

УДК 551.79:[551.89+561.26](98)

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ МОРСКОЙ ИЗОТОПНОЙ СТАДИИ 5 БЕРИНГОВОМОРСКОЙ СУБАРКТИКИ

^{1,2}Пушкарь В.С., ³Черепанова М.В., ²Тарасова Е.В.

¹ФГБУН «Дальневосточный геологический институт» ДВО РАН,
Владивосток, e-mail: vpushkar@mail.ru;

²ФГБОУ ВО «Владивостокский государственный университет экономики
и сервиса», Владивосток, e-mail: goracievich@mail.ru;

³ФГБУН «Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты
Восточной Азии» ДВО РАН, Владивосток, e-mail: cherepanova@biosoil.ru

Познанию развития природной среды арктических и субарктических регионов России принадлежит исключительная роль в формировании своих стратегических национальных интересов. Ключевой задачей при этом является выяснение изменений природной среды и их влияния на формирование осадочных толщ и условий, способствующих накоплению в них полезных ископаемых. Главный фактор, приводящий к изменению среды в квартере – климат. Субарктика, в четвертичных морских и континентальных фациях которой запечатлены палеоклиматические сигналы, является в этом отношении ключевым объектом и представляет особый интерес для изучения изменений в прошлом. Это дает ключ и к распознаванию влияния региональных факторов на фоне глобальных, среди которых особую важность приобретает океаническая составляющая. Особый интерес в палеоклиматической ритмике позднего квартера представляют межледниковые стадии, к которым относится и морская изотопная стадия 5 (МИС-5). Изменения природной среды (климат, уровень моря) этого времени важны и тем, что они могут стать аналогом в моделировании будущих климатических изменений, в том числе и современного потепления, в котором антропогенный фактор, возможно, оказывает влияние. В статье 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 при оценке изменений среды двух регионов учитывался эффект Берингийской суши, менявший системы течений Северной Пацифики.

Ключевые слова: диатомы, палеоклимат, уровень моря, Субарктика, Берингия, МИС-5, поздний квартал

CONDITIONS OF THE BERING SEA SUBARCTIC DEPOSITION OF MARINE ISOTOPE STAGE 5

^{1,2}Pushkar V.S., ³Cherepanova M.V., ²Tarasova E.V.

¹Far East Geological Institute FEB RAS, Vladivostok, e-mail: vpushkar@mail.ru;

²Vladivostok State University Economy and Service, Vladivostok, e-mail: goracievich@mail.ru;

³Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity FEB RAS,
Vladivostok, e-mail: cherepanova@biosoil.ru

The knowledge of the Russia Arctic and Subarctic regions environment evolution has exceptional role in shaping Russia's strategic national interests. The key task is to establish the natural environment changes and their impact on the accumulation of sediments and minerals. Climate is strong factor leading to the Quarter environment changes. The Subarctic quaternary marine and continental facies with paleoclimatic signals are the key to study nature changes in the past. This also is a key to recognize the influence of regional factors versus to global ones, among which the oceanic component acquires special importance. The interglacial stages in the paleoclimatic rhythmic of the Late Quarter, including the marine isotope stage 5 (MIS-5) have a particular interest too. Changes in the natural environment (climate, sea level) of this time are important too because they can become as analogues in future climatic modeling, including recent warming forced may be by anthropogenic factor. The article discusses the conditions of the formation MIS 5 sediments in two regions with different climatic characteristics. Firstly, it is Chukotka where the cover glaciations were absent, and the glacioisostatic effect was insignificant in estimating sea level fluctuations. Secondly, it is Alaska where the glacioisostatic effect was established. In addition, when the environment changes of two regions are analyzed, the effect of the Beringia Land was taken into account because it forced the Northern Pacific current systems changes.

Keywords: diatoms, paleoclimate, sea level, Subarctic, Beringia, MIS-5, Late Quarter

Разработка моделей палеоклиматических изменений относится к важнейшим проблемам четвертичной геологии по двум причинам. Во-первых, идет стремительное освоение природных ресурсов северных регионов, требующее составления крупномасштабных геологических карт на

высокоразрешающей климатостратиграфической основе. Во-вторых, прогноз изменений среды в будущем при нарастающем антропогенном влиянии невозможен без анализа палеоклиматической ритмики в прошлом. Наиболее вероятным аналогом современного глобального потепления мо-

гут быть теплые фазы МИС-5 (128–71 тыс. лет назад). Однако, ведущие исследователи в этой области (В.М. Котляков, А.А. Величко, Ю.А. Лаврушин, J. Brigham-Grette, M. Melles и др.) отмечают, что их соответствие современному климату маловероятно, поэтому следует искать сходные палеоклиматические тренды [1]. Главным при решении этой проблемы является анализ синергетической связи глобальных (орбитальные циклы Миланковича) и региональных факторов климатогенеза [2]. В арктической и субарктической частях Чукотки и Аляски влияние на формирование региональных климатических особенностей оказывала Берингийская суша, возникавшая при мощных регрессиях Мирового океана, когда уровень моря падал до –130–140 м, и огромные пространства арктического и северо-тихоокеанского шельфов обнажались, формируя эту сушу. Отсутствие водообмена между Арктическим и Тихим океаном, изменение площадей северных окраинных морей и контраст в прогреве Берингии и поверхностных вод океанов приводили к изменениям систем атмосферных потоков, векторов и интенсивности поверхностных течений в этом регионе [3]. Свидетельством этого является разительный контраст в климатическом режиме Чукотки (выраженный холодный и сухой климат) и Аляски (менее холодный и влажный).

Цель исследования: в связи с вышесказанным целью работы является сравнительный палеогеографический анализ двух контрастных в климатическом отношении регионов – Чукотки и Аляски на основе диатомового анализа отложений времени МИС-5.

Материалы и методы исследования

Материалом для работы послужили образцы, полученные при проведении многолетних совместных российско-американских экспедиций и исследований четвертичных отложений Чукотки и Аляски по программам «Beringia» и глубокого озерного бурения «El'gygytyn». Были изучены стратотипические разрезы отложений валькатленской (Чукотка) и пелукской (Аляска) прибрежно-морских террас, отложения которых сформировались в результате трансгрессий казанцевского и сангамонского межледниковий позднего плейстоцена соответственно, коррелируемых с МИС-5 [4–6]. При анализе образцов осадков использован микропалеонтологический метод – диатомовый анализ. В качестве возрастной моде-

ли применена зональная диатомовая шкала [6] и кислородно-изотопная шкала [2, 7] с привлечением методов абсолютного датирования (аминокислотный и торий-урановый) [6, 8]. При корреляции отложений и характеристике палеоклиматических изменений использованы палинологические данные по осадкам озера Эльгыгытгын, позволившие получить непрерывную палеоклиматическую летопись Восточной Арктики [9, 10].

Результаты исследования и их обсуждение

Валькатленские слои, как морские отложения первого межледниковья позднего плейстоцена, выделены О.М. Петровым по комплексам моллюсков, споро-пыльцевым спектрам и редким морским диатомеям на северо-восточном побережье Анадырского залива (Чукотка) [4]. Стратотип валькатленских слоев представлен отложениями прибрежно-морской 10–12-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. В геологическом и литологическом строении террасы (рисунок) принимают участие (снизу вверх) следующие слои [4–6]:

– мечигменские слои (mch) мощностью до 2,5 м представлены тонкими песками и алевритами с включением раковин морских двустворчатых 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 слои (kr) мощностью до 7,6 м представлены гляциоморскими валунно-галечниковыми отложениями, относящимися к зоне *Thalassiosira gravida var. fossilis* (190–128 тыс. лет назад) и соответствующих МИС-6 и тазовскому ледниковому горизонту Сибири;

– валькатленские слои (val) представлены 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;

– ванкаремские слои (van) мощностью до 8,2 м включают в себя валунно-галечниковую толщу флювиогляциального генезиса и соответствуют ледниковому ермаковскому горизонту Сибири – второму оледенению позднего плейстоцена [4, 5].

Створки диатомей редки в отложениях ледниковых эпох, но в мичигменских 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 (разрезы v1/92, v2/92, v3/92, v4/92, v5/92) (рисунок). Наиболее представительны разрез v3/92. Комплексы описаны снизу – вверх:

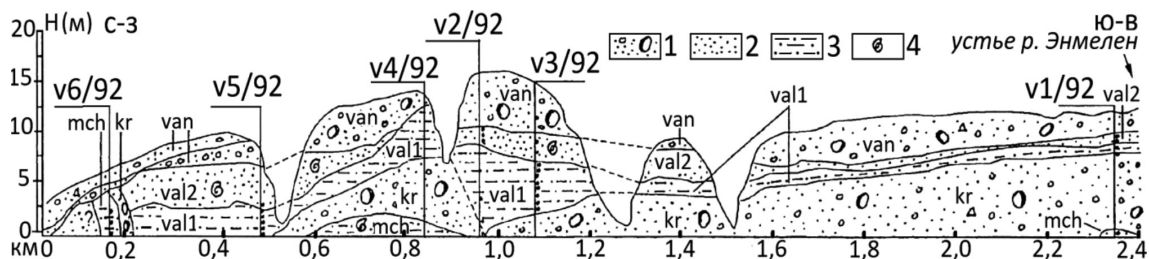
Комплекс 1 (2,5–3,7 м, образцы 1 м²). Доминируют неритическо-сублиторальные бореальные виды *Rhabdonema arcuatum* (Lyngh.) Kütz. (до 34%) и *Paralia sulcata* (Ehr.) Cl. (до 25%), океанический южно-бореальный *Coscinodiscus asteromphalus* Ehr. (20%) и неритический аркто-бореальный *Thalassiosira gravida* Cl. (до 12%). Присутствуют пресноводные диатомей (до 17,2%), свидетельствующие о близости речного стока.

Комплекс 2 (3,7–5,5 м, образцы 3–5) характеризуется ростом значимости *Thalassiosira gravida* Cl. (до 33%) и *Odontella aurita* (Lyngh.) Ag. (до 15%). Значимость же *Coscinodiscus asteromphalus* Ehr. снижается до 2%. Отмечается влияние на структуру комплекса реофильной флоры с доминантом *Didymosphenia geminata* (Lyngh.) Schmidt (до 40%), что свидетельствует о формировании комплекса вблизи устья реки палео Энмелен.

Комплекс 3 (5,5–7,3 м, образцы 6–8) характеризуется снижением численности *Thalassiosira gravida* Cl. до 20%, *Didymosphenia geminata* (Lyngh.) Schmidt – до 25%, и ростом значимости *Coscinodiscus asteromphalus* Ehr. до 14%.

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 *Thalassiosira gravida* Cl., *Th. bramaputrae* (Ehr.) Håkansson et Locker, *Diploneis subcineta* (Schmidt) Cl., *Trachyneis aspera* (Ehr.) Cl., *Paralia sulcata* (Ehr.) Cl., *Melosira varians* Ag., *Odontella aurita* (Lyngh.) Ag. Для комплекса характерен аллохтонный пресноводный элемент (42,4%), представленный *Aulacoseira granulata* (Ehr.) Sim., *Eunotia triodon* Ehr., *Eunotia praerupta* Ehr., *Pinnularia viridis* (Nitzsch) Ehr. Аналогичный комплекс диатомей был выделен А.И. Купцовой в верхневалькатленских слоях на побережье Анадырского залива [5].

Анализ диатомей показывает, что в валькатленских слоях запечатлены следы четырех фаз казанцевской трансгрессии позднего плейстоцена, отвечающие фазам 5b-5e МИС-5. Фаза 5a ни в одном из разрезов выделена не была. Отсюда, всецело следует согласиться с В.Ф. Ивановым [5], сделавшим анализ распределения фораминифер, моллюсков, спор и пыльцы в валькатленских отложениях, что формирование нижневалькатленских слоев происходило в более мягких условиях (фазы 5e-5c), чем верхневалькатленских (фаза 5b). Ранее О.М. Петровым, исходя из спорово-пыльцевого анализа, излагалась противоположная точка зрения [4]. По мнению В.Ф. Иванова [5], в объеме верхневалькатленских слоев О.М. Петровым были включены отложения, не принадлежащие к этим слоям. О.М. Петров также не исключал, что более теплый облик фауны моллюсков поздневалькатленского времени связан со спадом казанцевской (валькатленской) трансгрессии и обмелением бассейна осадконакопления, а следовательно, и его хорошей прогреваемостью.



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

Анализ диатомей показывает, что самым теплым временем казанцевской трансгрессии была фаза 5е с высокой частотой встречаемости южно-бореального *Coscinodiscus asteromphalus* Ehr. (20%), что говорит о глубоком продвижении в северную часть Берингова моря теплых восточно-беринговоморских течений в результате казанцевской трансгрессии [3, 6]. Если исходить из параметров экотопа *Paralia sulcata* (Ehr.) Cl. [6] 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 трансгрессии начала позднего плейстоцена [11]. Среднегодовая температура на побережье Анадырского залива могла превышать современную на 3–5 °С, что обеспечивало по данным палинологии присутствие в регионе темнохвойной тайги с участием и березово-лиственничных пород [4, 5, 9, 10], а в Анадырском заливе моллюсков с ключевым видом *Arctica islandica* Linnaeus и фораминифер, обитающих ныне в северной части Японского моря [4, 5]. 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 [11] и отложения диатомовой зоны *Proboscia curvirostris* северо-западной части Тихого океана [6].

Пелукские слои были выделены Д.М. Хопкинсом для морских отложений, которые были сформированы во время первой позднеплейстоценовой сангамонской (казанцевской) трансгрессии. Стратотип слоев, слагающих 8–10-метровую террасу, протягивающуюся вдоль всего северного побережья залива Нортон (Берингово море), расположен у г. Ном на полуострове Сьюард Аляски [6] (разрез P2/-93: 64°30'00" с.ш.; 165°24'00" з.д.; 200 м от берега моря, абсолютная высота основания террасы +2,6 м). Отложения стратотипа (мощность 8,2 м) представлены темно-синими алевритами с двумя прослоями торфа в интервалах 4,0–4,35 м 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 (алевериты) комплексов диатомей, при этом последние содержат зональный вид-индекс *Proboscia curvirostris* (Jousé) Jordan et Priddle. По фа-

уне моллюсков, спорово-пыльцевым спектрам, аминокислотному и торий-урановому датированию данные отложения отнесены к сангамонскому межледниковью [4, 5, 8].

Комплекс 1 (алевериты, 0–4,0 м) выделен в нижней части разреза и содержит морские диатомеи с *Proboscia curvirostris* (Jousé) Jordan et Priddle (2,9%), содержащий доминанты *Paralia sulcata* (Ehr.) Cl. (15%) и *Thalassiosira gravida* Cl. + *Th. antarctica* Comber (до 34,3%) при участии умеренно тепловодных океанических *Coscinodiscus radiatus* Ehr., *C. perforatus* Ehr. и *C. asteromphalus* Ehr. (в сумме до 8,6%). Участие последних обеспечивалось теплым Аляскинским течением вдоль западного побережья Аляски [3, 6].

Комплекс 2 (торф, 4,0–4,35 м) представлен доминирующими пресноводными озерно-болотными северо-бореальными *Eunotia triodon* Ehr., *E. papilio* (Ehr.) Grun., *E. valida* Hust. и *Pinnularia viridis* (Nitzsch) Ehr. (в сумме до 92,55%).

Комплекс 3 (алевериты, 4,35–5,5 м) содержит морские диатомеи (91,7%). Абсолютный доминант – сублиторальная *Paralia sulcata* (Ehr.) Cl. (60,4%). Относительно высока значимость аркто-бореальной неритической *Thalassiosira gravida* Cl. (10,4%) и сублиторальной умеренно-тепловодной *Navicula marina* Ralfs (10,4%), неизвестной в современных лагунах Аляски [5]. Встречен и океанический северо-бореальный *Coscinodiscus marginatus* Ehr. (6,2%).

Комплекс 4 (торф 5,5–5,75 м) идентичен комплексу 2.

Комплекс 5 (алевериты, 5,75–8,2 м) выделен в верхней части синих алевритов. Он включает морские *Paralia sulcata* (Ehr.) Cl. (21%) *Thalassiosira gravida* Cl. + *Th. antarctica* Comber (в сумме 17,8%), *Shionodiscus trifultus* (Fryxell) Alverson, Kang et Theriot (4,2%), *Diploneis smithii* (Bréb.) Cl. (11,3%), *Cocconeis scutellum* Ehr. (6%) и *Navicula marina* Ralfs (6%). 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* (Jousé) Jordan et Priddle и самым высоким участием морских умеренно тепловодных видов (в сумме до 23,9%) соответствует фазе 5е. Подтверждением этого является комплекс 3, соответствующий фазе 5с. Для него получена серия аминокислотных датировок по раковинам *Hiatella* и *Astarte* с соотношением $\text{Al}/\text{Pe} = 0,04$, дающим возраст 102–107 тыс. лет [6, 8]. Формирование прослоев торфа

с пресноводной флорой диатомей связано с кратковременными регрессиями, соответствующими фазам 5d (комплекс 2) и 5b (комплекс 4). Комплекс 5 с самым высоким видовым богатством (87 видов и внутривидовых таксонов), завершающий межледниковую сукцессию диатомей, отражает климатические условия фазы 5a – небольшую трансгрессию и климат, близкий современному.

Заключение

С началом позднего плейстоцена связана валькатленская трансгрессия Чукотки и ее аналог на Аляске – пелукская трансгрессия. Отложения этих трансгрессий слагают в рельефе морских побережий протяженные и хорошо выраженные 10–12-метровые террасы, сформированные шельфовыми фациями. Отложения времени МИС-5 с бореальными диатомеями хорошо прослеживаются на побережье Берингии, а также в пелагических и шельфовых фациях Северной Пацифики. Трансгрессия имела в своем развитии три теплые и две холодные фазы. Последние сопровождалась небольшими регрессиями. Валькатленское (пелукское) время в Субарктике было, пожалуй, самым теплым на протяжении всего плейстоцена и характеризовалось, как и все межледниковые эпохи, прохладным летом и мягкой зимой при высокой влажности.

Список литературы / References

1. Величко А.А., Борисова О.К. Палеоаналоги глобального потепления XXI столетия // Доклады Академии наук. 2011. Т. 438. № 2. С. 258–262. DOI: 10.1134/S1028334X11050266.
2. Velichko A.A., Borisova O.K. Paleoanalogues of global warming in the 21st century // Doklady Earth Sciences. 2011. T. 438. № 1. P. 681–685. DOI: 10.1134/S1028334X11050266.
3. Lisiecki Lorraine E., Stern Joseph V. Regional and global benthic $\delta^{18}\text{O}$ stacks for the last glacial cycle. *Paleoceanography and paleoclimatology*, 2016, vol. 31, no. 10, pp. 1368–1394. DOI: 10.1002/2016PA003002.
4. Pushkar V.S., Cherepanova M.V. Beringia: Impact on paleoclimates of northeast Asia and North Pacific during Last Pleistocene glaciation. *Quaternary International*, 2011, vol. 237, pp. 32–38. DOI: 10.1016/j.quaint.2011.01.010.
5. Петров О.М. Морские моллюски антропогена северной части Тихого океана М.: Наука, 1966. 290 с.
6. Petrov O.M. Sea mollusks of an anthropogene of a northern part of the Pacific Ocean M.: Nauka, 1966. 290 p. (in Russian).
7. Иванов В.Ф. Четвертичные отложения побережья Восточной Чукотки. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1986. 140 с.
8. Ivanov V.F. Quaternary deposits of the coast of East Chukotka. Vladivostok: DVNTs AN SSSR, 1986. 140 p. (in Russian).
9. Пушкарь В.С., Черепанова М.В. Диатомей плиоцена и антропогена Северной Пацифики. Владивосток: Дальнаука, 2001. 228 с.
10. Pushkar V.S., Cherepanova M.V. Diatoms of a Pliocene and anthropogene Northern Peace signs. Vladivostok: Dal'nauka, 2001. 228 p. (in Russian).
11. Lisiecki Lorraine E., Raymo Maureen E. A. Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic $\delta^{18}\text{O}$ records. *Paleoceanography*, 2005, vol. 20, no. PA1003, pp. 1–17.
12. Coletti A.J., DeConto R.M., Brigham-Grette J., Melles M. A GCM comparison of Pleistocene super-interglacial periods in relation to Lake El'gygytyn, NE Arctic Russia. *Climate of the Past*, 2015, vol. 11, pp. 979–989, DOI: 10.5194/cp-11-979-2015.
13. Tarasov P.E., Andreev A.A., Anderson P.M., Lozhkin A.V., Leipe C., Haltia E., Nowaczyk N.R., Wennrich V., Brigham-Grette J., Melles M. A pollen-based biome reconstruction over the last 3.562 million years in the Far East Russian Arctic – new insights into climate–vegetation. *Climate of the Past*, 2013. Vol. 9, pp. 2759–2775. DOI: 10.5194/cp-9-2759-2013.
14. 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, pp. 1–23. DOI: 10.5194/cp-9-1211-2013.
15. Гусев Е.А., Молодьков А.Н., Стрелецкая И.Д., Васильев А.А., Аникина Н.Ю., Бондаренко С.А., Деревянко Л.Г., Куприянова Н.В., Максимов Ф.Е., Полякова Е.И., Пушина З.В., Степанова Г.В., Облогов Г.Е. Отложения казанцевской трансгрессии (МИС 5) Енисейского Севера // Геология и геофизика. 2016. Т. 57, № 4. С. 743–757. DOI: 10.15372/GiG20160407.
16. Gusev E.A., Bondarenko S.A., Kupriyana N.V., Pushina Z.V., Stepanova G.V., Molodkov A.N., Streletskaya I.D., Polyakova E.I., Vasiliev A.A., Oblogov G.E., Anikina N., Derevyanko L.G., Maksimov F.E. Deposits of the Kazantsevo Transgression (MIS 5) in the Northern Yenisei Region // *Russian Geology and Geophysics*. 2016. T. 57. № 4. P. 586–596. DOI: 10.1016/j.rgg.2015.05.013.