

УДК 551.583.7(571.651)

РАСТИТЕЛЬНЫЕ СООБЩЕСТВА ВОСТОЧНОЙ АРКТИКИ В ИЗОТОПНЫЕ СТАДИИ 50–59

Ложкин А. В.¹, Андерсон П. М.², Корзун Ю. А.¹, Недорубова Е. Ю.¹

¹ФГБУН Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт

им. Н. А. Шило ДВО РАН, г. Магадан

²Вашигтонский университет, факультет наук о Земле и Космосе,

Центр четвертичных исследований, г. Сиэтл, США

E-mail: lozhkin@neisri.ru, pata@uw.edu

Палинологический анализ осадков оз. Эльгыгытгын, формировавшихся в течение кислородно-изотопных стадий 50–59, показывает смену холодных стадий, интерстадиалов и межледниковий. Выделенные 10 пыльцевых зон соответствуют интервалу 1.4920–1.6975 млн л. н. К этому интервалу относится магнитное событие Gilsa (1.68 млн л. н.), являющееся важным хронологическим ориентиром. Участие в спорово-пыльцевых спектрах всех стадий пыльцы *Larix* свидетельствует о развитии в периоды потеплений в районах Анадырского плоскогорья и оз. Эльгыгытгын лиственничных лесов, сменявшихся в холодные стадии лиственничными лесотундрами. Наиболее теплые климатические условия в интервале 1.4920–1.6975 млн л. н. отражены пыльцевой зоной 6 (MIS55). Растительность в период максимального похолодания характеризуется пыльцевыми зонами 7–10 (MIS50–MIS54). Интервал 1.4920–1.6975 млн л. н. представляет последний шаг в завершении четвертичной истории растительности уникального района арктической Сибири.

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

DOI: 10.34078/1814-0998-2023-3-36-46

ВВЕДЕНИЕ

Палинологическая запись изменений растительности в Восточном секторе Арктики в течение 50–59 морских изотопных стадий (MIS), относящихся к интервалу 1.4920–1.6975 млн л. н. (Lisiecki, Raymo, 2005), была получена при исследовании осадков оз. Эльгыгытгын, находящегося в кратере, образовавшемся при падении 3.58 млн л. н. метеорита (Layer, 2000) за Полярным кругом Чукотки в районе с координатами 67° 30' с. ш., 172° 05' в. д. (рис. 1). Такие исследования стали возможны благодаря Международной экспедиции «El'gygytgy'n Drilling Project», поднявшей в центре озера керн осадков длиной 317 м (скважина 5011-1), представленных алевроитами, иногда с примесью тонкозернистого песка (Melles et al., 2012; Nowaczyk et al., 2013; Lozhkin, Anderson, 2020).

В интервале 1.4920–1.6975 млн л. н. установлено палеомагнитное событие Gilsa (1.68 млн л. н.), являющееся важным хронологическим ориентиром. Следует подчеркнуть, что этот ин-

тервал представляет последний шаг в завершении исследований четвертичной истории растительности уникального района арктической Сибири.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Спорово-пыльцевой анализ осадков оз. Эльгыгытгын в интервале 1.492–1.6975 млн л. н. осуществлялся по методике, предложенной для исследования арктических озер и эстуариев (PALE, 1994). При реконструкции растительности сумма пыльцевых зерен принималась за 100 %. В каждом образце подсчитывалось, как правило, 300 пыльцевых зерен наземных растений. На спорово-пыльцевых диаграммах отражалось соотношение пыльцы группы древесных и кустарниковых растений, пыльцы группы кустарничковых и травянистых растений и группы спор, основных и споровых таксонов, а также второстепенных пыльцевых и споровых таксонов (рис. 3, а, б). 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. Трудности при про-



Рис. 1. Карта-схема, показывающая нахождение оз. Эльгыгытгын (темный кружок); пунктирная линия представляет Полярный круг.

Fig. 1. Schematic map showing the location of Lake El'gygytyn (dark circle); the dotted line represents the Arctic Circle.

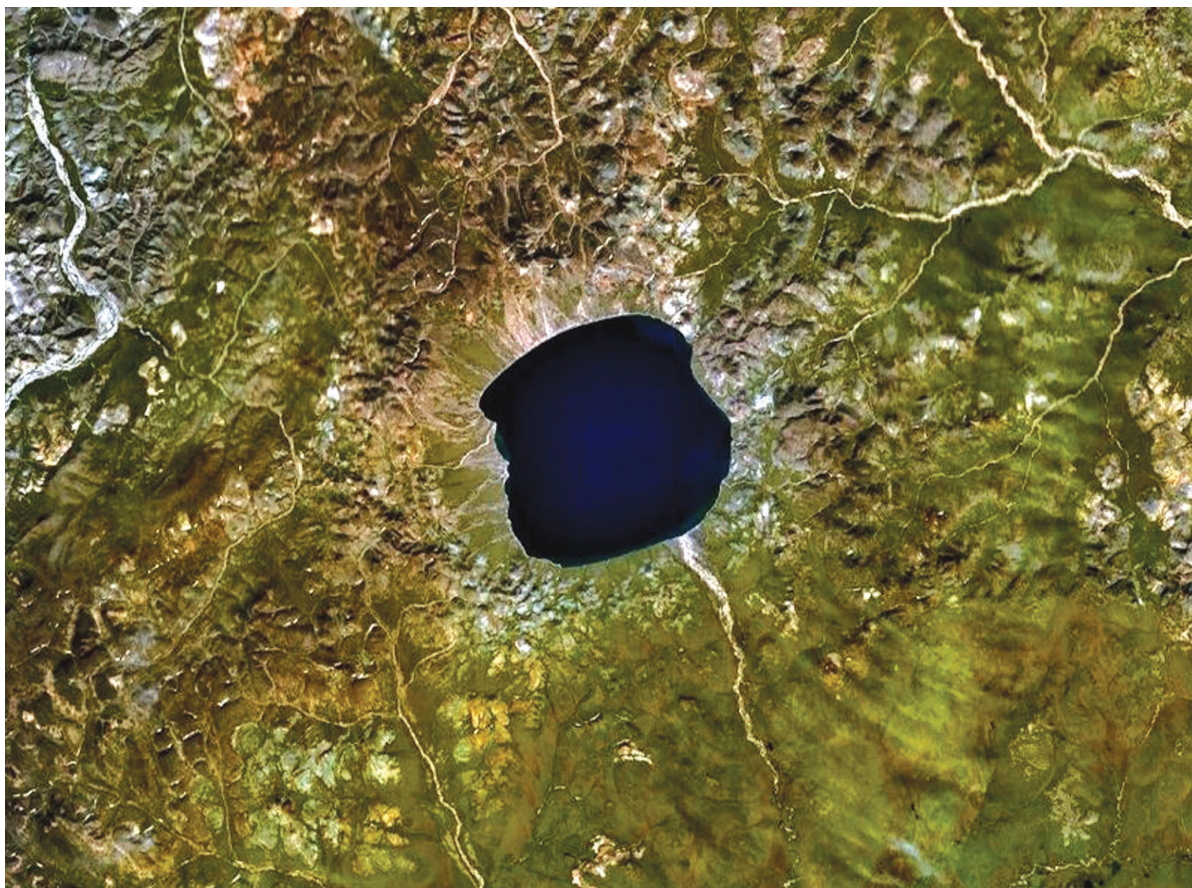


Рис. 2. Спутниковый снимок оз. Эльгыгытгын (Интернет). Масштаб: в 1 см 2.4 км.

Fig. 2. Satellite image of Lake El'gygytyn (Internet). Scale: 1 cm : 2.4 km.

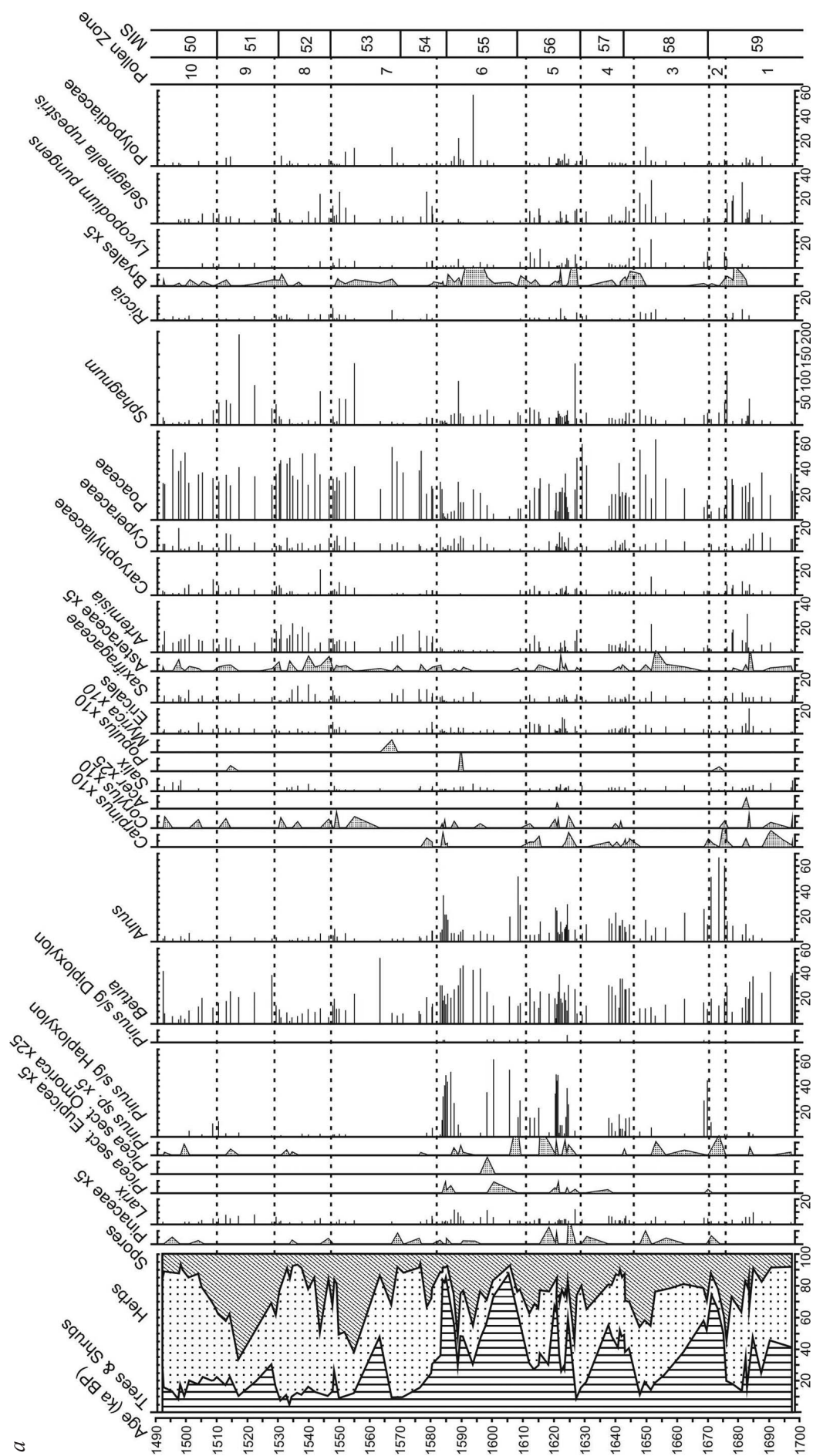


Рис. 3. Спорово-пыльцевые диаграммы осадков оз. Эльгыгтыгын: а – процентные соотношения групп растительности, основных пыльцевых и спорных таксонов в спектрах осадков морских изотопных стадий 50–59, б – участие второстепенных таксонов пыльцы и спор в спектрах осадков морских изотопных стадий 50–59.

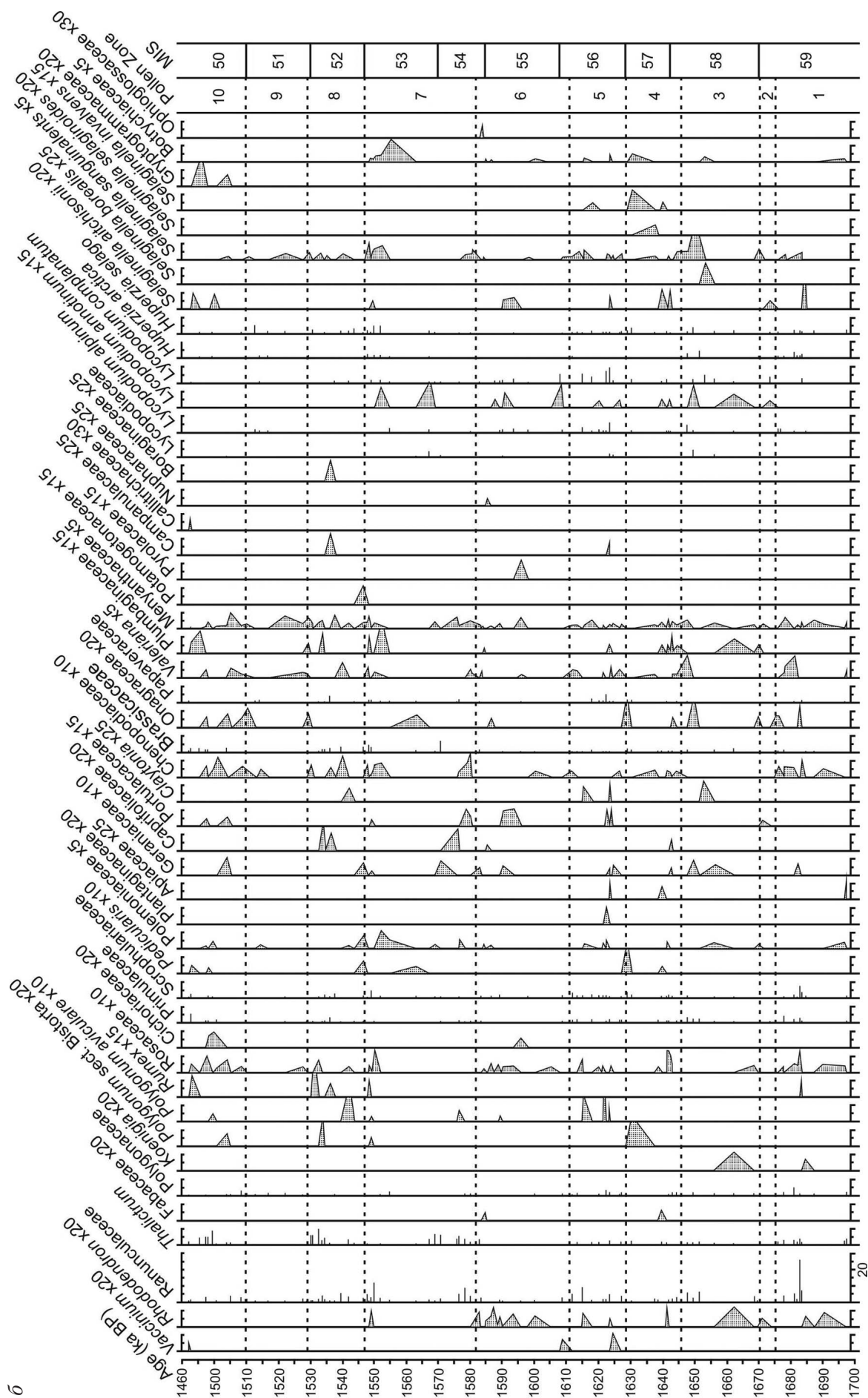


Fig. 3. Spore-pollen diagrams of sediments from Lake El'gygytyn: a – percentage ratios of vegetation groups, main pollen and spore taxa in the spectra of sediments of marine isotope stages 50–59, δ – participation of minor pollen and spore taxa in the spectra of sediments of marine isotope stages 50–59.

ведении палинологического анализа могли возникать из-за низкой концентрации пыльцы в образцах осадков, особенно формировавшихся в холодные стадии. Образцы с невысокой концентрацией пыльцы дублировались образцами соседних уровней. Осадки, формировавшиеся в интерстадиалы и межледниковья, обычно насыщены пылью и спорами.

При реконструкции палеорастительности, по данным спорово-пыльцевого анализа осадков оз. Эльгыгытгын, учитывалось отражение современного пыльцевого дождя в спектрах донных осадков озера на границе вода – осадок. Состав современных спорово-пыльцевых спектров донных осадков озера определяется ветровым заносом с Анадырского плоскогорья пыльцы *Alnus* (*Duschekia fruticosa*), *Betula*, *Pinus pumila*, количество которой в сумме может достигать 45 % (Ложкин и др., 2002). В окрестностях озера растительный покров представлен в основном лишайниками и травами. 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 (Кожевников, 1993). 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.

Пыльцевые зоны и их корреляция с изотопными стадиями

Палинологическая летопись осадков оз. Эльгыгытгын в интервале 1.492–1.6975 млн л. н. включает 10 пыльцевых зон, характеризующих растительные сообщества ледниковых и межледниковых стадий и интерстадиалов (рис. 3, а, б). Границы некоторых пыльцевых зон иногда соответствуют границам изотопных стадий: граница пыльцевых зон 2 и 3 совпадает с границей MIS59 и MIS58, граница пыльцевых зон 4 и 5 соответствует границе MIS57 и MIS58, граница зон 7 и 8 – границе MIS53 и MIS52, граница зон 9 и 10 – границе MIS51 и MIS50. Пыльцевые зоны 1 и 2 характеризуют растительность одной изотопной стадии 59. Пыльцевая зона 3 отвечает большей части MIS58, а зона 5 – MIS56. Пыльцевая зона 4 характеризует растительность MIS57 и самых верхов MIS58, зона 7 – растительность MIS53 и верхней части MIS54, зона 8 – MIS52 и основание MIS51. Пыльцевая зона 6 соответствует MIS55, верхней части MIS56 и основанию MIS54. Зона 9 отражает растительность большей части MIS51. MIS50 охарактеризована спектрами зоны 10.

Особенности спорово-пыльцевых спектров

Для спорово-пыльцевых спектров осадков оз. Эльгыгытгын в интервале 1.492–1.6975 млн л. н. характерно постоянное участие пыльцы *Larix*, количество которой может достигать 7–10 % от суммы всех пыльцевых зерен в пыльцевых зонах, относящихся как к «теплым», так и «холодным» изотопным стадиям. Возможно, *Larix* была представлена видом, близким современному *Larix sibirica* Ldb., а не *Larix cajanderi* Mayr, единственному хвойному дереву, образующему сейчас леса в Северо-Восточной Сибири. Как показал А. П. Васьковский (1957), основанием для такого предположения может быть тот факт, что пыльца *Larix cajanderi*, в отличие от *Larix sibirica*, чрезвычайно плохо сохраняется даже в субфоссильных спорово-пыльцевых спектрах. Постоянное участие пыльцы *Larix* в спектрах, характеризующих растительные сообщества интервала 1.492–1.6975 млн л. н., свидетельствует, что в суровых климатических условиях калабрия в Анадырском плоскогорье и в районе оз. Эльгыгытгын сохранялась лиственничная лесотундра.

К доминантам спорово-пыльцевых спектров осадков оз. Эльгыгытгын в интервале 1.492–1.6975 млн л. н. относится пыльца *Betula*, количество которой в теплые стадии может достигать 50 % и оставаться достаточно высоким (до 20–25 %) в спектрах стадий похолодания. Заметно участие пыльцы *Alnus* в спектрах относительно теплых стадий (до 20–25 %). В исключительных случаях содержание пыльцы *Alnus* достигает 50–65 %. Пиковые содержания пыльцы *Pinus pumila* (50–60 %) относятся лишь к межледниковым стадиям.

Обращают на себя внимание сравнительно высокие содержания в спектрах пыльцы *Artemisia*, особенно в стадиях, характеризующих похолодание (до 25 %). Увеличению в спектрах количества пыльцы *Artemisia* отвечают высокие содержания спор *Selaginella rupestris* (до 22–33 % от общего количества пыльцевых зерен). Большую роль в пыльцевой летописи интервала 1.492–1.6975 млн л. н. играет пыльца *Рoасеае*, содержание которой в спектрах пыльцевых зон, характеризующих холодные стадии, достигает 55–65 % (рис. 3, а), оставаясь достаточно высоким в спектрах стадий потепления (до 30–40 %). К стадиям потепления относятся также пики спор *Sphagnum* (до 100–180 %). Сравнительно часто в спектрах встречается единичная пыльца умеренно теплолюбивых *Corylus*, *Carpinus*.

Характеристика пыльцевых зон и растительных сообществ

В спорово-пыльцевых спектрах пыльцевой зоны 1, отвечающей MIS59, доминирует пыльца *Betula* и пыльца *Рoасеае*. По всей вероятности,

кустарниковая *Betula* играла важную роль как в локальном, так и в региональном отношениях. Древовидная *Betula* могла также образовывать самостоятельные насаждения на склонах возвышенностей, окружающих озеро. В спектрах зоны 1 постоянно присутствует пыльца *Larix*, количество которой достигает 6–10 %. Возможно, это подчеркивает региональное распространение лиственничной лесотундры или даже существование в окрестностях озера открытых лиственничных лесов с густым подлеском из кустарниковой *Betula*. Значительные площади в окрестностях озера занимали открытые луговые сообщества, отраженные в спектрах пылью *Poaceae*, *Cyperaceae* и **разнотравья** (*Ranunculaceae*, *Polygonaceae*, *Rumex*, *Primulaceae*, *Scrophulariaceae*, *Pedicularis*). Заметное участие в спектрах пыльцы *Artemisia* и спор *Selaginella rupestris* свидетельствует о развитии растительных сообществ на дренируемых щебнистых склонах. По всей вероятности, растительность, отраженная спорово-пыльцевыми спектрами пылевой зоны 1, развивалась в условиях интерстадиала.

Пыльцевая зона 2 подчеркивает значительную смену растительных сообществ в конце MIS59. Доминирующая в спектрах этой зоны пыльца *Alnus* свидетельствует, очевидно, не только о широком распространении кустарниковых форм *Alnus* (возможно, *Duschekia fruticosa*), но и об участии древовидной *Alnus* (вероятно, вид, близкий *Alnus hirsuta*) в пойменных галерейных лесах. Постоянное присутствие пыльцы *Larix* позволяет предположить развитие в окрестностях озера открытых лиственничных лесов с густым подлеском из *Duschekia fruticosa*, кустарниковых *Betula*, *Pinus pumila*, отражающих растительность межледникового. Открытые луговые сообщества с *Poaceae* и разнотравьем в окрестностях озера, как показывают спорово-пыльцевые спектры, не были широко распространены.

Если пыльцевая зона 2 показала развитие растительных сообществ, соответствующих климату межледникового, проявившемуся в конце MIS59, то спектры пылевой зоны 3 характеризуют растительность, свидетельствующую о значительном похолодании климата в течение MIS58. Спорово-пыльцевые спектры зоны 3 показывают, что участие в растительном покрове сообществ кустарниковых *Betula* и особенно *Alnus* (*Duschekia*) заметно сокращается. Возможно, в небольших долинах могли сохраняться отдельные куртины *Pinus pumila*, защищенные от зимних холодов глубоким снежным покровом. Доминирование в спектрах пыльцы *Poaceae* и заметное количество пыльцы *Cyperaceae* подчеркивают весьма широкое распространение осоково-злаковых сообществ, местами увлажненных, с разнотравьем и стелющимися куста-

ми *Salix*. Спектры зоны 3 также свидетельствуют о развитии в ландшафте щебнистых и каменистых склонов с характерным для арктических тундр видом *Selaginella rupestris* (пик спор *Selaginella rupestris* 35 %), склонов южной экспозиции с разрушаемыми почвами, зарастающих сообществами *Artemisia*, береговых склонов с зарослями кустарников. Глубокое похолодание климата, отраженное спорово-пыльцевыми спектрами пылевой зоны 3, несомненно, привело к распространению тундровых растительных сообществ. Вместе с тем постоянное присутствие в спектрах пыльцы *Larix* вполне определенно показывает, что тундровые сообщества на некоторых участках сменялись лиственничными лесотундрами.

На границе 58 и 57 изотопных стадий наблюдается перестройка растительного покрова. Смена растительных сообществ отражена спорово-пыльцевыми спектрами пылевой зоны 4, отвечающей MIS57 и самому верхнему «слою» MIS58. В спорово-пыльцевых спектрах пылевой зоны 4 доминирует пыльца группы древесных и кустарниковых растений и прежде всего пыльцы *Betula* и *Alnus*. Особенностью пылевой зоны 4 является также сравнительно высокое содержание пыльцы *Pinus* subgen. *Haploxylon*, которая, по всей вероятности, полностью должна быть отнесена к *Pinus pumila*. Постоянное участие в спектрах зоны 4 пыльцы *Larix* (6 %) свидетельствует о региональном распространении лиственничных лесов с густым подлеском из кустарниковых видов *Alnus* (*Duschekia*), *Betula*, *Salix* и *Pinus pumila*. В речных долинах, очевидно, развивались галерейные леса из *Larix*, *Alnus hirsuta*, *Populus* (вероятно, *Populus suaveolens*), *Chosenia arbutifolia*. В долинах ручьев сохранялись заросли кустарниковой *Alnus*. Заметную роль в растительном покрове играли злаково-осоковые и умеренно влажные вересковые сообщества с участками дренируемых разрушаемых почв (*Artemisia*, *Selaginella rupestris*), осыпей. Единичные пыльцевые зерна *Picea* sect. *Eurpicea* являются, скорее всего, заносными из более южных и западных районов, как и пыльца умеренно теплолюбивых широколистных *Carpinus*, *Corylus*. По сравнению с пылевой зоной 3, заметное потепление климата, отраженное пыльцевыми спектрами зоны 4, свидетельствует о том, что растительность изотопной стадии 57 развивалась в условиях интерстадиала.

Весьма существенная перестройка растительных сообществ очень ясно проявилась на границе 57 и 56 изотопных стадий. Эта перестройка охарактеризована двумя пыльцевыми зонами: зоной 5, отвечающей изотопной стадии 56, и зоной 6, сопоставляемой с изотопной стадией 55. Главная особенность пылевых зон 5 и 6 — значительное

содержание пыльцы *Pinus* subgen. *Haploxyton* (до 50 % в зоне 5, до 60 % в зоне 6), постоянное участие пыльцы *Larix* (до 12 % в обеих зонах). В спектрах зон встречается пыльца *Pinus* subgen. *Diploxyton* (современный вид *Pinus silvestris*) и пыльца *Picea* sect. *Eurpicea* (возможно, вид, близкий *Picea obovata*). Пыльца этих хвойных деревьев, по-видимому, была занесена из ближайших местонахождений. Спорово-пыльцевые спектры пыльцевых зон 5 и 6 показывают, что в региональной растительности северной Чукотки, включая Анадырское нагорье и окрестности оз. Эльгыгытгын, развивались лиственные леса. Значительную роль в подлеске лесов играла сосна стланиковая (*Pinus pumila*). Вполне вероятно, что *Pinus pumila* образовывала также самостоятельные насаждения в виде кустарникового соснового пояса, подобного современным *Pinus pumila* сообществам выше границы лиственного леса в горных районах р. Колыма, р. Индигирка, Северного Приохотья (Васьковский, 1957). Постоянное высокое содержание пыльцы *Betula* свидетельствует, скорее всего, не только о развитии продуктивных высококустарниковых березовых сообществ, но и об участии высокоствольных берез в лиственных лесах. В подлеске лиственных лесов встречалась также кустарниковая *Alnus* (*Duschekia*). Небольшие, нередко изолированные заросли кустарниковой *Alnus* сохранялись, очевидно, в долинах ручьев. В речных долинах, таких как долина р. Энмываам, вытекающей из оз. Эльгыгытгын (см. рис. 1), по всей вероятности, существовали, особенно в изотопную стадию 55 (пыльцевая зона 6), галерейные леса из *Larix*, *Populus*, *Chosenia*, *Alnus hirsuta*. *Populus* мог образовывать в долинах рек небольшие леса, подобные современным тополевым лесам на юге Чукотки (Anderson, Lozhkin, 2015). Пыльцевые спектры, включающие споры *Sphagnum* и пыльцу *Ericales*, показывают, что в растительном покрове района оз. Эльгыгытгын развивались умеренно влажные вересковые сообщества. Содержание в спектрах зон 5 и 6 спор *Sphagnum* может свидетельствовать и о повышенной влажности почвенного покрова некоторых участков лиственных лесов, их заболоченности и развитии болот. Заметную роль в спектрах пыльцевых зон 5 и 6 играла пыльца *Рoaceae* и *Cyperaceae*. Пыльцевая зона 5 характеризуется также разнообразием травянистых пыльцевых таксонов (см. рис. 3, б). Такие особенности спорово-пыльцевых спектров отражают открытые луговые сообщества, которые занимали значительные площади на берегах оз. Эльгыгытгын как в холодные, так и в теплые интервалы. Чередование теплых и холодных интервалов характерно для интерстадиальных стадий, например, таких как MIS3. Эта стадия хорошо охарактеризована в непрерывной пыльцевой

летописи осадков оз. Эликан-4 вблизи границы Охотско-Колымского водораздела (Позднечет-вертичные..., 2002). Можно полагать, что пыльцевая зона 5 отражает растительные сообщества, соответствующие интерстадиалу.

Анализ спорово-пыльцевых спектров пыльцевых зон 5 и 6 весьма ясно показал особенности развития растительности в изотопные стадии 56 и 55. Спектры пыльцевой зоны 5 (MIS56), в отличие от спорово-пыльцевых спектров пыльцевой зоны 6 (MIS55), подчеркивают неоднократные изменения растительности, подчиненные климатическим флуктуациям. В пыльцевой зоне 5 ясно выражены два пика пыльцы древесных и кустарниковых растений, продуцированной в основном *Larix*, *Pinus* subgen. *Haploxyton* (*Pinus pumila*), *Betula*, *Alnus* (*Duschekia*). Постоянное участие в спектрах пыльцы *Larix* позволяет сделать вывод о развитии в эти интервалы лиственных лесов с обильным подлеском, сложенным *Pinus pumila*, кустарниковыми *Betula*, *Alnus* (*Duschekia*), *Salix*. Эти относительно теплые интервалы чередуются с холодными интервалами, спорово-пыльцевые спектры которых показывают весьма широкое распространение осоково-злаковых сообществ с разнообразными травянистыми растениями (рис. 3, а, б) и стелющимися кустами *Salix* и, возможно, заболоченных участков. Для спектров «холодных интервалов» характерны повышенные содержания пыльцы *Artemisia* (до 12–15 %), *Parvaceae* (до 5 %), спор *Selaginella rupestris* (10 %), свидетельствующие о существовании дренируемых участков с разрушаемыми почвами, осыпей. Присутствие в спектрах «холодных интервалов» пыльцы *Larix* отражает распространение лесотундровых сообществ, но с заметно меньшим, чем в «теплые интервалы», участием в растительном покрове кустарников *Pinus pumila*, *Betula*, *Alnus* (*Duschekia*).

Спорово-пыльцевые спектры пыльцевой зоны 6, в отличие от спектров зоны 5, показывают лишь однократное изменение растительности в течение изотопной стадии 55. Это изменение растительности отражено интервалом с доминированием пыльцы *Betula*, разделяющим интервалы, спектры которых отличаются весьма высокими содержаниями пыльцы *Pinus* subgen. *Haploxyton* (*Pinus pumila*). Максимум пыльцы хвойных, достигающий в спектрах 6 пыльцевой зоны 60 %, характеризует изотопную стадию 55 в непрерывной пыльцевой летописи 1.492–1.6975 млн л. н. Как показали палинологические записи осадков оз. Эльгыгытгын, хвойный лес был характерен для теплых интервалов четвертичного периода на севере Чукотки, где сегодня преобладают травянистые и кустарниковые тундры (Lozhkin, Anderson, 2020). Большинство таких интервалов относятся к раннему плейстоцену (например, мор-

ские изотопные стадии MIS93, MIS91, MIS81, MIS71) и ассоциируют с пыльцевыми спектрами, которые указывают на широкое распространение светлохвойных лесов с *Larix* и, возможно, с древовидными *Betula* и *Alnus*. Самые экстремальные потепления за последние ≈ 2.6 млн лет происходили в плейстоценовые «ледниковые периоды». Во время MIS31 и MIS11 темной хвойный лес с *Picea*, *Pinus* и *Larix* формировал региональную растительность, представляющую расширение северного ареала примерно на 2000 км для некоторых видов. Относительно прохладный климат характеризует два самых последних максимума тепла во время MIS5 и раннего голоцена. Лиственный и березово-ольховые леса в окрестностях озера в течение изотопной стадии 55 могли включать некоторые умеренно теплолюбивые широколиственные деревья и кустарники, такие как *Corylus*, *Carpinus*, *Acer*, но их роль в лесных сообществах была невелика. В целом спорово-пыльцевые спектры пыльцевой зоны 6 показывают, что изотопная стадия 55 характеризовалась теплыми климатическими условиями в течение интервала 1.492–1.6975 млн л. н. и соответствовала одному из межледниковий калабрия.

Резкая перестройка растительного покрова, обусловленная сменой биоценозов, произошла на границе 55 и 54 изотопных стадий. Эта смена прекрасно отражена спорово-пыльцевыми спектрами пыльцевой зоны 6, характеризующей, как отмечалось, растительность межледниковья, и пыльцевой зоны 7, показывающей растительность, отвечающей достаточно глубокому похолоданию климата. Спорово-пыльцевые спектры зоны 7 (MIS54 и MIS53) отражают значительное сокращение в растительном покрове кустарниковых *Betula* и особенно *Alnus* (*Duschekia*). Доминирование в спектрах пыльцевой зоны 7 пыльцы *Рoaceae*, заметное участие в спектрах пыльцы *Cyperaceae*, *Ranunculaceae*, *Saxifragaceae*, *Caryophyllaceae* (рис. 3, а, б) свидетельствуют, что в окрестностях оз. Эльгыгытгын значительные площади занимали открытые луговые сообщества, нередко заболоченные, особенно в течение MIS53, с разнотравьем и кустарниковой *Salix*. В то же время постоянное сравнительно высокое содержание в спектрах пыльцы *Artemisia* (до 15 %) показывает широкое распространение в ландшафте щебнистых и каменистых склонов, особенно склонов южной экспозиции, склонов с зарослями кустарников, галечниково-песчаных наносов, каменистых россыпей. Показательным является и находка в спектрах спор *Selaginella rupestris* (до 22 %), вида, обычно растущего на каменистых и щебнистых склонах. Растительные сообщества дренируемых участков представляли яркий контраст увлажненным травянистым,

травянисто-кустарниковым тундрам. В связи с этим следует отметить, что высокая роль в спектрах пыльцевой зоны 7 MIS53 и MIS54 пыльцы *Artemisia*, других относительно сухолюбивых таксонов, спор *Selaginella rupestris* на фоне высокой влажности, заболоченности берегов озера не соответствует представлениям о реконструкции тундростепных сообществ. В действительности повышенное содержание в спорово-пыльцевых спектрах пыльцы относительно сухолюбивых с близкими экологическими требованиями травянистых таксонов является лишь свидетельством широкого развития в долинах многочисленных ручьев щебнистых склонов и склонов с нарушенными почвами, как это встречается сравнительно часто в современных тундрах. Постоянное участие в спектрах пыльцевой зоны 7 пыльцы *Larix* (до 5 %) подчеркивает распространение лиственной лесотундры, возможно, наминавшей современные лесотундры Северо-Восточной Сибири.

Пыльцевая зона 7 имеет общие черты с пыльцевыми зонами 8, 9, 10, характеризующими растительность изотопных стадий 50–52. В пыльцевых зонах 8, 9, 10, как и в пыльцевой зоне 7, резко сокращается количество пыльцы древесно-кустарниковой группы растений по сравнению с пыльцевой зоной 6. Постоянное участие в спектрах пыльцевых зон 7–10 пыльцы *Larix* (до 8 % в зоне 9) является важным показателем особенностей как локальной, так и региональной растительности. Вполне очевидно, что в период изотопных стадий 50–54 лиственная формовала лесотундровые сообщества с зарослями кустарниковых берез (ерники) на горных склонах и возвышенностях. Общей чертой спорово-пыльцевых спектров пыльцевых зон 7–10 является очень низкое содержание пыльцы *Alnus*, иногда вообще не встречающейся в спектрах. По всей вероятности, кустарниковая *Alnus* в течение изотопных стадий 50–54 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 полагать, что наиболее распространенным кустарником в растительном покрове являлась, очевидно, ива. Для пыльцевых зон 7–10 весьма характерно доминирование в спектрах этих зон пыльцы *Рoaceae*, подтверждающее широкое распространение в окрестностях оз. Эльгыгытгын открытых луговых сообществ. Весьма высокое содержание в спектрах зон 7 и 9 спор *Sphagnum* (пики спор *Sphagnum* достигают 180–230 % от суммы пыльцевых зерен) вполне определенно свидетельствует о повышенной

влажности лугов в изотопные стадии 53 и 51, их заболоченности и развитии болот. Особенность пыльцевых зон 7–10 составляет постоянное сравнительно высокое содержание в спектрах пыльцы *Artemisia* (до 22 % в зоне 8) и других предпочитающих хорошо дренируемые места растений, например, *Selaginella rupestris*. В этом отношении выделяются пыльцевые зоны 8 (MIS52) и 10 (MIS50), в которых весьма существенно сокращается количество спор *Sphagnum*. Такие изменения растительности были вызваны, очевидно, не только холодными, но и сухими климатическими условиями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Палинологический анализ осадков оз. Эльгыгитгын, формировавшихся в изотопные стадии 50–59, позволил получить данные, которые являются последним шагом в изучении последовательной летописи реакции растительности Восточной Арктики на изменения климата в четвертичный период. Эта летопись показывает неоднократную смену растительных сообществ в интервале 1.492–1.6975 млн л. н.

Установленные в интервале 1.492–1.6975 млн л. н. пыльцевые зоны характеризуют растительность межледниковий (пыльцевые зоны 2, 6), представленную лиственными 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 1, 4, 5) – открытые лиственные леса и лесотундры с зарослями кустарниковой *Betula*, березово-ольховниковых сообществ с *Pinus pumila*; растительность холодных стадий (3, 7, 8, 9, 10) с развитием тундр и лиственных лесотундр, широким распространением осоково-злаково-разнотравных сообществ, сменявшихся *Artemisia* и *Selaginella rupestris* на дренируемых каменистых склонах.

Постоянное участие пыльцы *Larix* в спектрах, характеризующих растительные сообщества в интервале 1.492–1.6975 млн л. н., свидетельствует, что лиственница была основным лесобразующим хвойным деревом. Регионально распространенные в межледниковья и интерстадиалы лиственные леса в периоды похолоданий сменялись лиственными лесотундрами, возможно, с участием древовидной *Betula*.

Наиболее теплыми климатическими условиями в течение интервала 1.492–1.6975 млн л. н. характеризовалась MIS55. Растительность этой стадии отражена спорово-пыльцевыми спектрами пыльцевой зоны 9: региональное распространение лиственных лесов с подлеском из кустарниковых *Betula*, *Alnus*, *Corylus*, *Salix*, *Pinus*

pumila и участием древовидных *Betula*, *Alnus* и, возможно, сосен *Pinus subgen. Haploxylon*, *Pinus subgen. Diploxylon*.

Растительность в период похолодания климата в интервале 1.492–1.6975 млн л. н. отражена спорово-пыльцевыми спектрами пыльцевых зон 7–10. Доминирующая в спектрах этих зон 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 представляют контраст увлажненным 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.

Палинологический анализ осадков оз. Эльгыгитгын показывает нестабильность изменения климата и предполагает, что современные арктические сообщества могут исчезнуть в результате глобального потепления в будущем.

БЛАГОДАРНОСТИ

Мы выражаем благодарность Л. Н. Котовой за помощь в подготовке статьи.

ЛИТЕРАТУРА

Васьковский А. П. Спорово-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.

Кожневиков 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 : СВНИЦ ДВО РАН, 2002. 369 с.

Anderson P. M., Lozhkin A. V. Late Quaternary vegetation of Chukotka (Northeast Russia), implications for Glacial and Holocene environments of Beringia // Quaternary Science Reviews. 2015. Vol. 107. P. 112–128.

Layer P. Argon-40/argon-39 age of the El'gygytyn impact event, Chukotka, Russia // *Meteorit. Planet. Sci.* 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.

Lozhkin A. V., Anderson P. M. Environmental changes in the eastern Arctic 1.6975–1.965 Ma, palynological investigations from El'gygytyn Lake, northeastern Russia // *Review of Palaeobotany and Palynology*. 2020. Vol. 279. 104242.

Melles M., Brigham-Grette Ju., Minyuk P. S., Nowaczyk N. R., Wennrich V., DeConto R. M., Anderson P. M., Andreev A. A., Coletti A., Cook T. L., Haltia-Hovi E., Kuk-

konen M., Lozhkin A. V., Rosén P., Tarasov P., Vogel H., Wagner B. 2.8 Million years of Arctic climate change from Lake El'gygytyn, NE Russia // *Science*. 2012. Vol. 337. P. 315–320.

Nowaczyk N. R., Haltia E. M., Ulbricht D., Wennrich V., Sauerbrey M. A., Rosen P., Vogel H., Francke A., Meyer-Jacob C., Andreev A. A., Lozhkin A. V. Chronology of Lake El'gygytyn sediments – a combined magnetostratigraphic, palaeoclimatic and orbital tuning study based on multi-parameter analyses // *Climate of the Past* 9. 2013. P. 2413–2432.

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

Поступила в редакцию 12.12.2022.

Поступила после доработки 21.12.2022.

PLANT COMMUNITIES OF THE EASTERN ARCTIC IN ISOTOPE STAGES 50–59

A. V. Lozhkin¹, P. M. Anderson², Yu. A. Korzun¹, E. Yu. Nedorubova¹

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

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

Palynological analysis of sediments from Lake El'gygytyn, formed during oxygen-isotope stages 50–59, documents the changes of cold stages, interstades and interglaciations. Ten pollen zones were identified and correspond to the interval 1.4920–1.6975 million years ago. This interval includes the Gilsa magnetic event (1.68 Ma), which is an important chronological landmark. *Larix* pollen appears in the palynological spectra of all stages. The presence of this taxon during warm climates indicates that larch forests established in the areas of the Anadyr Plateau and Lake El'gygytyn and replaced the larch forest-tundra, which is characteristic of the cold stages. The warmest climatic conditions occur in pollen zone 6 (MIS55) and are in the range of 1.4920–1.6975 million years ago. Vegetation in the period of maximum cooling is characterized by pollen zones 7–10 (MIS50 – MIS54). The interval 1.4920–1.6975 million years ago represents the last step in the completion of the Quaternary vegetation history from a unique region of Arctic Siberia.

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

REFERENCES

Anderson, P. M., Lozhkin, A. V., 2015. Late Quaternary Vegetation of Chukotka (Northeast Russia), Implications for Glacial and Holocene Environments of Beringia, *Quaternary Science Reviews*. 107, 112–128.

Kozhevnikov, Yu. P., 1993. Vascular Plants in the Vicinities of Lake El'gygytyn. *Nature of the El'gygytyn Depression (Problems of Study and Protection)*. Eds. V. F. Bely, I. A. Chereshev. Magadan, NEISRI FEB RAS, 62–82 [In Russian].

Late Quaternary Vegetation and Climates of Siberia and the Russian Far East (Palynological and Radiocarbon Database), 2022. Eds. P. M. Anderson, A. V. Lozhkin. Magadan, NESR FEB RAS [In Russian].

Layer, P., 2000. Argon-40/Argon-39 Age of the El'gygytyn Impact Event, Chukotka, Russia, *Meteoritics and 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, PA1003, DOI: 10.1029/2004PA001071.

Lozhkin, A. V., Anderson, P. M., 2020. Environmental Changes in the Eastern Arctic 1.6975–1.965 Ma, Palynological Investigations from El'gygytyn Lake, Northeastern Russia. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 279, 2, 104242. DOI:10.1016/j.revpalbo.2020.104242.

Lozhkin, A. V., Anderson, P. M., Belaya, B. V., Stetsenko, T. V., 2002. Reflections on Modern Pollen Rain of Chukotka in Lake Bottom Sediments, *Quaternary Paleogeography of Beringia*. Magadan, NEISRI FEB RAS, 40–50 [In Russian].

Melles, M., Brigham-Grette, Ju., Minyuk, P. S., Nowaczyk, N. R., Wennrich, V., DeConto, R. M., Anderson, P. M.,

Andreev, A. A., Coletti, A., Cook, T. L., Haltia-Hovi, E., Kukkonen, M., Lozhkin, A. V., Rosén, P., Tarasov, P., Vogel, H., Wagner, B., 2012. 2.8 Million Years of Arctic Climate Change from Lake El'gygytgyn, NE Russia, *Science*. 337, 315–320.

Nowaczyk, N. R., Haltia, E. M., Ulbricht, D., Wenne, V., Sauerbrey, M. A., Rosen, P., Vogel, H., Francke, A., Meyer-Jacob, C., Andreev, A. A., Lozhkin, A. V., 2013. Chronology of Lake El'gygytgyn Sediments – A Combined Magnetostratigraphic, Palaeoclimatic and Orbital

Tuning Study Based on Multi-parameter Analyses, *Climate of the Past*. 9, 2413–2432.

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 Northeast of the USSR and Their Significance for Reconstructing Quaternary Vegetation, *Geological Materials of the USSR North-East*. Magadan. 11, 130–178 [In Russian].