УДК 574.42+551.89 (571.651)

ИЗМЕНЕНИЕ СУКЦЕССИОННЫХ СИСТЕМ ПАЛЕОФИТОЦЕНОЗОВ НА ГРАНИЦЕ МЕЖЛЕДНИКОВЬЯ И ЛЕДНИКОВЬЯ ПОЗДНЕГО ЭОПЛЕЙСТОЦЕНА В ПЫЛЬЦЕВОЙ ЗАПИСИ оз. ЭЛЬГЫГЫТГЫН (Центральная Чукотка)

Недорубова Е. Ю.

*ФГБУН Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт
им. Н. А. Шило ДВО РАН, г. Магадан
E-mail: nedorubova92@gmail.com*

В отложениях кратерного оз. Эльгыгытгын, образовавшегося при падении метеорита 3.6 млн л. н. за полярным кругом Чукотки в районе с координатами 67° 30' с. ш., 172° 05' в. д. (интервал керна 45.79–43.65 м), выделено 5 палинологических зон, которые отражают изменения в палеосукцессионных системах и сопоставляются с 33-й – 31-й МИС (1.114–1.062 млн л. н.). Во время потеплений климата широко распространялись заросли кустарниковых берез и ольховника. Климатические изменения в холодных подстадиях изменениями макроклимата, характеризуются значительным сокращением древесной и кустарниковой растительности и расширением территорий арктической и субарктической тундр. Доминировали травянистые тундры, сменявшиеся в долинах окружающего озера Анадырского плоскогорья лесотундровыми сообществами. Наиболее резко смена сукцессионных систем палеофитоценозов наблюдается на границе 32-й и 31-й изотопных стадий. Сукцессионные процессы, прежде всего, выражаются в резком увеличении в растительном покрове сообществ кустарниковых берез и появлении поздне-сукцессионных эдификаторов (*Carpinus*, *Corylus*, *Myrica*, *Quercus*), формировавших лесные климаксовые ассоциации.

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

DOI: 10.34078/1814-0998-2021-3-63-70

ВВЕДЕНИЕ

В связи с возросшим интересом к естественным экологическим процессам, развивающимся в течение длительных промежутков времени, особое значение приобретает реконструкция изменений биотических сообществ на протяжении геологических периодов, исчисляемых миллионами лет (Красилов, 1997). Изучение растительных экосистем в геологическом прошлом позволяет получить информацию о развитии фитоценозов, а также их реакции на различного рода воздействия без длительного мониторинга и постановки экспериментов над реальными экосистемами (Гусев, 2011). Модель сукцессионной системы растительности является наиболее адекватной для реконструкций палеофитоценозов.

Понятие сукцессионной системы сформировалось на стыке биологии, экологии и наук о Земле, оно представляет собой результат пере-

осмысления и синтеза ряда теорий, используемых в различных областях геоботаники, экологии, ландшафтоведения, палеоэкологии (Разумовский, 1981; Жерихин, 2003). Под сукцессионной системой подразумевается закономерно организованная система аутогенно-аллогенных сукцессионных рядов растительных сообществ, привязанных к различным типам местоположений, в границах территории, характеризующейся относительно однородными климатическими условиями. Сукцессионная система растительности объединяет все ценосерии, которые завершаются единым климаксовым сообществом (Щербина, 2013).

Палеосукцессионная система растительности – комплекс серийных и климаксовых палеофитоценозов, привязанных к ландшафтным местоположениям с относительно однородными палеоклиматическими условиями (Гусев, 2013). На всем ее протяжении отмечается одинаковый состав динамических ассоциаций и одинаковый набор сукцессионных смен. Этот аспект анали-

за позволяет говорить о реконструкции региональных особенностей растительного покрова, а не об отдельных локациях. Поэтому при реконструкции растительности ледниковых и межледниковых интервалов необходимо учитывать, что спектры донных осадков оз. Эльгыгытгын отражают региональные особенности растительного покрова Чукотки, обладая сходством со спектрами южных районов региона, а не с локальной тундровой растительностью в окрестностях озера (Недорубова, 2014). Осадочный материал оз. Эльгыгытгын содержит следы сообществ региональной сукцессионной системы.

Целью данного исследования является оценка изменений сукцессионных систем растительности, существовавших на территории Центральной Чукотки в интервале 1.114–1.062 млн л. н., отнесенном к позднему эоплейстоцену общей стратиграфической шкалы квартера (Борисов, 2010) и сопоставляемым с морскими изотопно-кислородными стадиями (МИС) 33, 32 и 31 (Lisiecki, Raymo, 2005). Изучение сукцессионной динамики палеоландшафтов на границах перехода от плейстоценовых ледниковых к межледниковым стадиям важно для выяснения особенностей макросукцессионных процессов, фиксирующих сдвиги экологического равновесия в региональных геоэкосистемах, для уточнения представлений о климатических сообществах, а также для изучения климатических изменений.

ОБЪЕКТ, МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования является поздне-эоплейстоценовая палеосукцессионная система растительности полярной области Чукотки, существовавшая в интервале 1.114–1.062 млн л. н., реконструированная по палинологическим данным осадочного материала оз. Эльгыгытгын, которое, благодаря своему географическому положению, размерам и древнему возрасту, представляется наиболее информативным природным объектом для решения многих палеогеографических и палеоэкологических задач, особенно при изучении эколого-флористического аспекта, при котором можно выявить особенности хронологии этапов развития и изменения растительности (Недорубова, 2017). Озеро Эльгыгытгын находится в центре Анадырского плоскогорья Чукотки (67°30' с. ш., 172°05' в. д.), на водоразделе рек Чаунской губы – Анадырь и Колыма, в кратерной воронке, происхождение которой связывается с падением метеорита около 3.6 млн л. н. Озеру посвящено множество публикаций как отечественных, так и зарубежных авторов, большинство которых, начиная с первых исследователей (Обручев, 1936; Некрасов, 1958), утверждают, что во всей Восточной Сибири нет аналога

впадине оз. Эльгыгытгын, а само озеро сравнимо лишь с оз. Байкал (Харитонов, 2008).

Наиболее значительный объем материала был получен в результате последней международной экспедиции «El'gygytgyn Drilling Project» в 2008–2009 гг., когда был поднят керн (скв. D1), характеризующий полную 317-метровую мощность осадочных отложений. Непрерывная палинологическая летопись осадков оз. Эльгыгытгын впервые позволила проследить изменения растительного покрова в интервале 1.114–1.062 млн л. н. Границы пыльцевых зон (см. рисунок) соответствуют границам изотопных стадий. Корреляция пыльцевых зон с морскими изотопными стадиями основывается на данных комплексного изучения осадков глубоководных скв. 1А, 1В, 1С, пробуренных в 2009 г. до глубин 146.6, 111.9 и 517.3 м соответственно (Nowaczyk et al., 2013), а также PG1351 и LZ1024 (Шило и др., 2001; Forman et al., 2007; Juschus et al., 2007). Палинологический анализ осадков, вскрытых этими скважинами, убедительно показывает правильность палеогеографических построений (Матросова, 2009).

Пробы для палинологического анализа из керн-озерных осадков скв. D1 отбирали через каждые 5–10 см. Подготовку образцов осуществляли с использованием 2 см² осадка. В данной работе приведены результаты исследования части разреза на глубине 45.79–43.65 м, охватывающей интервал от верхней части морской изотопно-кислородной стадии (МИС) 33 до низов стадии 31. Исследовано 40 палинологических образцов. Для извлечения пыльцы и спор из озерных отложений использовали методику химической обработки проб, применяемую при исследовании арктических озер (Андерсон и др., 1994). Препараты изучали под микроскопом Motic DM-BA-300 при увеличении в 400–600 раз. Для статистического анализа в каждой пробе подсчитывали не менее 300 пыльцевых зерен. Для «холодных» спектров, в отдельных случаях, допустимой считалась сумма пыльцы из 100 зерен. Обработку данных пыльцевого анализа и построение диаграммы выполняли с использованием компьютерных программ Tilia и Tilia-graph (<https://www.tiliait.com>). На спорово-пыльцевой диаграмме (см. рисунок) показаны соотношения групп растительности (в левой части диаграммы – пыльцы группы древесных и кустарниковых растений, пыльцы группы кустарничковых и травянистых растений и группы спор), основных и споровых таксонов. 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 (Ложкин и др., 2016).

Рисунок. Спорно-пыльцевая характеристика осадков оз. Эльгыгытгын, синхронных 31-й, 32-й и 33-й изотопным стадиям, скв. D1

Figure. Spore and pollen characteristics of Lake El'gygytyn sediments, borehole D1. The record is synchronous to MIS 31, 32, and 33

Палинологические зоны выделены по основным сукцессионным системам.

В задачи исследования входило определение временных параметров сукцессионных систем по данным палинологического анализа: продолжительности перехода от раннесукцессионных сообществ к поздне-сукцессионным (климаксовым) – время с момента появления поздне-сукцессионных эдификаторов до момента их доминирования (время, в течение которого в спорово-пыльцевых спектрах представлено большинство эдификаторов); продолжительности существования климаксовых палеофитоценозов.

АНАЛИЗ ДАННЫХ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В спорово-пыльцевых спектрах фиксируются сукцессионные смены, проявляющиеся в палеофитоэкосистемах, окружающих точку опробования. К таким сукцессиям следует отнести:

1) серии, направленные на достижение климакса (от момента появления на данной территории поздне-сукцессионных эдификаторов);

2) демулационные серии в климаксовых экосистемах (включая так называемые микросукцессии);

3) аллогенные сукцессии, вызванные изменением внешних условий (макроклимата) и ведущие к смене климакса и сукцессионной системы в целом (клизерии).

Климаксовыми фитоценозами следует считать фитоэкосистемы с доминированием поздне-сукцессионных эдификаторов. По мере становления сукцессионной системы площади таких фитоценозов в ландшафте возрастают. Продолжительность существования сукцессионной системы можно косвенно определить по устойчивому присутствию в спектрах поздне-сукцессионных эдификаторов. В то же время даже зрелая сукцессионная система будет включать субклимаксовые (квазиклимаксовые) экосистемы, занимающие экстремальные экотопы (Гусев, 2011).

Рассмотрим характеристики палеосукцессионных систем, полученные в результате палинологического анализа отложений оз. Эльгыгытгын в интервале 45.79–43.65 м (1.114–1.062 млн л. н.), представленные на рисунке. Пыльцевые зоны, установленные по данным спорово-пыльцевого анализа осадков оз. Эльгыгытгын, синхронны МИС 33–31 и отражают основную палеосукцессионную систему, характерную для каждой стадии.

Спектры, установленные в осадках (45.79–45.23 м), отнесенных к изотопной стадии 33 (1.114–1.104 млн л. н.), объединены общей палинозоной 33а. Ядро сукцессионной системы МИС 33 составляют кустарниковые и травянистые растения, содержание которых доходит до

65 %. Доминантами спектров являются пыльца Poaceae (35–65 %), Cyperaceae (до 15 %). В небольшом количестве присутствует пыльца *Artemisia* (до 6 %), Caryophyllaceae (5 %), Rosaceae, Brassicaceae, Polygonaceae, Ranunculaceae, Asteraceae, Saxifragaceae, Polemoniaceae. Группа древесных и кустарниковых растений представлена пылью *Betula*, *Alnus*, *Salix*, отличающейся довольно высокими показателями – до 40 %, в основном за счет пыльцы *Betula*. Среди спор преобладают *Sphagnum*, *Selaginella rupestris*, Polypodiaceae. Этот палинологический спектр дает основание для восстановления главного компонента региональной растительности, который можно охарактеризовать как березово-кустарниковую тундру.

Ландшафты МИС 33 представлены мозаикой демулационных серийных систем, являющихся начальными стадиями сукцессий после нарушений, вызванных преимущественно пирогенным фактором. Влияние пожаров подтверждается наличием в образцах исследуемой зоны большого количества микрочастиц угля. Происходило постепенное восстановление древостоя климаксовых ассоциаций этой стадии. Продолжительность существования серийных березово-кустарниковых тундровых сообществ в относительно теплый период морской изотопной стадии 33 составляла около 7000 лет.

МИС 32 (1.104–1.081 млн л. н.) характеризуется сменой климатических условий. Палинологические данные, характеризующие эту стадию в осадках оз. Эльгыгытгын, отражают черты перехода от теплого климата к похолоданию, а затем к позднеоплейстоценовому климатическому оптимуму морской изотопной стадии 31. МИС 32 соответствуют две палинологические зоны: 32а (45.20–44.61 м) и 32b (44.61–44.20 м) по изменению основных пыльцевых таксонов (см. рисунок). Изучение этой стадии было затруднено из-за большого количества «пустых» проб, в которых содержание пыльцевых зерен не достигало «пороговых значений» для построения непрерывной пыльцевой диаграммы. В связи с этим на диаграмме можно заметить некоторые провалы. Отраженная в спектрах палинозоны 32а (1.104–1.096 млн л. н.) клизерия, вызванная изменением внешних условий (похолоданием климата), характеризуется значительным сокращением древесной и кустарниковой растительности и расширением территорий арктической и субарктической тундр. В условиях холодного и сухого климата распространяются представители ксерофитных сообществ (*Artemisia*, Poaceae, Caryophyllaceae, *Selaginella rupestris*). К югу от Анадырского плоскогорья были развиты типичные тундры с кустарниковой березой и ольховником (Недорунова, 2018). Продолжительность

кисерии в зоне 32a оценивается в 11 тыс. лет. Растительные сообщества палинологической зоны 32b характеризуются как предклимаксовые, так как в спорово-пыльцевых спектрах резко возрастают значения пыльцы древесной и кустарниковой растительности на фоне снижения палинологических показателей трав. Спорово-пыльцевые спектры зоны 32b отражают растительность, сходную с интерстадиальными растительными сообществами. В ней выделяется пик древесно-кустарниковых сообществ с преобладанием березы и ольховника на фоне доминирования злаковой тундро-степной растительности. В спектрах отмечается появление пыльцы таких предклимаксовых эдификаторов, как *Carpinus*, *Corylus*, *Myrica*, а на границе с МИС 31 начинает фиксироваться *Quercus*. Вероятно, что такая динамика экосистем является ответной реакцией на постепенно меняющиеся условия макроклимата.

Морская изотопная стадия 31 (1.062–1.081 млн л. н.) является межледниковьем, по своим климатическим параметрам более теплым, чем межледниковья позднего (изотопная подстадия 5e) (Шило и др., 2001) и среднего (изотопная стадия 11) плейстоцена (Недорунова, 2014). МИС 31 имеет сложную палинологическую характеристику. В некоторых шкалах в ней выделяется ряд палинозон по соотношению групп растительности и основных пыльцевых таксонов: 31a, 31b, 31c, 31d (Ложкин и др., 2015). Характеристиками палеосукцессионной системы растительности изотопной стадии 31 выступают 2 палинологические зоны, выделенные по данным спорово-пыльцевого анализа (см. рисунок).

На всем протяжении МИС 31 подавляющее количество пыльцевых зерен в спорово-пыльцевых спектрах озерных осадков продуцировано древесными породами. Их содержание вместе с пыльцой кустарников достигает 90–94 % от суммы всех микрозерен. В палинозоне 31a начинают устанавливаться климаксовые растительные сообщества. Отмечается появление таких поздесукцессионных эдификаторов, как *Abies*, *Myrica*. На границе с палинозоной 31b фиксируется пик пыльцы хвойных пород. Доминирующая в спектрах пыльца *Betula*, *Alnus* отражает развитие березово-ольховых лесов. Пики пыльцы *Betula* (58 %), *Alnus* (45 %), характерные для палинозоны 31b, свидетельствуют о развитии лесов, сложенных почти исключительно березой и ольхой с небольшой примесью лиственницы. Спектры палинозоны 31b отличаются высокими содержаниями сравнительно разнообразной пыльцы хвойных, максимальное количество которой установлено в размере 54 %. В состав лесов входили такие хвойные деревья, как лиственница, пихта, ели из секции *Omorica* (вероятно, *Picea ajanensis*), ели

из секции *Euricea* (возможно, вид, близкий *Picea obovata*), сосны *Pinus* subgen. *Diploxylon* (современный вид *Pinus silvestris*), *Pinus* subgen. *Harpoloxylon*. По всей вероятности, гаплоидные сосны могли быть представлены видом, близким современным видам *Pinus sibirica* или дальневосточному *Pinus koraiensis*, хотя нельзя исключить и присутствие сосны стланиковой *Pinus pumila*. Березово-ольховые леса включали также умеренно теплолюбивые породы деревьев и кустарников: *Quercus*, *Acer*, *Ilex*, *Carpinus*, *Corylus*, *Myrica* (Ложкин и др., 2015).

Характерной чертой климаксовых палеофитоценозов межледниковья 31-й морской изотопной стадии является их полидоминантность, выражающаяся в одновременном присутствии как хвойных (сосна, ель, пихта), так и широколиственных (граб, дуб, клен) пород. Средняя продолжительность существования палеоландшафтов с климаксовыми фитоценозами межледниковья МИС 31 составляет около 15 тыс. лет. Кисерия выражается в смене климаксовых полидоминантных (темнохвойно-широколиственных) экосистем олигодоминантными березово-ольховыми лесами. Продолжительность такой смены составляет 3000–5000 лет.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования детализированы палинологические данные, полученные из осадков оз. Эльгыгытгын (интервал керна 45.79–43.65 м, скв. D1), позволившие изучить динамику палеофитоценозов Центральной Чукотки в период от 1.114 до 1.062 млн л. н.

Полученные данные свидетельствуют о том, что, начиная со второй половины ледниковья 32-й изотопной стадии, происходит значительная перестройка растительного покрова, обусловленная сначала похолоданием (палинозона 32a), а затем потеплением климата и, как следствие, изменением сукцессионных систем. Она выражается в замещении ландшафтов с угнетенной бедной растительностью осоково-злаковой тундры с сообществами поlying, произрастающих на небольших возвышенностях и каменистых склонах на сообщества из ольховника, кустарниковых берез и сосны стланиковой. В спорово-пыльцевых спектрах 32-й изотопной стадии сукцессии отражаются резким увеличением количества пыльцы древесных и кустарниковых растений и прежде всего пыльцы *Betula* и *Alnus*, свидетельствуя о развитии лиственничных березово-ольховых лесов (климаксовых фитоценозов для данной палеосукцессионной системы). Наиболее резко смена фитоценозов наблюдается на границе 32-й и 31-й изотопных стадий. Сукцессионные процессы, прежде всего, выражаются в резком увеличении в растительном покрове сообществ кустар-

никовых берез и появлении поздне-сукцессионных эдификаторов, таких как *Carpinus*, *Corylus*, *Myrica*, *Quercus*. Климатические сообщества с участием елово-пихтовых ассоциаций формируются в середине палинозоны 31a – 1.076 млн л. н. (см. рисунок).

Исследования поддержаны РФФИ (проект 19-05-00477).

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.
- 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.
- Гусев А. П. Изменение сукцессионных систем растительности в плейстоцене: ландшафтно-палеоэкологический анализ (на примере территории Беларуси) // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Сер.: Естественные науки. 2011. № 9 (104). Вып. 15. С. 14–22.
- Гусев А. П. Изменение палеосукцессионных систем растительности на территории юго-востока Белоруссии в неогене // Вестник ВГУ. Сер. Геология. 2013. № 2, июль – декабрь. С. 23–29.
- Жерихин В. В. Избранные труды по палеоэкологии и филоценогенетике. Москва : Товарищество науч. изданий КМК, 2003. 542 с.
- Красилов В. А. Сингенез ксероморфных растительных сообществ в позднем палеозое – раннем кайнозое // Палеонтологический журнал. 1997. № 2. С. 3–12.
- Ложкин А. В., Андерсон П. М., Минюк П. С., Недорунова Е. Ю. Смена биоценозов в Восточной Арктике 374–917 тыс. лет назад (по данным палинологического анализа осадков озера Эльгыгытгын) // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. 2016. № 2. С. 3–9.
- Ложкин А. В., Андерсон П. М., Минюк П. С., Недорунова Е. Ю., Горячев Н. А. Позднеэоплейстоценовый климатический оптимум в восточном секторе Арктики (по данным оз. Эльгыгытгын) // Доклады Академии наук. 2015. Т. 463, № 4. С. 1–5.
- Матросова Т. В. Изменение растительности и климата Северной Чукотки за последние 350 тыс. лет (по палинологическим данным осадков оз. Эльгыгытгын) // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. 2009. № 2. С. 23–30.
- Недорунова Е. Ю. Природная среда Чукотки 360–430 тыс. лет назад // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. 2014. № 4. С. 29–33.
- Недорунова Е. Ю. Изменение природной среды Северной Чукотки в течение 6-й и 7-й изотопных стадий (по данным палинологического анализа осадков оз. Эльгыгытгын) // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. 2017. № 3. С. 29–35.
- Недорунова Е. Ю. Межледниковья и ледниковые стадии среднего плейстоцена в пыльцевой записи оз. Эльгыгытгын (Центральная Чукотка) // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. 2018. № 1. С. 32–38.
- Некрасов И. А. Экспедиция на озеро Эльгыгытгын // Проблемы Севера. 1958. № 1. С. 360–370.
- Обручев С. В. Орографический очерк Чукотского округа // Тр. Арктического ин-та. 1936. Т. 54. Вып. 2. С. 41–184.
- Разумовский С. М. Закономерности динамики биоценозов. Москва : Наука, 1981. 231 с.
- Харитонов В. Г. Диатомовые водоросли (Bacillariophyceae) оз. Эльгыгытгын и водоемов его бассейна (Чукотский автономный округ) // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. 2008. № 2. С. 41–54.
- Шило Н. А., Ложкин А. В., Андерсон П. М., Белая Б. В., Стеценко Т. В., Глушкова О. Ю., Бригхем-Гретти Дж., Мелес М., Минюк П. С., Новачек Н., Форман С. Первая непрерывная пыльцевая летопись изменений климата и растительности Берингии за последние 300 тысяч лет // Доклады Академии наук. 2001. Т. 376. № 2. С. 231–234.
- Щербина С. С. Закономерности сукцессионных смен растительности в бассейне р. Мана (заповедник «Столбы») // Проблемы ботаники южной Сибири и Монголии : сб. науч. статей по материалам 12-й Междунар. науч.-практ. конф. (Барнаул, 28–30 октября 2013 г.). Барнаул : Алтайский гос. университет, 2013. С. 34–36.
- Forman S., Pierson J., Gomez J., Brigham-Grette J., Nowaczyk N., Melles M. Luminescence geochronology for sediment from Lake El'gygytyn, Northeast Siberia, Russia: constraining the timing of paleoenvironmental events for the past 200 ka // Journal of Paleolimnology. 2007. No. 1. P. 77–88.
- Juschnus O., Preusser F., Melles M., Radtke U. Applying SAR-IRSL methodology for dating fine-grained sediments from Lake El'gygytyn, north-eastern Siberia // Quaternary Geochronology. 2007. No. 2. P. 187–194.
- Lisiecki L. E., Raymo M. E. A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic $\delta^{18}\text{O}$ records // Paleoceanography. 2005. Vol. 20. PA1003. DOI:10.1029/2004PA001071
- 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. 2013. Vol. 9. P. 2413–2432.

Поступила в редакцию 08.07.2021 г.

Поступила после доработки 09.08.2021 г.

CHANGE OF SUCCESSIONAL SYSTEMS OF PALEOPHYTOCENOSES ON THE BORDER OF THE UPPER EOPLEISTOCENE GLACIAL AND INTERGLACIAL STAGES IN THE CONTINUOUS POLLEN RECORD OF LAKE EL'GYGYTGYN (Central Chukotka)

E. Yu. Nedorubova

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

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 (core interval 45.79–43.65 m). In its sediments, 5 palynologic zones are distinguished; they reflect changes in paleosuccessional systems and are consistent with MIS 33, 32, and 31 (1.114–1.062 mya). During warmings, thickets of birch trees and alder were widely spread. Cliseries, caused by macroclimate changes in cold substages, are characterized by a significant reduction in tree and shrub vegetation as well as by expansion of the arctic and subarctic tundras. Grass tundras dominated and were replaced by forest tundra communities in the valleys of the Anadyr Plateau surrounding the lake. The most abrupt change of phytocenosis succession systems is observed at the border of 32 and 31 isotopic stages. The succession processes are primarily expressed in a sharp increase of birch-shrub communities in the vegetation cover and in the appearance of late succession edificators (*Carpinus*, *Corylus*, *Myrica*, *Quercus*) forming forest climax associations.

Keywords: palynology, pollen zones, vegetation, successions, climate, isotopic stages, successional systems.

REFERENCES

- Anderson, P. M., Lozhkin, A. V., MacDonald, G., Edwards, M., 1994. Protocol 1: Pollen and Microfossils of Terrestrial Sediments, *Paleoclimates of Arctic Lakes and Estuaries*. Magadan, NEISRI FEB RAS. 5–32 [In Russian].
- Borisov, B. A., 2010. On the Change in the Level of the Lower Boundary of Quaternary System and Specifying the Age of Its Main Departments, *Regional Geology and Metallogeny*. 41, 26–28 [In Russian].
- Forman, S., Pierson, J., Gomez, J., Brigham-Grette, J., Nowaczyk, N., Melles, M., 2007. Luminescence Geochronology for Sediment from Lake El'gygytyn, North-east Siberia, Russia: Constraining the Timing of Paleoenvironmental Events for the Past 200 ka, *Journal of Paleolimnology*. 1, 77–88.
- Gusev, A. P., 2011. Changes of Successional Systems of Vegetation in Pleistocene: Landscape-Paleoecological Analysis (Exemplified by the Territory of Belarus), *Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural Sciences*. Belgorod, Belgorod State University. 9 (104), Iss. 15, 14–22 [In Russian].
- Gusev, A. P., 2013. Change of Paleosuccessional Vegetation Systems in the South-East of Byelorussia in the Neogene, *Proceedings of Voronezh State University Series: Geology, Series Geology*. 2, July – December, 23–29 [In Russian].
- Juschus, O., Preusser, F., Melles, M., Radtke, U., 2007. Applying SAR-IRSL Methodology for Dating Fine-Grained Sediments from Lake El'gygytyn, Northeast Siberia, *Quaternary Geochronology*. 2, 187–194.
- Kharitonov, V. G., 2008. Diatoms (Bacillariophyceae) from Lake El'gygytyn and from Reservoirs of Its Basin (Chukotka Autonomous Okrug), *Vestnik NESCFEB RAS*. 2, 41–54 [In Russian].
- Krasilov, V. A., 1997. Syngeneses of Xeromorphic Plant Communities in the Late Paleozoic – Early Cenozoic, *Paleontological Journal*. 2, 3–12 [In Russian].
- 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., Minyuk, P. S., Nedorubova, E. Yu., 2016. Changes in Biocenoses in the Eastern Arctic 374–917 Thousand Years B. P. (Palynological Data from El'gygytyn Lake), *Vestnik NESCFEB RAS*. 2, 3–9 [In Russian].
- Lozhkin, A. V., Anderson, P. M., Minyuk, P. S., Nedorubova, E. Yu., Goryachev, N. A., 2015. Late Pleistocene Climatic Optimum in the Eastern Arctic Region: Evidence from Lake El'gygytyn, *Doklady Akademiyi Nauk*. 463, 2, 813–816 [In Russian].
- Matrosova, T. V., 2009. Changes in Vegetation and Climate of Northern Chukotka over the Past 350 Thousand Years (According to the Palynological Data of El'gygytyn Lake Precipitation), *Vestnik NESCFEB RAS*. 2, 23–30 [In Russian].
- Nedorubova, E. Yu., 2014. Chukotka Environment 360–430 Thousand Years Ago (by Data from the Palynological Study of Lake El'gygytyn Sediments), *Vestnik NESCFEB RAS*. 4, 29–33 [In Russian].
- Nedorubova, E. Yu., 2017. Environmental Changes in Northern Chukotka during Marine Isotope Stages 6 and 7 (as Reconstructed from Palynological Data from Lake El'gygytyn), *Vestnik NESCFEB RAS*. 3, 29–35 [In Russian].

Nedorubova, E. Yu., 2018. Mid-Pleistocene Interglacials and Glaciation Stages in the Continuous Pollen Record from Lake El'gygytgyn (Central Chukotka), *Bulletin of the North-East Science Center*. 1, 32–38 [In Russian].

Nekrasov, I. A., 1958. Expedition to El'gygytgyn Lake, *Problemy Severa*. 1, 360–370 [In Russian].

Nowaczyk, N. R., Haltia, E. M., Ulbricht, D., Wenrich, 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.

Obruchev, S. V., 1936. Orographic Essay on the Chukotka Okrug, *Arctic Institute*. 54, 2, 41–184 [In Russian].

Razumovsky, S. M., 1981. Patterns in the Dynamics of Biocenoses. Moscow, Nauka [In Russian].

Shcherbina, S. S., 2013. Patterns of Successional Vegetation Changes in the Basin of the Mana River (Stolby Reserve), *Problems of Botany of Southern Siberia and Mongolia: Collection of Scientific Articles Based on Materials from the 12th International Scientific and Practical Conference (Barnaul, October 28–30, 2013)*. Barnaul, Altai State University. 34–36 [In Russian].

Shilo, N. A., Lozhkin, A. V., Belaya, B. V., Stetsenko, T. V., Glushkova, O. Yu., Minyuk, P. S., Anderson, P. M., Brigham-Gretti, J., Melles, M., Novachek, N., Forman, S., 2001. First Continuous Pollen Record of Climate and Vegetation Changes in the Bering Sea Region for the Past 300 ka, *Doklady Akademiyi Nauk*. 376, 19–22.

Zherikhin, V. V., 2003. Selected Works on Paleoecology and Phylogenetics. Moscow, KMK Scientific Press Ltd. [In Russian].