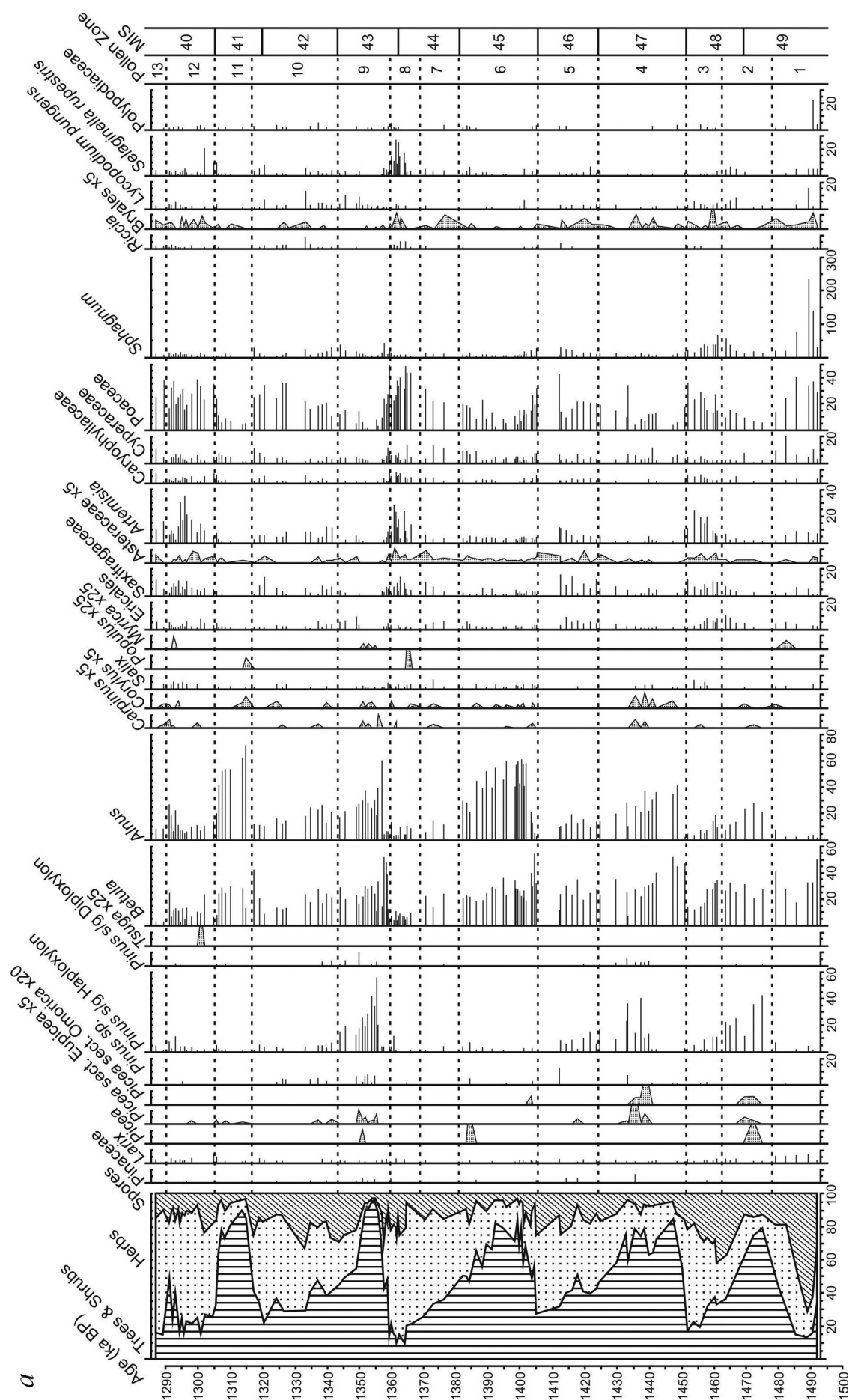


Рис. 2. Спорно-пыльцевые диаграммы осадков оз. Эльгыгитын: а – процентные соотношения групп растительности, основных пыльцевых и спорных таксонов в спектрах осадков морских изотопных стадий 40–49, б – участие второстепенных таксонов пыльцы и спор в спектрах осадков морских изотопных стадий 40–49

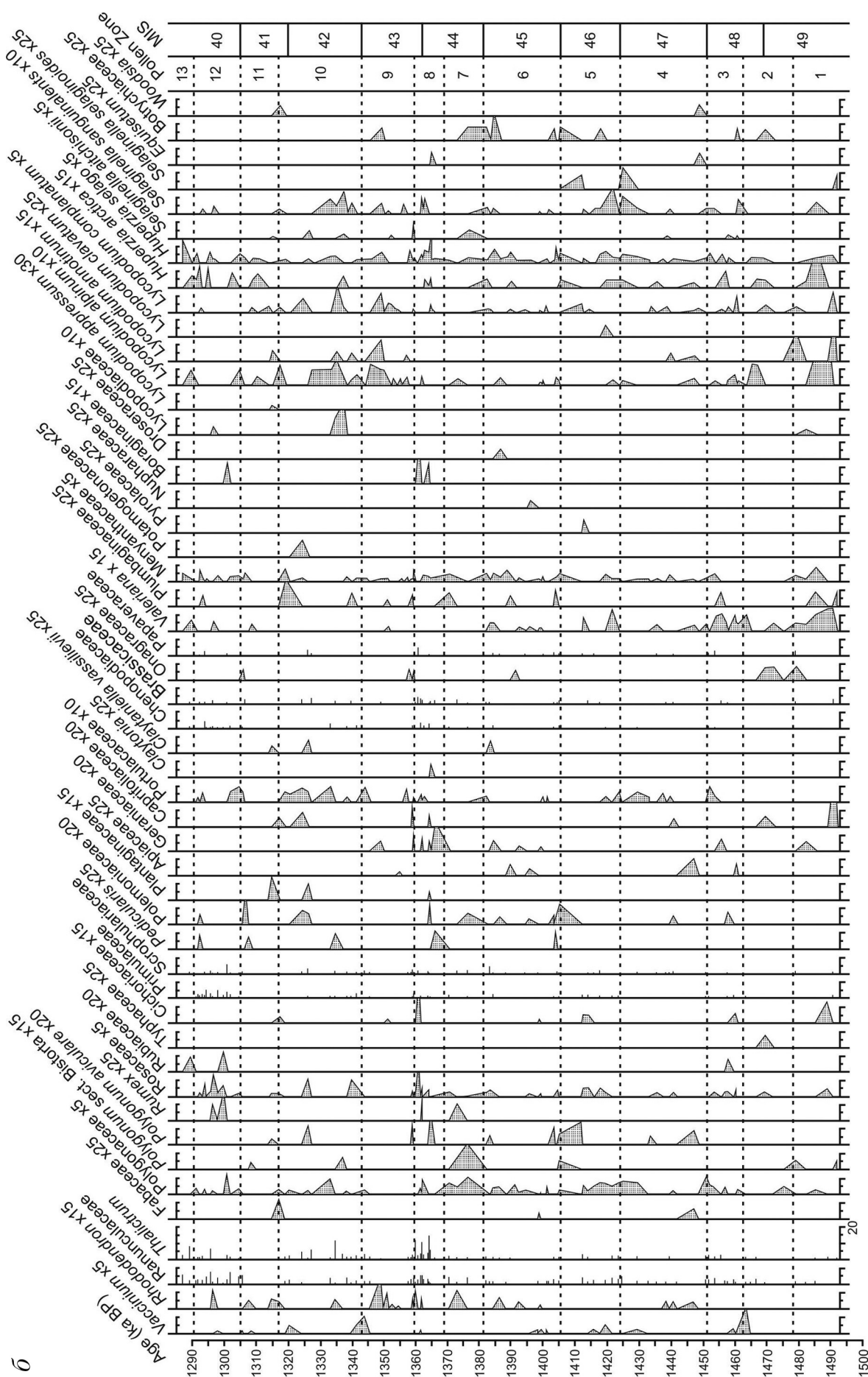


Fig. 2. Spore-pollen diagrams of sediments from Lake El'gygytgyn: a – percentage ratios of vegetation groups, main pollen and spore taxa in the spectra of sediments of marine isotope stages 40–49, σ – participation of minor taxa of pollen and spores in the spectra of sediments of marine isotope stages 40–49

Участие второстепенных пыльцевых и споровых таксонов отражено диаграммой (рис. 2, б). Трудности при проведении палинологического анализа образцов могли возникать из-за низкой концентрации пыльцы в образцах осадков, особенно формировавшихся в холодные стадии, что может отразиться на полноте пыльцевой летописи. В этих случаях «пустые» или с весьма небольшой концентрацией пыльцы образцы дублировались образцами с соседних уровней. Такое положение нередко характерно и для других озер северо-восточной Сибири, в отложениях которых отражены один или более ледниковых циклов (Позднечетвертичные..., 2002). Образцы, взятые в осадках интерстадиалов и межледниковий, как правило, насыщены пыльцой и спорами.

При реконструкции палеорастительности (периоды потепления и похолодания климата), отраженной в спорово-пыльцевых спектрах осадков оз. Эльгыгытгын, включая интервал 1.286–1.492 млн л. н., учитывались особенности современных пыльцевых спектров в донных осадках озера на границе вода – осадок. Растительный покров в окрестностях озера представлен в основном лишайниками и травами (Кожевников, 1993). Часто, особенно на возвышенностях, покров прерывистый. Невысокие кустарники *Salix krylovii* E. Wolf, *S. alaxensis* Cov. занимают защищенные участки вблизи открытых горных долин и в долине вытекающей из озера р. Энмываам. *Betula exilis* Sukacz. ограничена участками с накоплением органики в долинах рек на террасах и седловинах как регионально, так и около озера. На Анадырском плоскогорье развиты мозаичная низкокустарниковая и травянистая тундры с небольшими популяциями *Pinus pumila* (Pall.) Regel и *Duschekia fruticosa* (Rupr.) Pouzar. Состав современных спорово-пыльцевых спектров донных осадков озера определяется ветровым заносом пыльцы *Alnus* (*Duschekia fruticosa*) (до 35 %), *Betula* (20 %), *Pinus pumila* (15 %). Общее количество пыльцы кустарников может составлять 45 %. Таким образом, спектры донных осадков оз. Эльгыгытгын отражают региональную растительность северных районов Чукотки, а не прерывистый с низкой пыльцевой продуктивностью растительный покров в окрестностях озера (Ложкин и др., 2002).

ПЫЛЬЦЕВЫЕ ЗОНЫ И ИХ КОРРЕЛЯЦИЯ С ИЗОТОПНЫМИ СТАДИЯМИ

По соотношению групп растительности, основных пыльцевых и споровых таксонов в непрерывной палинологической летописи осадков оз. Эльгыгытгын в интервале 1.286–1.492 млн л. н. выделяется 13 пыльцевых зон, отражающих смену холодных и относительно теплых клима-

тических условий. В принципе они могут свидетельствовать о чередовании ледниковых, межледниковых стадий и интерстадиалов.

Границы пыльцевых зон в ряде случаев отвечают границам изотопных стадий (например, верхняя граница пыльцевой зоны 3 соответствует верхней границе MIS48 и нижней границе MIS47; нижняя граница пыльцевой зоны 7 соответствует нижней границе MIS44; верхняя граница зоны 9 совпадает с верхней границей MIS43 и нижней границей MIS42; нижняя граница зоны 10 совпадает с нижней границей MIS42; граница между пыльцевыми зонами 11 и 12 соответствует нижней границе MIS40). Такие пыльцевые зоны, как зоны 4, 5 и 6, характеризуют растительность одной изотопной стадии, соответственно MIS47, MIS46 и MIS45. Пыльцевые зоны могут также «переходить» из одной изотопной стадии в другую: пыльцевая зона 2 – изотопные стадии 49, 48; пыльцевая зона 8 – изотопные стадии 44, 43; пыльцевая зона 10 – изотопные стадии 42, 41. Пыльцевые зоны 12 и 13 отражают изменение растительности MIS40.

ОСОБЕННОСТИ СПОРОВО-ПЫЛЬЦЕВЫХ СПЕКТРОВ

Общей чертой непрерывной палинологической летописи осадков оз. Эльгыгытгын в интервале 1.286–1.492 млн л. н. является постоянное участие пыльцы *Larix*. Количество пыльцы *Larix* может достигать 7–10 % от суммы всех пыльцевых зерен в пыльцевых зонах, относящихся как к «теплым», так и «холодным» изотопным стадиям. Вполне вероятно, лиственница могла быть представлена видом, близким современному сибирскому *Larix sibirica* Ldb., а не *Larix cajanderi* Mayr, единственному хвойному дереву, образующему сейчас леса на Северо-Востоке Сибири. Основанием для такого предположения может быть и тот факт, что пыльца *Larix cajanderi*, в отличие от *Larix sibirica*, чрезвычайно плохо сохраняется даже в субфоссильных спорово-пыльцевых спектрах (Васьковский, 1957). Постоянное участие пыльцы лиственницы в спектрах, характеризующих растительные сообщества интервала 1.286–1.492 млн л. н., определенно свидетельствует, что даже в крайне суровых климатических условиях, проявившихся в калабрии, в районах Анадырского плоскогорья и оз. Эльгыгытгын сохранилась лиственничная лесотундра, резко отличающаяся от травянистой тундры, характеризовавшей многие ледниковые интервалы в Арктике во время среднего и позднего плейстоцена.

Для пыльцевых спектров палинологической летописи осадков оз. Эльгыгытгын в интервале 1.286–1.492 млн л. н. характерно высокое содержание пыльцы *Betula*. Как правило, пыльца

Betula является одним из доминантов спектров теплых стадий, но может также встречаться в значительных количествах в спектрах изотопных стадий, сопоставляемых с похолоданием климата (MIS48, MIS46, MIS42). Количество пыльцы *Betula* существенно сокращается (чаще не выше 10 %) в пыльцевых зонах, отражающих растительность стадий резкого похолодания климата: пыльцевые зоны 8 (верхняя часть MIS44), 12 и 13 (MIS40). Большую роль в пыльцевой летописи интервала 1.286–1.492 млн л. н. играет пыльца *Roaseae*, содержание которой весьма значительно возрастает в спектрах пыльцевых зон, характеризующих холодные стадии (см. рис. 2, а), заметно сокращаясь лишь в стадиях, которые относятся к межледниковьям (пыльцевые зоны 2, 4, 6, 9, 11).

ХАРАКТЕРИСТИКА ПЫЛЬЦЕВЫХ ЗОН И РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ

Спорово-пыльцевые спектры пыльцевой зоны 1 отражают растительность первой половины изотопной стадии 49. Для этой зоны характерно невысокое содержание пыльцы древесно-кустарниковой группы растений, но постоянное участие в спектрах в заметных количествах (до 8 %) пыльцы *Larix*, что может быть важным показателем особенностей как локальных, так и региональных растительных сообществ. Вполне очевидно, что в период первой половины изотопной стадии 49 лиственница формировала лесотундровые сообщества с зарослями кустарниковых берез (ерники) на горных склонах и возвышенностях. Одной из черт спорово-пыльцевых спектров пыльцевой зоны 1 является очень низкое содержание пыльцы *Alnus*. По всей вероятности, кустарниковая *Alnus* (*Duschekia fruticosa*) в течение первой половины изотопной стадии 49 не была характерна для растительного покрова в районе оз. Эльгыгытгын или встречалась в виде небольших изолированных куртин в наиболее защищенных местах. Но можно также считать, что пыльца *Alnus* была занесена из более южных районов. Принимая во внимание невысокую сохранность пыльцы *Salix* в осадках, можно допустить, что наиболее распространенным кустарником в растительном покрове вместе с кустарниковой *Betula* являлась, очевидно, ива. Для пыльцевой зоны 1 весьма характерно доминирование в спектрах пыльцы *Roaseae*, подтверждающее широкое распространение в окрестностях оз. Эльгыгытгын открытых луговых сообществ. Весьма высокое содержание в спектрах зоны 1 спор *Sphagnum* (пик спор *Sphagnum* достигает 230 % от суммы пыльцевых зерен) вполне определенно свидетельствует о повышенной влажности лугов, их заболоченности и развитии болот.

Резкая перестройка растительного покрова отражена спектрами пыльцевой зоны 2 (характеризующей верхнюю часть MIS49 и нижнюю – MIS48). Палинологические данные, относящиеся к этой зоне, показывают высокое содержание в спектрах пыльцы древесных и кустарниковых растений и крайне низкое участие пыльцы травянистых растений, в том числе пыльцы *Roaseae*, *Superaceae*, *Artemisia*. Подобные сукцессии при переходе от холодной стадии к теплой (межледниковье или интерстадиал) наблюдаются в пыльцевых записях осадков озер Северо-Востока Сибири в различные возрастные интервалы (Позднечетвертичные..., 2002). Доминирует в спектрах пыльцевой зоны 2 пыльца *Pinus subgen. Haploxylon*, которую следует, очевидно, отнести к виду *Pinus pumila*, а также пыльца *Betula* и *Alnus*. Постоянно встречается в количестве до 4 % пыльца *Larix*. В региональном отношении эта зона отражает широкое распространение лиственничных лесов с густым подлеском из *Pinus pumila*, кустарниковых *Betula*, *Alnus*, *Salix*. Можно предположить, что сосна стланиковая (*Pinus pumila*) формировала заросли на горных склонах выше границы леса. Вероятное участие *Alnus hirsuta* в растительности района оз. Эльгыгытгын предполагает развитие в речных долинах галерейных лесов, включавших, помимо *Alnus hirsuta*, такие древесные породы, как *Chosenia arbutifolia*, *Populus suaveolens*, *Larix*. Вполне вероятно, что нахождение озера в высоких широтах объясняет небольшую роль в локальных лесных сообществах умеренно теплолюбивых деревьев и кустарников (*Carpinus*, *Corylus*). К особенностям пыльцевой зоны 2 следует отнести резкое уменьшение количества спор *Sphagnum*, отражающее, несомненно, лишь небольшое увлажнение ландшафта в окрестностях оз. Эльгыгытгын. Пыльцевые спектры зоны 2 также показывают, что злаково-осоковые и относительно влажные верескоцветные сообщества в растительном покрове района озера играли умеренную роль. В общих чертах спорово-пыльцевые спектры пыльцевой зоны 2 отражают растительные сообщества, формировавшиеся в достаточно теплых климатических условиях. Такое потепление климата в течение интервала 1.286–1.492 млн л. н. отвечало одному из межледниковий калабрия.

В спектрах пыльцевой зоны 3, характеризующей растительность второй половины MIS48, резко уменьшается количество пыльцы *Pinus subgen. Haploxylon* (*Pinus pumila*) и *Alnus*. Сокращается также и содержание пыльцы *Betula*. По сравнению с предыдущей пыльцевой зоной 2, в спектрах зоны 3 значительно возрастает роль пыльцы травянистых растений, разнообразной

по своему составу (см. рис. 2, а, б). К доминантам спектров пыльцевой зоны 3 следует отнести пыльцу Роасеае и *Artemisia* (до 24 %). Несомненно, пыльцевая зона 3 отражает похолодание климата, вызвавшее региональное распространение тундровых сообществ, сочетавшихся с лиственничными лесотундрами. Кустарниковая береза образовывала заросли на склонах многочисленных ручьев, впадающих в озеро, и в долине р. Энмываам. Вполне вероятно, что в лесотундровых сообществах могла встречаться древовидная береза. В окрестностях озера развивались открытые осоково-злаковые луга с разнотравьем (*Saxifragaceae*, *Caryophyllaceae*, *Ranunculaceae*, *Primulaceae*), увлажненные, местами заболоченные (*Sphagnum*, *Lycopodium pungens*). Высокие содержания пыльцы *Artemisia* свидетельствуют о развитии на горных склонах каменистых щебнистых тундр, осыпей. Пыльцевые спектры зоны 3 также показывают, что в растительном покрове района оз. Эльгыгытгын существовали умеренно влажные верескоцветные сообщества. Развитие во второй половине MIS48 лесотундровых сообществ на севере Чукотки показывает более высокие, чем современные, летние температуры (выше 10 °C), и, вероятно, этот интервал следует отнести к интерстадиалу.

Потепление климата на границе MIS48 и MIS47 отражено спорово-пыльцевыми спектрами пыльцевой зоны 4. В региональном и локальном отношениях формировавшиеся в это время растительные сообщества были представлены лиственничными лесами с густым подлеском из *Pinus pumila*, кустарниковых *Betula* и *Alnus*. Несомненно, в интервале 1.286–1.492 млн л. н. такое потепление климата отвечало еще одному межледниковью калабрия. Лиственничный лес, очевидно, включал древовидную березу, также образующую самостоятельные насаждения на склонах возвышенностей, окружающих озеро. Древовидная ольха (*Alnus hirsuta*) была более характерна для пойменных лесов в долине р. Энмываам. К особенностям пыльцевой зоны 4 следует отнести значительное сокращение количества спор *Sphagnum*, что отражает лишь небольшое увлажнение ландшафта в окрестностях оз. Эльгыгытгын. Пыльцевые спектры зоны 4 также показывают, что злаково-осоковые и вересковые сообщества в растительном покрове района озера играли небольшую роль. Вполне вероятно, что в лесных сообществах встречались умеренно теплолюбивые широколиственные деревья и кустарники, такие как *Corylus*, *Carpinus*. Некоторые особенности озерных пыльцевых спектров межледниковья MIS47, включающих пыльцу *Pinus* subgen. *Diploxylon* (современный вид *Pinus sylvestris*),

Picea sect. *Eupicea* (возможно, вид, близкий *Picea obovata*), *Picea* sect. *Omorica* (*Picea ajanensis*), можно объяснить вертикальной поясностью растительности. На пологих восточном и южном склонах оз. Эльгыгытгын и в долинах рек доминировали лиственничные леса с *Betula* и *Alnus* с примесью широколиственных деревьев и *Corylus*. На окружающих озеро вершинах Анадырского плоскогорья на крутых северных и западных склонах эти леса сменялись хвойными *Pinus* лесами с участием *Picea* sect. *Eupicea*, *Picea* sect. *Omorica*.

Спорово-пыльцевые спектры пыльцевой зоны 5 обнаруживают сходство со спектрами зоны 3, что позволяет сделать вывод о развитии растительности, отраженной спектрами зоны 5, в условиях интерстадиала. Участие в спектрах зоны 5 пыльцы *Larix* отражает региональное распространение лиственничных лесов с подлеском из кустарниковых видов *Alnus* (*Duschekia*), *Betula*, *Salix*, *Pinus pumila*. Вполне вероятно, что древовидная *Betula* играла заметную роль в лиственничных лесах, а *Alnus hirsuta* – в галерейных лесах речных долин. В отличие, например, от пыльцевой зоны 4 спектры зоны 5 показывают расширение злаково-осоковых и вересковых сообществ, а на дренируемых участках сообществ с *Artemisia*. Единичные пыльцевые зерна *Picea* sect. *Eupicea* были, очевидно, принесены ветром из более южных и западных районов.

Пыльцевая зона 6 отражает растительность, развивавшуюся в изотопную стадию 45 (границы зоны 6 и MIS45 совпадают). Прежде всего, обращает на себя внимание весьма высокое содержание в спектрах зоны 6 пыльцы *Alnus* (до 60 % от суммы пыльцы). Другим доминантом спектров является пыльца *Betula*. Такие спектры, несомненно, отражают широкое развитие *Alnus-Betula* сообществ. Весьма небольшое количество пыльцы *Pinus pumila*, обнаруженной в спектрах зоны 6, скорее всего, объясняется ее ветровым заносом из более южных и западных районов Северо-Востока Сибири. Значительную роль в окрестностях оз. Эльгыгытгын играли осоково-злаковые луга с разнотравьем (см. рис. 2). Участие в спектрах зоны 6 пыльцы *Larix* показывает региональное распространение лиственничных лесов. В речных долинах развивались галерейные леса из *Larix*, *Alnus hirsuta*, вероятно, включавшие также *Populus suaveolens*, *Chosenia arbutifolia*. Заметное потепление климата, отраженное пыльцевыми спектрами зоны 6, свидетельствует о том, что растительность изотопной стадии 45 характеризовала климатические условия межледниковья.

Пыльцевую зону 7 можно рассматривать как «переходную» от межледниковья к максимально-му похолоданию климата, проявившемуся в тече-

ние интервала 1.286–1.492 млн л. н. Для спорово-пыльцевых спектров пыльцевой зоны 7 характерно резкое сокращение количества пыльцы *Alnus*, показывающее, что сообщества *Alnus-Betula* уже не доминировали в растительном покрове Анадырского плоскогорья и в окрестностях оз. Эльгыгытгын. *Betula*, по всей вероятности, еще сохраняла заметное участие в кустарниковом ярусе растительных сообществ (ерники) вместе с кустарниковой *Salix*. Заметную роль в окрестностях озера сохраняли осоково-злаковые луга с разнотравьем. Пыльца *Larix* в спектрах зоны 7 показывает участие лиственницы в растительном покрове на склонах Анадырского плоскогорья и в речных долинах. В целом пыльцевая зона 7 отражает похолодание климата, вызвавшее региональное распространение тундровых сообществ, сочетавшихся с лиственничными лесотундрами. Отмеченное значительное сокращение количества спор *Sphagnum* в спектрах пыльцевой зоны 4 изотопной стадии 47 сохраняется в спектрах пыльцевых зон 5–13 (изотопные стадии 46–40), что отражает, очевидно, относительно «сухие» климатические условия в период, охватывающий 166 тыс. лет.

Спорово-пыльцевые спектры пыльцевой зоны 8 характеризуют растительность, отвечавшую глубокому похолоданию климата во вторую половину изотопной стадии 44. Судя по данным палинологического анализа, это похолодание можно рассматривать как максимальное в течение интервала 1.286–1.492 млн л. н. Прежде всего, спорово-пыльцевые спектры зоны 8 показывают, что участие в растительном покрове сообществ кустарниковых *Betula* и *Alnus* (*Duschekia*) резко сокращается. Доминирующая в спектрах зоны 8 пыльца Роасеае подчеркивает широкое распространение осоково-злаковых сообществ с разнообразными травянистыми растениями, иногда представленных таксонами с различными экологическими требованиями (*Saxifragaceae*, *Asteraceae*, *Caryophyllaceae*, *Vaccinium*, *Rhododendron*, *Ranunculaceae*, *Thalictrum*, *Polygonaceae*, *Polygonum aviculare*, *Rumex*, *Rosaceae*, *Cichoriaceae*, *Primulaceae*, *Scrophulariaceae*, *Pedicularis*, *Polemoniaceae*, *Plantaginaceae*, *Geraniaceae*, *Caprifoliaceae*, *Portulacaceae*, *Claytonia*, *Chenopodiaceae*, *Brassicaceae*, *Papaveraceae*, *Menyanthaceae*, *Boraginaceae*) и стелющимися формами *Salix*. Такие сообщества включали *Artemisia* (до 25 % от общего количества пыльцы) на дренируемых склонах. Обилие участков с нарушенным почвенным покровом подчеркивается также высоким содержанием в спектрах спор *Selaginella rupestris*. Похолодание климата, отраженное спорово-пыльцевыми спектрами пыльцевой зоны 8, несомненно, привело к распространению тун-

дровых растительных сообществ. Вместе с тем присутствие в спектрах пыльцы *Larix* (до 5 %) показывает, что тундровые сообщества на некоторых участках сменялись лиственничными лесотундрами. Средние июльские температуры, очевидно, не опускались ниже 10 °C.

Весьма существенная перестройка растительного покрова прекрасно отражена спорово-пыльцевыми спектрами пыльцевой зоны 9, характеризующей растительность изотопной стадии 43. В спорово-пыльцевых спектрах зоны 9 постоянно доминирует пыльца группы древесных и кустарниковых растений и, прежде всего, пыльцы *Betula* и *Alnus*. Главная особенность пыльцевой зоны 9 – значительное содержание пыльцы *Pinus* subgen. *Haploxylon*, *Pinus* sp., постоянное участие пыльцы *Larix*, присутствие пыльцы *Pinus* subgen. *Diploxylon* (*Pinus sylvestris*) и пыльцы *Picea* sect. *Eupicea* (*Picea obovata*). По всей вероятности, *Pinus* subgen. **Haploxylon** был представлен видом, близким современному дальневосточному виду *Pinus koraiensis* или, возможно, *Pinus sibirica*, а также сосной стланиковой *Pinus pumila*. Сосны *Pinus koraiensis* или *Pinus sibirica* образовывали сосново-лиственничные и сосново-елово-лиственничные горные и предгорные леса на Анадырском нагорье, но могли встречаться в лиственничных лесах в районе оз. Эльгыгытгын. Сосна *Pinus sylvestris* росла в лиственничных лесах в долинах рек и в пределах лесного пояса гор участвовала в смешанных сосново-лиственничных лесах, поднимаясь в горы до зарослей предтундровых кустарников. *Picea obovata* как примесь встречалась в лиственничных и лиственнично-сосновых лесах, а также в верхней части лесного пояса, где, очевидно, образовывала субальпийские еловые редколесья. Пыльцевая зона 9 подчеркивает региональное распространение лиственничных лесов с подлеском из кустарниковых *Betula*, *Alnus*, *Corylus*, *Salix*, *Pinus pumila*. В состав этих лесов также входили древовидные *Betula* и *Alnus* (вероятно, вид, близкий *Alnus hirsuta*). Распространение открытых осоково-злаковых луговых сообществ с разнотравьем и травянистых сообществ с *Artemisia* и *Selaginella rupestris* на дренируемых щебнистых склонах заметно редуцируется. Особенности спорово-пыльцевых спектров пыльцевой зоны 9 показывают, что растительность MIS43 развивалась в межледниковье с наиболее теплыми климатическими условиями в течение интервала 1.286–1.492 млн л. н. Средние июльские температуры были выше 16 °C.

Спорово-пыльцевые спектры пыльцевой зоны 10 отражают смену растительных сообществ на границе MIS43 и MIS42. Одним из основных компонентов спектров по-прежнему, как и в пыльце-

вой зоне 9, является пыльца *Betula* и *Alnus*, но ее роль уменьшается, особенно во второй половине MIS42. Тем не менее спектры показывают, что кустарниковая береза как в локальном, так и в региональном отношении могла иметь заметную роль в растительном покрове, образуя густые заросли на склонах речных долин. Несмотря на весьма существенное сокращение количества пыльцы *Pinus subgen. Naploxyton* в пыльцевой зоне 10, можно допустить, что сосна стланиковая (*Pinus pumila*) могла образовывать ограниченные разбросанные популяции и/или встречаться в кустарниковых березово-ольховниковых зарослях. Участие в спектрах зоны 10 пыльцы *Larix* отражает региональное распространение лиственничной лесотундры. В долинах рек могли, очевидно, сохраняться лиственничные леса с подлеском из кустарниковых видов *Alnus* (*Duschekia*), *Betula*, *Salix*, *Pinus pumila*. В отличие от пыльцевой зоны 9 зона 10 показывает расширение площадей, занятых злаково-осоковыми – разнотравными сообществами, а также *Artemisia* на дренируемых или каменистых участках. Единичные пыльцевые зерна *Picea sect. Eurpicea*, как и единичная пыльца *Carpinus*, *Corylus*, были, очевидно, принесены ветром из районов, находящихся южнее и западнее оз. Эльгыгытгын. Спорово-пыльцевые спектры пыльцевой зоны 10 обнаруживают сходство со спектрами пыльцевых зон 4 и 5, что позволяет сделать вывод о развитии растительности, отраженной спектрами зоны 10 в условиях интерстадиала.

Пыльцевая зона 11 отражает растительность, развивавшуюся на крайнем севере Чукотки в изотопную стадию 41. Обращает на себя внимание весьма высокое содержание в спектрах зоны 11 пыльцы *Alnus* (пик пыльцы *Alnus* до 72 % от суммы пыльцы). К доминантам спектров можно отнести также пыльцу *Betula*, количество которой сопоставимо с ее участием в спектрах, отражающих растительность максимального потепления климата в интервале 1.286–1.492 млн л. н. Эти спектры, несомненно, свидетельствуют о господстве в растительном покрове *Alnus-Betula* сообществ, представленных как древесными видами ольхи и березы, так и их кустарниковыми зарослями. Единичная пыльца *Pinus subgen. Naploxyton* и *Picea sect. Eurpicea* является, несомненно, заносной, и единственным представителем хвойных в пределах Анадырского нагорья и в районе оз. Эльгыгытгын в течение MIS41 была *Larix*. Пыльца *Larix* в спектрах зоны 11 может показывать региональное распространение лиственничных лесов с густым подлеском из кустарниковых *Alnus*, *Betula*, *Corylus*, *Salix* с древесными видами *Betula* и *Alnus*. Судя по обилию в спектрах пыльцы *Alnus*, *Alnus hirsuta* доминировала в галерейных лесах речных долин, кото-

рые также включали *Populus* (*P. suaveolens*), *Chosenia arbutifolia*. Роль в растительном покрове вблизи оз. Эльгыгытгын осоково-злаковых лугов с разнотравьем, сообществ *Artemisia* и вересковых была крайне низкой. Весьма заметное потепление климата, отраженное пыльцевыми спектрами зоны 11, свидетельствует о том, что растительность изотопной стадии 41 характеризовала климатические условия межледниковья.

Пыльцевая зона 12 подчеркивает региональное распространение лиственничной лесотундры или даже сохранение в наиболее защищенных участках речных долинах в окрестностях оз. Эльгыгытгын лиственничных лесов с подлеском из кустарниковых *Betula*, *Alnus* и *Pinus pumila*. Вблизи озера существовали открытые осоково-злаковые луговые сообщества, нередко заболоченные, с разнотравьем и кустарниковой *Salix*, сочетавшиеся с травянистыми сообществами с обилием *Artemisia* (пик пыльцы *Artemisia* 35 %) и участием *Selaginella rupestris*, занимавшие хорошо дренируемые щебнистые склоны. Климатические условия более благоприятные, чем современные, характеризовались, по всей вероятности, средними июльскими температурами не ниже 12–13 °С. Палинологические данные позволяют рассматривать пыльцевую зону 12 как зону, отражающую растительность интерстадиала.

Если пыльцевая зона 12 показала развитие растительных сообществ, соответствующих климату интерстадиала, проявившемуся в MIS40, то спектры пыльцевой зоны 13 характеризуют растительность, свидетельствующую о похолодании климата в конце MIS40. Прежде всего, спорово-пыльцевые спектры зоны 13 показывают, что участие в растительном покрове сообществ кустарниковых *Betula* и *Alnus* (*Duschekia*) заметно сокращается. Доминирующая в спектрах зоны 13 пыльца *Roaseae* подчеркивает распространение осоково-злаковых – разнотравных сообществ, сочетающихся с сообществами *Artemisia* на дренируемых склонах. Похолодание климата, отраженное спорово-пыльцевыми спектрами пыльцевой зоны 13, несомненно, привело к развитию тундровых растительных сообществ. Вместе с тем присутствие в спектрах пыльцы *Larix* показывает, что тундровые сообщества на некоторых участках сменялись лиственничными лесотундрами. Средние июльские температуры, очевидно, не опускались ниже 10 °С.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Палинологический анализ осадков оз. Эльгыгытгын, формировавшихся 1.286–1.492 млн л. н., заполняет пробел в последовательной летописи реакции растительности Восточной Арктики на

изменения климата в четвертичный период. Несмотря на то что этот интервал представляется достаточно сложным для палеоэкологических построений, все же можно сделать следующие общие выводы:

установленные в интервале 1.286–1.492 млн л. н. пыльцевые зоны характеризуют растительность межледниковий (пыльцевые зоны 2, 4, 6, 9, 11), представленную лиственничными лесами с густым подлеском из кустарниковых *Betula*, *Alnus* (*Duschekia*), *Salix*, *Pinus pumila*, с участием древесных видов *Betula*, *Alnus*, возможно, *Populus* и *Chosenia* в галерейных лесах речных долин; интерстадиалов (пыльцевые зоны 3, 5, 10, 12) – открытые лиственничные леса и лесотундры с зарослями кустарниковой *Betula*, березово-ольховниковых сообществ с *Pinus pumila*; растительность холодных стадий (1, 7, 8, 13) с развитием тундр и лиственничных лесотундр, широким распространением осоково-злаковых – разнотравных сообществ, сменявшихся *Artemisia* и *Selaginella rupestris* на дренируемых каменистых склонах;

постоянное участие пыльцы *Larix* в спектрах, характеризующих растительные сообщества интервала 1.286–1.492 млн л. н., свидетельствует, что лиственница была основным лесообразующим хвойным деревом. Регионально распространенные в межледниковья и интерстадиалы лиственничные леса в периоды похолоданий сменялись лиственничными лесотундрами, возможно, с участием древесной *Betula*;

наиболее теплыми межледниковыми климатическими условиями в течение интервала 1.286–1.492 млн л. н. характеризовалась MIS43. Растительность этой стадии отражена спорово-пыльцевыми спектрами пыльцевой зоны 9: региональное распространение лиственничных лесов с подлеском из кустарниковых *Betula*, *Alnus*, *Corylus*, *Salix*, *Pinus pumila* и участием древовидных *Betula*, *Alnus* и *Pinus* subgen. *Haploxylon*, *Pinus* subgen. *Diploxylon*, *Picea* sect. *Eurpicea*;

растительность наиболее глубокого похолодания климата в интервале 1.286–1.492 млн л. н. отражена спорово-пыльцевыми спектрами пыльцевой зоны 8. Доминирующая в спектрах зоны 8 пыльца *Roaseae* подчеркивает широкое распространение осоково-злаковых сообществ с разнообразными травянистыми растениями, представленными таксонами с различными экологическими требованиями, и травянистыми сообществами с *Artemisia* и *Selaginella rupestris* на дренируемых щебнистых склонах;

растительные сообщества дренируемых участков представляли яркий контраст увлаж-

ненным травянистым, травянисто-кустарниковым тундровым сообществам. Высокое содержание в спектрах пыльцевых зон, характеризующих растительность стадий похолодания, пыльцы *Artemisia* и других относительно сухолюбивых таксонов, спор *Selaginella rupestris* на фоне высокой влажности, заболоченности берегов озера не соответствует представлениям о реконструкции тундростепных сообществ;

хотя климаты Северного полушария в целом холодные в течение плейстоцена, данные оз. Эльгыгитгын показывают нестабильность изменения климата и предполагают, что современные арктические сообщества могут исчезнуть в результате глобального потепления в будущем.

БЛАГОДАРНОСТИ

Мы выражаем благодарность Ю. А. Корзун, Л. Н. Котовой, Е. Ю. Недорубовой за помощь в подготовке статьи.

ЛИТЕРАТУРА

Васьковский А. П. Споры-пыльцевые спектры современных растительных сообществ Крайнего Северо-Востока СССР и их значение для восстановления четвертичной растительности // Материалы по геологии и полезным ископаемым Северо-Востока СССР. Магадан : Кн. изд-во, 1957. Вып. 11. С. 130–178.

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

Ложкин А. В., Андерсон П. М., 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.

Позднечетвертичные растительность и климаты Сибири и Российского Дальнего Востока (палинологическая и радиоуглеродная база данных) / ред. П. М. Андерсон, А. В. Ложкин. Магадан : СВНЦ ДВО РАН, 2002. 369 p.

Cita M. B., Gibbard Ph. L., Head M. J. and the ICS Subcommission on Quaternary Stratigraphy. Formal ratification of the GSSP for the base of the Calabrian Stage (second stage of the Pleistocene Series, Quaternary System) // Episodes. 2012. Vol. 35, No. 3. P. 388–397.

Layer P. Argon-40/argon-39 age of the El'gyg'ytgyn impact event, Chukotka, Russia // Meteoritics & Planetary Science. 2000. Vol. 35. P. 591–599.

Lisiecki L. E., Raymo M. E. A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic $\delta^{18}\text{O}$ records // Paleoceanography. 2005. Vol. 20 (1). P. 1–17.

PALE. Research Protocols for PALE: Paleoclimates of Arctic lakes and estuaries. PAGES Workshop Report Series. Bern, 1994. 56 p.

Поступила в редакцию 02.12.2022 г.

Поступила после доработки 11.12.2022 г.

CHANGES IN PLANT COMMUNITIES IN ARCTIC CHUKOTKA DURING ISOTOPE STAGES 40–49

A. V. Lozhkin¹, P. M. Anderson²

¹*North-East Interdisciplinary Scientific Research Institute n. a. N. A. Shilo, FEB RAS, Magadan*

²*Earth & Space Sciences and Quaternary Research Center, University of Washington, Seattle WA, USA*

The palynological record from Lake El'gygytyn, spanning the interval between c. 1.286 and 1.492 million years ago, shows repeated changes in plant communities in Arctic Chukotka, which reflect variations in glacial, interstadial, and interglacial climatic conditions. Thirteen pollen zones were defined, corresponding to marine oxygen isotope stages 40–49. The consistent presence of *Larix* pollen in these pollen spectra indicates that even under extremely severe climatic conditions that occurred in areas of the Anadyr Plateau and Lake El'gygytyn during the Calabrian Age, larch forest-tundra survived. The continued presence of forest habitats differs sharply from the herb-dominated tundra that characterized many glacial intervals in the Arctic during the Middle and Late Pleistocene. The warmest climate within the 1.286–1.492 million year interval, seen in pollen zone 9, appeared during isotope stage 43. The maximum in cold conditions occurred during the second half of isotope stage 44 (pollen zone 8).

Keywords: isotope stage, spore-pollen spectra, pollen zone, plant communities, interstadial, interglacial.

REFERENCES

- Cita, M. B., Gibbard, Ph. L., Head, M. J. and the ICS Subcommission on Quaternary Stratigraphy, 2012. Formal Ratification of the GSSP for the Base of the Calabrian Stage (Second Stage of the Pleistocene Series, Quaternary System), *Episodes*. 35, 3, 388–397.
- Kozhevnikov, Yu. P., 1993. Vascular Plants in the Vicinities of Lake El'gygytyn. Eds. Bely, V. F., Chereshnev, I. A., *Nature of the Lake El'gygytyn Depression (Problems of Studying and Protecting)*. Magadan, NEISRI FEB RAS. 62–82 [In Russian].
- Late Quaternary Vegetation and Climates in Siberia and the Russian Far East (Palynological and Radiocarbon Database), 2002. Eds. P. M. Anderson, A. V. Lozhkin. Magadan, NEISRI FEB RAS [In Russian].
- Layer, P., 2000. Argon-40/argon-39 Age of the El'gygytyn Impact Event, Chukotka, Russia, *Meteoritics & Planetary Science*. 35, 591–599.
- Lisiecki, L. E., Raymo, M. E., 2005. A Pliocene-Pleistocene Stack of 57 Globally Distributed Benthic $\delta^{18}\text{O}$ Records, *Paleoceanography*. 20 (1), 1–17.
- Lozhkin, A. V., Anderson, P. M., Belaya, B. V., Stetsenko, T. V., 2002. Reflection of the Chukotka's Modern Pollen Rain in Bottom Lake Sediments, *Quaternary Paleogeography of Beringia*. Magadan, NEISRI FEB RAS. 40–50 [In Russian].
- PALE, 1994. Research Protocols for PALE: Paleoclimates of Arctic Lakes and Estuaries. PAGES Workshop Report Series, Bern.
- Vaskovsky, A. P., 1957. Spore-Pollen Spectra of Modern Plant Communities in the Far North-East of the USSR and Their Significance for Reconstructing Quaternary Vegetation, *Materials on Geology and Mineral Resources in the North-East of the USSR*. Magadan. 11, 130–178 [In Russian].