

УДК 551.583.7:551.79 (5–18)

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ВРЕМЕНИ МИС-5 АРКТИЧЕСКОЙ ЧУКОТКИ И АЛЯСКИ

В. С. Пушкарь^{1,2,3}, М. В. Черепанова⁴, Е. В. Тарасова³

¹ФГБУН Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, г. Владивосток

²ФГАОУВО «Дальневосточный федеральный университет», г. Владивосток

³ФГБОУВО «Владивостокский государственный университет экономики и сервиса», г. Владивосток

⁴ФГБУН «ФНЦ биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН», г. Владивосток

Ключевой задачей в изучении природной среды арктических регионов России является выяснение ее изменений и их влияния на формирование осадочных толщ и условий, способствующих накоплению в них полезных ископаемых. Особый интерес в изучении таких изменений в квартере представляют межледниковые стадии, к которым относится и морская изотопная стадия 5 (МИС-5), способствующие построению аналоговых климатических моделей будущего. Рассмотрены условия формирования отложений МИС-5 в двух различных по климатическим характеристикам регионах. Во-первых, это Чукотка, где отсутствовали покровные оледенения и гляциоизостатический эффект при оценке колебаний уровня моря был незначителен. Во-вторых, это Аляска, где гляциоизостатический эффект был проявлен. Кроме этого, установлены стратиграфические объемы пелукских и валькатленских слоев и их соответствие МИС-5.

Ключевые слова: климат, МИС-5, валькатленская и пелукская трансгрессии, межледниковье, поздний плейстоцен, диатомей, Арктика.

DOI: 10.34078/1814-0998-2019-3-27-36

ВВЕДЕНИЕ

Разработка моделей палеоклиматических изменений в арктических и субарктических регионах относится к важнейшим проблемам четвертичной геологии и носит актуальный характер по двум причинам. Во-первых, идет стремительное освоение природных ресурсов Арктики, требующее составления крупномасштабных геологических карт на высокоразрешающей биоклиматостратиграфической основе. Во-вторых, прогноз изменений среды в будущем при нарастающем антропогенном влиянии не возможен без анализа причин и следствий палеоклиматической ритмики в прошлом. Наиболее вероятным аналогом современного глобального потепления могут быть начальные (или конечные – ?) фазы МИС-5 (128–71 тыс. лет назад). Однако ведущие исследователи в этой области (В. М. Котляков, А. А. Величко, Ю. А. Лаврушин, А. В. Ложкин, J. Thiede, J. Brigham-Grette, M. Melles и др.) отмечают, что их полное соответствие современному климату маловероятно, поэтому необходимо искать сходные тренды палеоклиматических изменений.

Важнейшее условие при этом состоит в анализе их качественных и количественных характеристик (Архипов, 1997; Астахов, 2009; Величко и др., 2010; Величко, Борисова, 2011). В связи с этим полная и объективная характеристика состояния окружающей среды времени МИС-5 привлекает внимание многих специалистов в области палеоклиматологии, особенно соответствие временных объемов континентальных межледниковой и морских изотопных стадий, в частности МИС-5 (Ложкин и др., 2007; Матросова, 2009; Молодьков, Болиховская, 2011; Гусев, Молодьков, 2012; Lozhkin, Anderson, 2013; Гусев и др., 2016). Главным при решении этой фундаментальной проблемы четвертичной геологии и палеогеографии является комплексный анализ синергетической связи глобальных (орбитальные циклы Миланковича) и региональных факторов климатогенеза. Особенно ярко это проявляется в арктических регионах, где на формирование климата, кроме орбитальных факторов, значительное влияние оказывают атлантическая и тихоокеанская океанические составляющие (Vakulenko et al., 2010). В берингоморской части Арктики (Чукотка и Аляска) на формирование региональных климатических особенностей сильно влияет и Берингийская суша (Hopkins, 1967, 1972,

1973; Brigham-Grette et al., 2001; Laukhin et al., 2006; Pushkar, Cherepanova, 2011). **Берингия** – гигантская и периодически возникавшая во время мощных глобальных регрессий Мирового океана суша. В результате снижения уровня океана во время регрессий эпох оледенений (до -130–140 м) осушались огромные пространства арктического и тихоокеанского шельфов, формируя Берингийскую сушу, в состав которой при полном закрытии Берингова пролива входили Северо-Восток Азии, Аляска и Канадский Юкон. Отсутствие свободного водообмена между Арктическим и Тихим океаном, изменение площадей и геометрии северных окраинных морей, контраст в прогреве Берингийской суши и поверхностных вод Арктического и Тихого океанов, несомненно, приводили к изменениям в зарождении и передвижении в этом регионе систем атмосферных потоков, векторов и интенсивности северо-тихоокеанских поверхностных течений (Laukhin et al., 2006; Pushkar, Cherepanova, 2011). Свидетельством этого является разительный контраст в климатическом режиме Чукотки (ярко выраженный холодный и сухой климат) и Аляски (менее холодный и влажный). В связи со сказанным цель работы состоит в сравнительном палеогеографическом анализе двух контрастных в климатическом отношении регионов – Чукотки и Аляски – на основе диатомового анализа отложений времени МИС-5 и определение палеоклиматических изменений и соответствующих колебаний уровня моря для решения задачи по стратиграфическому объему первого межледникового позднего плейстоцена.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалом для работы послужили образцы, полученные при проведении многолетних совместных российско-американских экспедиций по изучению четвертичных толщ Чукотки и Аляски по программе «Beringia» и программе глубокого озерного бурения «El'gygytgyn». Были изучены стратотипические разрезы отложений валькатленской (Чукотка) и пелукской (Аляска) прибрежно-морских террас, которые сформировались в результате трансгрессий казанцевского и сангамонского межледниковий позднего плейстоцена соответственно (Петров, 1966; Иванов, 1986), коррелируемых с МИС-5 (Brigham-Grette et al., 2001; Пушкарь, Черепанова, 2001; Гусев и др., 2016). При анализе образцов осадков использован микропалеонтологический метод – диатомовый анализ, поскольку микроскопические одноклеточные диатомовые водоросли с кремневым скелетом являются чувствительными индикаторами изменений в среде обитания и хорошо сохраняются в осадках. В качестве возрастной модели

использована зональная диатомовая шкала (Пушкарь, Черепанова, 2001; Пушкарь и др., 2013) и кислородно-изотопная шкала (Lisiecki, Raymo, 2005) с привлечением методов абсолютного датирования (аминокислотный и торий-урановый) (Brigham-Grette, Hopkins, 1995; Brigham-Grette et al., 2001; Пушкарь, Черепанова, 2001). Стратиграфический объем казанцевского межледникового, согласно новейшим данным (Молодьков, Болиховская, 2011; Razjigaeva et al., 2011; Lozhkin, Anderson, 2013; Гусев и др., 2016), принимается в соответствии со стратиграфическим объемом полной МИС-5. В отложениях этого времени в Сибири не отмечены следы ледниковых подвижек, а уровень моря во время фаз потеплений 5e и 5c МИС-5 был выше современного, а во время фазы 5a – близок современному положению (Pushkar et al., 1997; Пушкарь, Черепанова, 2001; Разжигаева и др., 2009; Молодьков, Болиховская, 2011; Гусев, Молодьков, 2012; Гусев и др., 2016; Лаухин и др., 2017).

При корреляции отложений и характеристике палеоклиматических изменений использованы палинологические данные, позволившие по осадкам оз. Эльгыгытгын получить непрерывную палеоклиматическую летопись Восточной Арктики (Anderson et al., 2006; Ложкин и др., 2007; Lozhkin et al., 2007; Матросова, 2009; Melles et al., 2012; Lozhkin, Anderson, 2013; Tarasov et al., 2013). Расчет амплитуд колебаний уровня моря выполнен по методике, разработанной по регионам с гляцио-изостатической активностью (Pushkar et al., 1999). Видовая номенклатура диатомей дана по современным диатомовым базам Algaebase (<http://www.algaebase.org/search/species/>).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Валькатленские слои, как морские отложения первого межледникового позднего плейстоцена, установлены О. М. Петровым по комплексам двустворчатых моллюсков, спорово-пыльцевым спектрам и редким морским диатомеям на северо-восточном побережье Анадырского залива (Берингово море, Чукотка) (Петров, 1966). Находки в этих отложениях зонального вида-индекса диатомей *Proboscia curvirostris* (A. P. Jousé) R. W. Jordan et J. Priddle подтверждают ранее установленный возраст этих отложений (Пушкарь, Черепанова, 2001). Стратотип валькатленских слоев представлен отложениями прибрежно-морской 10–15-метровой террасы, простирающейся в северо-западном направлении от устья р. Энмелен (65°02'00" с. ш.; 175°47'22.8" з. д.) до зимовья Валькатлен (65°04'03.02" с. ш.; 175°47'32.8" з. д.) на протяжении 2.4 км. Основание террасы в районе

0.4 км находится на высоте 1.2 м по отношению к уровню моря. В геологическом и литологическом строении террасы (см. рисунок) принимают участие (снизу вверх) следующие слои (Петров, 1966; Хорева, 1974; Иванов, 1986; Пушкарь, Черепанова, 2001; Brigham-Grette et al., 2001):

мечигменские (mch) мощностью до 2.5 м, представленные мелкозернистыми песками и алевритами с включением раковин морских двусторчатых и брюхоногих моллюсков.

Отложения относятся к диатомовой зоне *Thalassiosira nidulus* var. *nidulus* (220–190 тыс. лет назад), соответствующей МИС-7 и ширтинскому межледниковому горизонту Сибири;

крестовские (kr) мощностью до 7.6 м, представленные гляциоморскими валунно-галечниковыми отложениями, относящимися к зоне *Thalassiosira gravida* var. *fossilis* (190–128 тыс. лет назад) и соответствующими МИС-6 и тазовскому ледниковому горизонту Сибири;

валькатленские (val), представленные двумя пачками отложений. Нижняя часть слоев (val1) сложена темно-серыми тонкими алевритами (мощность до 8.6 м), верхняя (val2) – тонкозернистыми песками с остатками раковин морских моллюсков (мощность до 4.8 м). Валькатленские слои относятся к зоне *Proboscia curvirostris* (128–75 тыс. лет назад) и соответствуют МИС-5 и казанцевскому межледниковому горизонту Сибири (Гусев и др., 2016);

ванкаремские слои (van) мощностью до 8.2 м включают в себя валунно-галечниковую толщу флювиогляциального генезиса и соответствуют ледниковому ермаковскому горизонту Сибири – первому оледенению позднего плейстоцена.

Створки диатомей редки в отложениях ледниковых эпох, но в мечигменских и валькатленских слоях они достаточно информативны. Непосредственно в валькатленских слоях комплекс

диатомей весьма изменчив по вертикали и содержит 87 видов и разновидностей диатомей. В нижневалькатленских отложениях выделяются три комплекса (нижняя, средняя и верхняя части разрезов v1/92, v2/92, v3/92, v4/92, v5/92) (см. рисунок). Наиболее представителен разрез v3/92. Комплексы описаны снизу вверх.

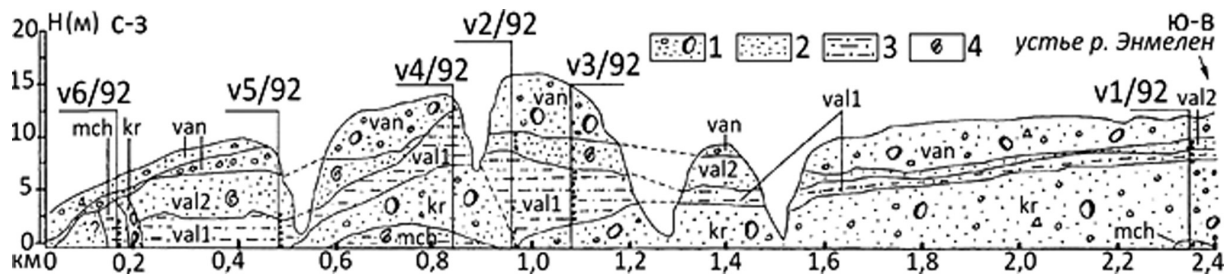
Комплекс 1 (2.5–3.7 м). Доминируют неритическо-сублиторальные бореальные виды *Rhabdonema arcuatum* (Lyngb.) Kütz. (до 34%) и *Paralia sulcata* (Ehr.) Cl. (до 25%), океанический южно-бореальный *Coscinodiscus asteromphalus* Ehr. (20%) и неритический арктобореальный *Thalassiosira gravida* Cl. (до 12%). Присутствуют пресноводные диатомеи (до 17.2%), свидетельствующие о близости речного стока;

комплекс 2 (3.7–5.5 м) характеризуется ростом значимости *Thalassiosira gravida* Cl. (до 33%) и *Odontella aurita* (Lyngbye) C. Agardh (до 15%). Значимость же *Coscinodiscus asteromphalus* Ehr. снижается до 2%. Отмечается влияние на структуру комплекса практически монотаксонной реофильной флоры, представленной *Didymosphenia geminata* (Lyngbye) Mart. Schmidt (до 40%). Это свидетельствует о формировании комплекса вблизи устья реки палео Энмелен;

комплекс 3 (5.5–7.3 м) характеризуется снижением численности *Thalassiosira gravida* Cl. до 20%, *Didymosphenia geminata* (Lyngbye) Mart. Schmidt – до 25% и ростом значимости *Coscinodiscus asteromphalus* Ehr. до 14%.

Эти комплексы, выделенные из нижневалькатленских слоев, практически идентичны во всех разрезах террасы.

Из верхневалькатленских слоев, представленных в основном песками, выделен комплекс, характерный для всех изученных разрезов. Ему присущи низкое видовое разнообразие и значимость диатомей, а в его составе более часты



Строение и отложения валькатленской террасы северо-восточного побережья Анадырского залива (Берингово море): 1 – галечники с валунами и песчаным заполнителем; 2 – пески; 3 – алевриты; 4 – раковины моллюсков; v1–6/92 – номера разрезов; mch – мечигменские слои, kr – крестовские слои, val1 – нижневалькатленские слои, val2 – верхневалькатленские слои, van – ванкаремские слои; точки вдоль линии разрезов – точки отбора образцов

Structure and deposits of the Valkatlenian terrace of the northeast coast of the Anadyr Bay (Bering Sea): 1 – pebbles with boulders and sandy aggregate; 2 – sands; 3 – aleurites; 4 – mollusk shells; v1–6/92 – numbers of cuts; mch – Mechigmenian layers, kr – Krestovian layers, val1 – Lower Valkatlenian layers, val2 – Upper Valkatlenian layers, van – Vankareman layers; points along the section line mark sampling points

Thalassiosira gravida Cl., *Th. bramaputrae* (Ehr.) Håkansson & Locker, *Diploneis subcincta* (A. W. F. Schmidt) Cl., *Trachyneis aspera* (Ehr.) Cl., *Paralia sulcata* (Ehr.) Cl., *Melosira varians* C. Agardh, *Odontella aurita* (Lyngbye) C. Agardh. Комплексу свойствен аллохтонный пресноводный элемент (42.4%), представленный *Aulacoseira granulata* (Ehr.) Simonsen. Аналогичный комплекс диатомей был выделен А. И. Купцовой в верхневалькатленских слоях на побережье Анадырского залива (Иванов, 1986).

Анализ диатомей показывает, что в валькатленских слоях запечатлены следы четырех фаз трансгрессии начала позднего плейстоцена, отвечающие фазам 5b – 5e 5-й кислородно-изотопной стадии. Фаза 5a ни в одном из разрезов выделена не была. Отсюда всецело следует согласиться с В. Ф. Ивановым (1986), проанализировавшим распределение фораминифер, моллюсков, спор и пыльцы в валькатленских отложениях и утверждавшим, что формирование нижневалькатленских слоев происходило в более мягких условиях (фазы 5e – 5c), чем верхневалькатленских (фаза 5b). Ранее О. М. Петров (1966), исходя из спорово-пыльцевого анализа, излагал противоположную точку зрения. По мнению В. Ф. Иванова (1986), в объем верхневалькатленских слоев О. М. Петров включил отложения, не принадлежащие к этим слоям. О. М. Петров также допускал, что более теплый облик фауны моллюсков поздневалькатленского времени связан со спадом казанцевской (валькатленской) трансгрессии и обмелением бассейна осадконакопления, а следовательно, и его хорошей прогреваемостью. К этому же результату приходит И. М. Хорева, изучившая распределение фораминифер в валькатленских слоях (Хорева, 1974). Анализ диатомей показывает, что самым теплым временем казанцевской трансгрессии была фаза МИС-5e с высокой частотой встречаемости южно-бореального *Coscinodiscus asteromphalus* Ehr. (20%), что говорит о глубоком продвижении в северную часть Берингова моря теплых восточно-берингоморских течений в результате казанцевской трансгрессии (Brigham-Grette et al., 2001; Laukhin et al., 2006; Лаухин и др., 2017). Если исходить из параметров экотопа *Paralia sulcata* (Ehr.) Cl. (Pushkar et al., 1999; Gebühr et al., 2009) и положения в разрезах комплекса 1, то уровень моря в это время был выше современного примерно на +10 м, что хорошо увязывается с глобальными данными по первой трансгрессии позднего плейстоцена. Средняя годовая температура на побережье Анадырского залива могла превышать современную на 3–5°C, что обеспечивало по данным палинологии присутствие в регионе темнохвойной тайги с участием и березово-

лиственничных пород (Петров, 1966; Иванов, 1986; Пушкарь, Черепанова, 2001), а в Анадырском заливе моллюсков с ключевым видом *Arctica islandica* Linnaeus и фораминифер, обитающих ныне в северной части Японского моря (Петров, 1966; Хорева, 1974; Brigham-Grette et al., 2001). Аналогичные климатические параметры получены по Енисейскому северу Сибири, где детально изучены казанцевские отложения с комплексом бореальных двустворчатых моллюсков с тем же характерным видом *Arctica islandica* Linnaeus (Гусев и др., 2016) и отложения диатомовой зоны *Proboscia curvirostris* северо-западной части Тихого океана (Пушкарь, Черепанова, 2008).

Пелукские слои впервые были выделены на побережье Западной Аляски Д. М. Хопкинсом (Hopkins, 1967) для морских отложений, сформировавшихся во время первой позднеплейстоценовой сангамонской (казанцевской) трансгрессии. Стратотип слоев, слагающих 8–10-метровую террасу, протягивающуюся вдоль всего северного побережья зал. Нортон (Берингово море), расположен у г. Ном на п-ове Сьюард Аляски (разрез P2-1/93: 64°30'00" с. ш.; 165°24'00" з. д.; 220 м от берега моря, абсолютная высота основания террасы +2.4 м). На расстоянии 2.7 км от береговой линии пелукская терраса прислоняется к террасе Йорк (анвильские отложения) среднего плейстоцена (11-МИС). Отложения стратотипа (мощность 6.2 м) представлены темно-синими алевритами с двумя прослоями торфа в интервалах 4.0–4.35 и 5.5–5.75 м. Из пелукских отложений был выделен снизу вверх ряд комплексов диатомей, позволяющий говорить о динамике трансгрессии и палеоклимате этого времени. Они представлены чередованием пресноводных (погребенные почвы) и морских (алевриты) комплексов диатомей, при этом последние содержат зональный вид-индекс *Proboscia curvirostris* (A. P. Jousé) R. W. Jordan et J. Priddle. По фауне моллюсков, спорово-пыльцевым спектрам и аминокислотному датированию данные отложения отнесены к сангамонскому межледниковью (Brigham-Grette, Hopkins, 1995; Pushkar et al., 1997; Brigham-Grette et al., 2001). Нижняя часть разреза скрыта задернованной осыпью.

Комплекс 1 (алевриты, 1.98–4.0 м) выделен в нижней части разреза. Этот комплекс морских диатомей с *Proboscia curvirostris* (A. P. Jousé) R. W. Jordan et J. Priddle (2.9%) содержит доминанты *Paralia sulcata* (Ehr.) Cl. (15%) и *Thalassiosira gravida* Cl. + *Th. antarctica* Comber (до 34.3%) при участии умеренно тепловодных океанических *Coscinodiscus radiatus* Ehr. + *Th. perforatus* Ehr. и *C. asteromphalus* Ehr. (в сумме до 8.6%).

Комплекс 2 (торф, 4.0–4.35 м) представлен доминирующими (92.1%) пресноводными озерно-болотными северо-бореальными *Eunotia triodon* Ehr., *E. papilio* (Ehr.) Grunow, *E. valida* Hustedt и *Pinnularia viridis* (Nitzsch.) Ehr. Умеренно-тепловодных морских планктонных видов до 7.9%.

Комплекс 3 (алевроиты, 4.35–5.5 м) характеризуется морскими диатомеями (91.7%). Абсолютный доминант – сублиторальная *Paralia sulcata* (Ehr.) Cl. (60.4%). Относительно высокая значимость у арктобореальной неритической *Thalassiosira gravida* Cl. (10.4%) и сублиторальной умеренно-тепловодной *Navicula marina* Ralfs (10.4%), неизвестной в современных лагунах Аляски ((Pushkar et al., 1997; Пушкар, Черепанова, 2001, 2008). Встречен и океанический северо-бореальный *Coscinodiscus marginatus* Ehr. (6.2%).

Комплекс 4 (торф 5.5–5.75 м) идентичен комплексу 2.

Комплекс 5 (алевроиты, 5.75–7.9 м) выделен в самой верхней части синих алевроитов. Он включает морские планктонные *Paralia sulcata* (Ehr.) Cl. (21%), *Thalassiosira gravida* Cl. + *Th. antarctica* Comber (до 17.8%), *Shionodiscus trifultus* (G. Fryxell) A. J. Alverson, S.-H. Kang et E. C. Theriot (4.2%), *Diploneis smithii* (Brébisson) Cl. (11.3%), *Cocconeis scutellum* Ehr. (6%) и умеренно-тепловодную сублиторальную *Navicula marina* Ralfs (6.1%). В структуре комплекса играют роль и пресноводные виды (до 52.1%), что свидетельствует о формировании отложений в зоне речного влияния.

Комплекс 1 с зональным видом-индексом *Proboscia curvirostris* (A. P. Jousé) R. W. Jordan et J. Priddle и самым высоким участием морских сублиторальных и океанических умеренно-тепловодных видов (в сумме до 23.9%) соответствует фазе МИС-5е. Подтверждением этого является комплекс 3. Его формирование относится к фазе МИС-5с, что согласуется с серией аминокислотных датировок по раковинам *Hiattella* и *Astarte* из соответствующего слоя с соотношением $Al/Pe = 0.04$, дающим возраст около 102–107 тыс. лет (Brigham-Grette, Hopkins, 1995; Brigham-Grette et al., 2001). В соответствии с этим формирование прослоев торфа, скорее всего, связано с кратковременными регрессиями (пресноводные комплексы диатомей с арктобореальной флорой), соответствующими фазам МИС-5d (комплекс 2) и МИС-5b (комплекс 4). Комплекс 5 с самым высоким видовым разнообразием (174 вида и внутривидовых таксонов), завершающий межледниковую палеосукцессию диатомей, отражает климатические условия фазы МИС-5а – небольшой трансгрессии и климата, близкого современному.

Аналогичные по экологической структуре (шельфовые сообщества) комплексы диатомей выделены в этой же террасе, расположенной в 2 км западнее г. Ном, в отложениях разреза P2-2/93 (64°30'23" с. ш.; 165°28'21" з. д.). Основание разреза находится в 200 м от берега моря на высоте 2.8 м от его уровня. В литологическом строении террасы принимают участие (снизу вверх):

слой 1 (0–1.75 м) – светло-серые тонкозернистые пески с линзами мелкого галечника, в верхней части замещающиеся синеватыми тонкослоистыми алевроитами;

слой 2 (1.75–4.5 м) – темно-бурый плотный торф;

слой 3 (4.5–5.12 м) – темно-серые алевроиты с остатками раковин морских моллюсков *Hiattella*, *Mya* и *Astarte*.

Слой 4 (5.12–5.5 м) – почвенные суглинки с корнями современной травянистой растительности.

Комплекс 1 выделен из слоя 1. Комплекс неоднороден. В самой нижней части (0–0.38) с линзами галечникового материала диатомей очень редки (2–3 тыс. створок в 1 г осадка). Встречены морские неритические *Paralia sulcata* (Ehr.) Cl., *Thalassiosira gravida* Cl., *Th. bramaputrae* Håkanson & Locker, *Eupyxidicula turris* (Greville) S. Blanco et Locker и пресноводные виды родов *Eunotia*, *Pinnularia*, *Navicula*. В интервале 0.38–0.75 м численность створок резко возрастает до 2–3 млн в 1 г осадка. Состоит комплекс из морских (21%) и пресноводных (79%) видов. В группе морских диатомей доминируют *Thalassiosira gravida* Cl. (14%), *Th. kryophila* (Grunow) E. Jørgensen (4%) и *Paralia sulcata* (Ehr.) Cl. (5%), а в группе пресноводных – *Eunotia praerupta* Ehr. et Vars (14%), *E. triodon* Ehr. (15%), *Pinnularia lata* (Brébisson) W. Smith (16%), *P. viridis* (Nitzsch.) Ehr. (12%). К верхней части рассматриваемого слоя (0.75–1.75 м) численность створок диатомей достигает 5–7 млн на 1 г осадка. В комплексе постепенно исчезают морские диатомеи, а из пресноводных становятся доминантами *Pinnularia viridis* (Nitzsch.) Ehr. (16.8%), *P. lata* (Brébisson) W. Smith (26.6%), *Placoneis amphibola* (Cleve) E. J. Cox (14.6%), *Parlibellus crucicula* (W. Smith) Witkowski, Lange-Bertalot et Metzeltin (26.2%), *Eunotia bidens* Ehr. (5.5%), *E. papilio* (Ehr.) Grunow (7.2%), *E. valida* Hustedt (3.9%), *Cymbopleura hybrida* (Grunow ex Cleve (Krammer) (4.3%).

Комплекс 2 выделен из слоя торфа и характеризуется снижением численности диатомей до 3–4 млн створок в 1 г осадка. Абсолютными доминантами являются пресноводные болотные *Eunotia triodon* Ehr. (32.5%) и *E. valida* Hustedt (28.5%).

Комплекс 3 выделен в отложениях слоя 3. Вновь появляются обильные морские диатомеи, составляющие 91.7%. Абсолютный доминант –

сублиторальная *Paralia sulcata* (Ehr.) Cl. (60.4%). Относительно высока значимость неритической *Thalassiosira gravida* Cl. (10,4%) и сублиторальной умеренно-тепловодной *Navicula marina* Ralfs (10.4%). Встречены океанические *Coscinodiscus marginatus* Ehr. (6.2%) и *C. asteromphalus* (7.4%).

Комплекс 1 формировался, по-видимому, в конце трансгрессивной фазы МИС-5е, о чем свидетельствует отсутствие в них типичных криофилов неритических зон Субарктики. В этом случае можно допустить формирование болотного комплекса 2 в условиях регрессии и кратковременного похолодания фазы МИС-5d, а комплекса 3 – при новой волне потепления и трансгрессии фазы МИС-5с. **Об этом, как и предыдущем пелукском разрезе P2-1/93, говорят находки створок *Navicula marina* Ralfs, не известной в современных лагунах Аляски, а следовательно, и в отложениях, синхронных с более прохладной фазой «а» (Pushkar et al., 1997). Находки створок этого южно-бореального вида диатомей, современные популяции которого характерны для мелководных хорошо прогреваемых пространств открытого шельфа бореальных областей окраинных морей северо-западной части Тихого океана, свидетельствуют о среднегодовых температурах поверхностных вод шельфа в районе г. Ном, по крайней мере, на 2–3°C выше современных. Аминокислотный анализ раковин двустворок *Mya* и *Hiatella*, а также анализ соотношения изотопов $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$ в этих же моллюсках, собранных из кровли верхнего слоя разреза с комплексом 3, дают возраст около 87–97 тыс. лет и не противоречат высказываемым предположениям (Brigham-Grette, Hopkins, 1995; Brigham-Grette et al., 2001; Пушкарь, Черепанова, 2001).**

Три аналогичных комплекса диатомей, отражающих фазы пелукской трансгрессии, выделены в голубовато-серых алевритах разреза В1 6/93 морской 8–10-метровой террасы в северо-западной части п-ова Балдвин Западной Аляски (66°50'08" с. ш.; 162°24'00" з. д.). Основание террасы находится в 15 м от берега моря на высоте 1.2 м над его уровнем.

Здесь, в нижней части разреза (0–4.5 м), выделен морской комплекс диатомей с *Proboscia curvirostris* (A. P. Jousé) R. W. Jordan et J. Priddle (1.9%), содержащий те же неритические доминанты *Paralia sulcata* (Ehr.) Cl., *Thalassiosira gravida* Cl., *Th. antarctica* Comber (в сумме до 50%). Следует отметить, что в структуре комплекса среди умеренно тепловодных видов доминируют *Coscinodiscus asteromphalus* Ehr. (до 7.9%) и *C. radiatus* Ehr. (до 3.1%). Встречена также и *Navicula marina* Ralfs (до 3.4%).

Фазе 5d соответствует слой торфа (4.5–4.7 м) с доминирующими пресноводными озерно-

болотными северо-бореальными видами родов *Eunotia* и *Pinnularia*, свидетельствующими об опреснении и заболачивании лагуны, существовавшей во время трансгрессивной фазы 5е.

Венчает разрез (4.7–8.6 м) слой синих алевритов с морским комплексом неритических доминантов *Thalassiosira gravida* Cl. и *Paralia sulcata* (Ehr.) Cl. (до 43.7%), а также сублиторальными представителями родов *Diploneis* и *Cocconeis* (до 21%), что соответствует новой трансгрессивной фазе 5с. Хорошим диагностическим признаком трансгрессивных фаз МИС-5 является участие в экологической структуре комплекса сублиторального умеренно тепловодного вида *Navicula marina* Ralfs.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С началом позднего плейстоцена связаны валькатленская трансгрессия Чукотки и ее аналог на Аляске – пелукская трансгрессия. Отложения этих трансгрессий слагают в рельефе прибрежных зон Восточной Чукотки и Аляски протяженные и хорошо выраженные 8–12-метровые террасы, сформированные комплексом мелководных шельфовых фаций. Комплекс морских осадков этого времени хорошо прослеживается на всей территории Берингии и в пелагических и шельфовых фациях Северной Пацифики. Он содержит умеренную флору диатомей и моллюсков. Трансгрессия имела в своем развитии три теплые и две холодные фазы. Последние сопровождалась небольшими регрессиями. Валькатленское (пелукское) время было, пожалуй, самым теплым на протяжении всего плейстоцена и характеризовалось, как и все межледниковые эпохи, прохладным летом и мягкой зимой при высокой влажности. На севере Чукотки в валькатленское время, при среднегодовых температурах на 2–3°C выше современных, распространялись березово-лиственничные леса с участием ели, но при отсутствии кедровых сосен. В отложениях разрезов, где отмечены следы трансгрессий начала позднего плейстоцена как Чукотки, так и Аляски, одним из доминантов являются створки *Paralia sulcata* (Ehr.) Cl. Современные популяции этого вида предпочитают области песчаных мелководий с глубиной до 20 м, что оптимально для его экологической ниши. Если это так, то при абсолютных отметках залегания отложений фазы 5е следует допустить подъем уровня моря в это время до +10 м выше современного. Формирование в единых разрезах, по крайней мере, двух трансгрессивных пачек отложений с морскими диатомеями, соответствующих фазам 5е и 5с МИС-5, позволяет сделать вывод о том, что вряд ли валькатленскую (пе-

лукскую) трансгрессию следует относить только к начальной фазе 5е. Скорее всего, она представлена несколькими фазами и должна соответствовать полному объему МИС-5.

Мы благодарны рецензентам статьи, критические замечания и пожелания которых помогли уточнить стратиграфические объемы валькатленских и пелукских отложений первого межледникового позднего плейстоцена.

ЛИТЕРАТУРА

Архинов С. А. Хронология геологических событий позднего плейстоцена Западной Сибири // Геология и геофизика. 1997. Т. 38, № 12. С. 1863–1884.

Астахов В. И. Средний и поздний неоплейстоцен ледниковой зоны Западной Сибири: проблемы стратиграфии и палеогеографии // Бюл. комиссии по изучению четвертичного периода. 2009. № 69. С. 8–24.

Величко А. А., Нечаев В. П., Борисова О. К. Климаты и ландшафты Северной Евразии в условиях глобального потепления. М.: ГЕОС, 2010. 220 с.

Величко А. А., Борисова О. К. Палеоаналоги глобального потепления XXI столетия // Докл. Академии наук. 2011. Т. 438, № 2. С. 258–262.

Гусев Е. А., Молодьков А. Н., Стрелецкая И. Д. и др. Отложения казанцевской трансгрессии (МИС-5) Енисейского Севера // Геология и геофизика. Т. 57, № 4. 2016. С. 743–757. DOI: 10.15372/GiG20160407

Гусев Е. А., Молодьков А. Н. Строение отложений заключительного этапа казанцевской трансгрессии (МИС-5) на севере Западной Сибири // ДАН. 2012. Т. 443, № 6. С. 707–710. DOI: 10.1134/S1028334X12030117

Иванов В. Ф. Четвертичные отложения побережья Восточной Чукотки. Владивосток: ДВНЦ АН СССР. 1986. 140 с.

Лаухин С. А., Пушкарь В. С., Черепанова М. В. Сопоставление природной среды Сибири и Дальнего Востока на временном срезе МИС-5: Материалы X Всерос. совещ. по изучению четвертичного периода «Фундаментальные проблемы квартера: итоги изучения и основные направления дальнейших исследований». Москва, 25–29 сент. 2017 г. М.: ГЕОС, 2017. С. 224–226.

Ложкин А. В., Андерсон П. М., Матросова Т. В. и др. Непрерывная летопись изменений природной среды Чукотки за последние 350 тыс. лет // Тихоокеанская геология. 2007. Т. 26, № 6. С. 53–59.

Матросова Т. В. Изменение растительности и климата Северной Чукотки за последние 350 тыс. лет (по палинологическим данным осадков оз. Эльгыгытгын) // Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2009. № 2. С. 23–30.

Молодьков А. Н., Болиховская Н. С. Позднеплейстоценовый межледниково-ледниковый климатический переход (МИС5/МИС4) по данным палинологического анализа и ИК-ОСЛ датирования отложений опорного разреза Вока на юго-восточном побережье Финского залива: Материалы VII Всерос. совещ.

по изучению четвертичного периода. Апатиты, 12–17 сент. 2011 г. СПб., 2011. Т. 2. С. 99–102.

Петров О. М. Морские моллюски антропогена северной части Тихого океана. М.: Наука, 1966. 290 с.

Пушкарь В. С., Черепанова М. В. Диатомеи плиоцена и антропогена Северной Пацифики. Владивосток: Дальнаука, 2001. 228 с.

Пушкарь В. С., Черепанова М. В. Диатомовые комплексы и корреляция четвертичных отложений северо-западной части Тихого океана. Владивосток: Дальнаука, 2008. 174 с.

Пушкарь В. С., Черепанова М. В., Лихачева О. Ю. Совершенствование зональной диатомовой шкалы плиоцена и квартера Северной Пацифики // Тихоокеанская геология. 2013. Т. 32, № 5. С. 52–66.

Разжигина Н. Г., Гребенникова Т. А., Ганзей Л. А. и др. Климатические изменения и эволюция ландшафтов Малой Курильской дуги в последнее межледниковье // Изв. РАН. Сер. геогр. 2009. № 5. С. 90–100.

Хорева И. М. Стратиграфия и фораминиферы морских четвертичных отложений западного берега Берингова моря. М.: Наука, 1974. 152 с.

Anderson P., Bennike O., Bigelow N. et al. Last Interglacial Arctic warmth confirm Polar amplification of climate change // Quatern. Sci. Rev. 2006. Vol. 25, No. 13–14. P. 1383–1400. DOI: org/10.1016/j.quascirev.2006.01.033

Brigham-Grette J., Hopkins D. M. Emergent marine record and paleoclimate of the last interglaciation along the Northwest Alaskan coast // Quat. Res. 1995. Vol. 43. P. 159–173.

Brigham-Grette J., Hopkins D. M., Ivanov V. F. et al. Last interglacial (Isotope Stage 5), glacial, and sea-level history of coastal Chukotka Peninsula and St. Lawrence Island, Western Beringia // Quatern. Sci. Rev. 2001. Vol. 20. P. 419–438.

Gebühr C., Wiltshire K. H., Aberle N. et al. Influence of nutrients, light and salinity on the occurrence of *Paralia sulcata* at Helgoland Roads, North Sea // Aquat. Biol. 2009. Vol. 7. P. 185–197. DOI: 10.3354/ab00191

Hopkins D. M. Sea level history in Beringia during the past 250.000 years // Quat. Res. 1973. Vol. 3. P. 520–540.

Hopkins D. M. The paleoecology and climatic history of Beringia during late Cenozoic time // Inter-Nord. 1972. Vol. 12. P. 121–150.

Hopkins D. M. Quaternary marine transgressions in Alaska // The Bering Land Bridge. Stanford: Stanford Univ. Press, 1967. P. 47–90.

Laukhin S. A., Jain Z., Pushkar V. S. et al. Last glaciation in the northern part of the eastern Chukchi Peninsula and paleoceanography of the North Pacific // Dokl. Earth Sci. 2006. No. 411-A (9). P. 1423–1426. DOI:10.1134/S1028334X06090194

Lisiecki L. E., Raymo M. E. A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic $\delta^{18}\text{O}$ records // Paleoceanogr. 2005. Vol. 20, No. PA1003. P. 1–17. DOI:10.1029/2004PA001071

Lozhkin A. V., Anderson P. M. Vegetation responses to interglacial warming in the Arctic, examples from Lake El'gygytyn, Far East Russian Arctic // Climate of

the Past. 2013. Vol. 9. P. 1–23. DOI:10.5194/cp-9-1211-2013

Lozhkin A. V., Matrosova T. V., Minyuk P. S. et al. The pollen records from El'gygytgyn Lake: implications for vegetation and climate histories of Northern Chukotka since the late Middle Pleistocene // J. Paleolimnol. 2007. Vol. 37, No. 1. P. 135–153. DOI: 10.1007/s10933-006-9018-5

Melles M., Brigham-Grette J., Minyuk P. S. et al. 2.8 Million years of Arctic climate change from Lake El'gygytgyn, NE Russia // Science. 2012. Vol. 337, No. 6092. P. 315–320. DOI: 10.1126/science.1222135

Pushkar V. S., Cherepanova M. V. Beringia: Impact on paleoclimates of Northeast Asia and North Pacific during last Pleistocene glaciation // Quatern. Intl. 2011. Vol. 237, No. 1–2. P. 32–38. DOI:10.1016/j.quaint.2011.01.010

Pushkar V. S., Roof S. R., Cherepanova M. V. et al. Paleogeographic and paleoclimatic significance of diatoms from Middle Pleistocene marine and glaciomarine depos-

sits on Baldwin Peninsula, Northwestern Alaska // Palaeogeogr. Palaeoclimat. Palaeoecol. 1999. Vol. 152. P. 67–85.

Pushkar V. S., Cherepanova M. V., Ivanov V. F. et al. Pelukian Transgression (West Alaska) // Geol. Pac. Ocean. 1997. Vol. 13. P. 907–912.

Razjigaeva N. G., Ganzey L. A., Grebennikova T. A. et al. Last interglacial climate changes and environments of the Lesser Kuril arc, north-western Pacific // Quatern. Int. 2011. Vol. 241. P. 35–50. DOI:10.1016/j.quaint.2011.02.002

Tarasov P. E., Andreev A. A., Anderson P. M. et al. A pollen-based biome reconstruction over the last 3.562 million years in the Far East Russian Arctic – new insights into climate-vegetation relationships at the regional scale // Climate of the Past. 2013. Vol. 9. P. 2759–2775. DOI:10.5194/cp-9-2759-2013

Vakulenko N. V., Sonechkin D. M., Kotlyakov V. M. et al. The role of the Ocean in Pleistocene climate changes // Dokl. Earth Sci. 2010. 432, 1, 659–662. DOI:10.1134/S1028334 X10050235

Поступила в редакцию 25.03.2019 г.

Поступила после доработки 04.04.2019 г.

MIS-5 CLIMATIC CHANGES IN THE ARCTIC CHUKOTKA AND ALASKA

V. S. Pushkar^{1,2,3}, M. V. Cherepanova⁴, E. V. Tarasova³

¹Far East Geological Institute, FEB RAS, Vladivostok

²Far Eastern Federal University, Vladivostok

³Vladivostok State University of Economics and Service, Vladivostok

⁴Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, FEB RAS, Vladivostok

Tracing out the changes of the natural environments of the Arctic regions of Russia, as well as their influence on the formation of sediments and accumulation of mineral resources in them, is the key task of the environmental study. The Quaternary interglacial stages, including Marine Isotope Stage 5 (MIS-5), are of particular interest for the study, which contributes to the construction of analog climate models for the future. The paper discusses the MIS-5 depositing conditions in two climatically different areas: Chukotka, where there were no ice covering and the glacioisostatic effect in was insignificant for estimating sea level fluctuations, and Alaska, where the glacioisostatic effect was manifested. Besides, the stratigraphic volumes of the Pelukian and Valkatlenian formations are estimated as well as their correspondence to MIS-5.

Keywords: climate, MIS-5, Valkatlenian and Pelukian transgression, Interglacial, Late Pleistocene, diatoms, Arctic.

REFERENCES

Anderson, P.; Bennike, O.; Bigelow N., et al., 2006, Last Interglacial Arctic Warmth Confirm Polar Amplification of Climate Change, *Quatern. Sci. Rev.*, 25, 13–14, 1383–1400, DOI: org/10.1016/j.quascirev.2006.01.033

Arkipov, S. A., 1997, Chronology of Late Pleistocene Geological Events in West Siberia, *Rus. Geol. & Geophys.*, 38, 12, 1863–1884 [In Russian].

Astakhov, V. I., 2009, Middle and Late Neopleistocene of Western Siberia's Glacial Zone: Problems of Stratigra-

- phy and Paleogeography, *Bull. Commis. Study Quatern.*, 69, 8–24 [In Russian].
- Brigham-Grette, J.; Hopkins, D. M., 1995, Emergent Marine Record and Paleoclimate of the Last Interglaciation along the Northwest Alaskan Coast, *Quatern. Res.*, 43, 159–173.
- Brigham-Grette, J.; Hopkins, D. M.; Ivanov, V. F., et al., 2001, Last Interglacial (Isotope Stage 5), Glacial, and Sea-Level History of Coastal Chukotka Peninsula and St. Lawrence Island, Western Beringia, *Quatern. Sci. Rev.*, 20, 419–438.
- Gebühr, C.; Wiltshire, K. H.; Aberle, N., et al., 2009, Influence of Nutrients, Light and Salinity on the Occurrence of *Paralia sulcata* at Helgoland Roads, North Sea, *Aquat. Biol.*, 7, 185–197, DOI: 10.3354/ab00191
- Hopkins, D. M., 1967, Quaternary Marine Transgressions in Alaska, *The Bering Land Bridge*, Stanford, Stanford Univ. Press, 47–90.
- Hopkins, D. M., 1972, The Paleocology and Climatic History of Beringia During Late Cenozoic Time, *Inter-Nord*, 12, 121–150.
- Hopkins, D. M., 1973, Sea Level History in Beringia during the Past 250.000 Years, *Quatern. Res.*, 3, 520–540.
- Gusev, E. A.; Molod'kov, A. N., 2012, The Deposit Structure of the Kazantsev Transgression Final Stage (MIS-5) in the North of West Siberia, *Dokl. Earth Sci.*, 443, 6, 707–710 [In Russian], DOI: 10.1134/S1028334X12030117
- Gusev, E. A.; Molod'kov, A. N.; Streletskaya, I. D., et al., 2016, Deposits of the Kazantsev Transgression (MIS-5) in the Yenisei North, Rus., *Geol. & Geophys.*, 57, 4, 743–757 [In Russian], DOI: 10.15372 / GiG20160407
- Ivanov, V. F., 1986, Quaternary Deposits at the Coast of East Chukotka, Vladivostok, FESC AS USSR [In Russian].
- Khoreva, I. M., 1974, Stratigraphy and Foraminifera of the Marine Quaternary Deposits of the Bering Sea West Coast, Moscow, Nauka [In Russian].
- Laukhin, S. A.; Jain, Z.; Pushkar, V. S., et al., 2006, Last Glaciation in the Northern Part of the Eastern Chukchi Peninsula and Paleoceanography of the North Pacific, *Dokl. Earth Sci.*, 411-A (9), 1423–1426, DOI: 10.1134/S1028334X06090194
- Laukhin, S. A.; Pushkar, V. S.; Cherepanova, M. V., 2017, Correlation of the Environment of Siberia and the Far East during MIS-5, *Fundamental Problems of the Quarter: Study Results and Basic Directions for Further Research*, Proc. 10th All-Russia Meeting on Studying Quatern. Period, Moscow, Sept. 25–29, 2017, Moscow, GEOS, 224–226 [In Russian].
- Lisiecki, L. E.; Raymo, M. E., 2005, A Pliocene-Pleistocene Stack of 57 Globally Distributed Benthic $\delta^{18}\text{O}$ Records, *Paleoceanogr.*, 20, PA1003, P 1–17, DOI: 10.1029/2004PA001071
- Lozhkin, A. V.; Anderson, P. M., 2013, Vegetation Responses to Interglacial Warming in the Arctic, Examples from Lake El'gygytyn, Far East Russian Arctic, *Climate of the Past*, 9, 1–23, DOI: 10.5194/cp-9-1211-2013
- Lozhkin, A. V.; Anderson, P. M.; Matrosova, T. V., et al., 2007, Continuous Chronicle of the Environment Changes of Chukotka Environment over the Past 350 Thousand Years, *Rus. J. Pac. Geol.*, 26, 6, 53–59 [In Russian].
- Lozhkin, A. V.; Matrosova, T. V.; Minyuk, P. S., et al., 2007, The Pollen Records from El'gygytyn Lake: Implications for Vegetation and Climate Histories of Northern Chukotka Since the Late Middle Pleistocene, *J. Paleolimn.*, 37, 1, 135–153, DOI: 10.1007/s10933-006-9018-5
- Matrosova, T. V., 2009, Vegetation and Climate Changes in the Northern Chukotka over the Past 350 Thousand Years (by the Palynological Data of the Lake El'gygytyn Sediments), *Bull. NESC FEB RAS*, 2, 23–30 [In Russian].
- Melles, M.; Brigham-Grette, J.; Minyuk, P. S., et al., 2012, 2.8 Million Years of Arctic Climate Change from Lake El'gygytyn, NE Russia, *Science*, 337, 6092, 315–320, DOI: 10.1126/science.1222135
- Molod'kov, A. N.; Bolikhovskaya, N. S., 2011, Late Pleistocene Interglacial-Glacial Climate Transition (MIS 5/MIS 4) According to Palynological Analysis and IR-OSL Dating of Sediments from the Voka General Outcrop, Southeast Coast of the Gulf of Finland, *Proc. 7th All-Russia Meeting on Studying Quatern. Period*, Apatity, Sept. 12–17, 2011, St. Petersburg, 2, 99–102 [In Russian].
- Petrov, O. M., 1966, Marine Mollusks of the Anthropogene of the North Pacific, Moscow, Nauka [In Russian].
- Pushkar, V. S.; Cherepanova M. V., 2001, Diatoms of Pliocene and Anthropogene of the North Pacific, Vladivostok, Dalnauka [In Russian].
- Pushkar, V. S.; Cherepanova M. V., 2008, Diatom Assemblages and Correlation of Quaternary Deposits in the North-Western Part of the Pacific Ocean, Vladivostok, Dalnauka [In Russian].
- Pushkar, V. S.; Cherepanova, M. V., 2011, Beringia: Impact on Paleoclimates of Northeast Asia and North Pacific during Last Pleistocene Glaciation, *Quatern. Intl.*, 237, 1–2, 32–38, DOI: 10.1016/j.quaint.2011.01.010
- Pushkar, V. S.; Cherepanova, M. V.; Ivanov, V. F., et al., 1997, Pelukian Transgression (West Alaska), *Geol. Pac. Ocean.* 13, 907–912.
- Pushkar, V. S.; Cherepanova, M. V.; Likhacheva O. Y., 2013, Improvement of the Diatom Zonal Scale for the North Pacific Pliocene and Quaternary, *Rus. J. Pac. Geol.*, 32, 5, 52–66 [In Russian].
- Pushkar, V. S.; Roof, S. R.; Cherepanova, M. V., et al., 1999, Paleogeographic and Paleoclimatic Significance of Diatoms from Middle Pleistocene Marine and Glaciomarine Deposits on Baldwin Peninsula, Northwestern Alaska, *Palaeogeogr., Palaeoclimat., Palaeoecol.*, 152, 67–85.
- Razjigaeva, N. G.; Ganzey, L. A.; Grebennikova, T. A., et al., 2011, Last Interglacial Climate Changes and Environments of the Lesser Kuril Arc, North-Western Pacific, *Quatern. Intl.*, 241, 35–50, DOI: 10.1016/j.quaint.2011.02.002

Razjigaeva, N. G.; Grebennikova, T. A.; Ganzey, L. A., et al., 2009, Climatic Changes and Landscape Evolution of the Maloy Kurile Arc during the Last Interglaciation, *Izv. RAN, Ser. Geogr.*, 5, 90–100 [In Russian].

Tarasov, P. E.; Andreev, A. A.; Anderson, P. M., et al., 2013, A Pollen-Based Biome Reconstruction over the Last 3.562 Million Years in the Far East Russian Arctic – New Insights into Climate-Vegetation Relationships at the Regional Scale, *Climate of the Past*, 9, 2759–2775, DOI:10.5194/cp-9-2759-2013

Vakulenko, N. V.; Sonechkin, D. M.; Kotlyakov, V. M., et al., 2010, The Role of the Ocean in Pleistocene Climate Changes, *Dokl. Earth Sci.*, 432, 1, 659–662, DOI: 10.1134/S1028334X10050235

Velichko, A. A.; Borisova, O. K., 2011, Paleoanalogues of a Global Warming in XXI Century, *DAN*, 438, 2, 258–262 [In Russian].

Velichko, A. A.; Nechaev, V. P.; Borisova, O. K., 2010, Climates and Landscapes of Northern Eurasia in the Global Warming Conditions, Moscow, GEOS [In Russian].