

УДК 551.793:561.26(571.645)

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ МОРСКИХ ИЗОТОПНЫХ СТАДИЙ 11-9 ОСТРОВА КУНАШИР (КУРИЛЫ)^{1,2,3}Пушкар В.С., ^{1,3}Микишин Ю.А.¹ФГБУН «Дальневосточный геологический институт» ДВО РАН, Владивосток,
*e-mail: vpushkar@mail.ru;*²ФГБОУ ВО «Владивостокский государственный университет экономики и сервиса», Владивосток;³ФГБОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток

Палеоклиматические колебания и изменения уровня моря в среднем плейстоцене записаны в отложениях верхней части головнинской свиты (о-в Кунашир, Курильская островодужная система). Среднеплейстоценовый возраст отложений свиты установлен с помощью палеомагнитного и диатомового анализов. Многочисленные прослой тифры были использованы в качестве маркеров возраста и корреляции. Отложения образовались в межледниково-ледниковые климатические и трансгрессивно-регрессивные циклы, соответствующие 11-9 морским изотопным стадиям (МИС). Была реконструирована последовательность смен морских и континентальных условий осадконакопления. Во время первой трансгрессивной фазы (МИС-11) уровень моря был на 20–25 м выше современного уровня моря (в.с.у.м.) и до 5 м выше во второй трансгрессивной фазе (МИС-9). Слои туфа и перерывы в осадконакоплении соответствуют регрессивной фазе (МИС-10). Скорость тектонического поднятия острова Кунашир оценивается в 0,3–0,4 мм / год. Различия в условиях формирования отложений во время МИС-11 (424–374 тыс. л.н.) и МИС-9 (370–337 тыс. л.н.) позволяют предположить, что теплый климат и высокое положение уровня моря в течение чрезвычайно длинного межледникового периода МИС-11 в истории Земли были вызваны не только вариациями солнечной инсоляции, связанными с орбитальными изменениями Земли. В этот период произошли лишь слабые орбитально обусловленные изменения в распределении солнечной инсоляции на поверхности Земли. Условия среды МИС-11 вызваны иными причинами, которые, возможно, были связаны с изменениями уровня концентрации углекислого газа в атмосфере, регистрирующиеся высокой фотосинтетической палеопродуктивностью диатомовых водорослей.

Ключевые слова: диатомы, палеоклимат, уровень моря, Курилы, МИС-11-9, средний плейстоцен**CONDITIONS OF THE KUNASHIRI ISLAND (KURILE) DEPOSITION OF MARINE ISOTOPE STAGES 11-9**^{1,2,3}Pushkar V.S., ^{1,3}Mikishin Yu.A.¹Far East Geological Institute FEB RAS, Vladivostok, *e-mail: vpushkar@mail.ru;*²Vladivostok State University Economy and Service, Vladivostok;³Far East Federal University, Vladivostok

The middle Pleistocene paleoclimatic fluctuations and sea-level changes were recorded in the deposits of upper units of the Golovnin Formation (Kunashiri Island, Kurile Arc System). The middle Pleistocene age of the Formation deposits was established by paleomagnetic and diatom analyses. Numerous tephra beds were used as age and correlation markers. The deposits were formed during interglacial-glacial climatic and transgressive-regressive cycles, corresponding to 11-9 marine isotopic stages (MIS). Evolution of interbedded marine and terrestrial sedimentary environments was reconstructed. The sea-level was raised to 20-25 m above modern sea level (a.m.s.l.) in the first transgressive phase time (MIS-11), and to 5 m a.m.s.l. in the second transgressive phase time (MIS-9). The tuff deposits and hiatuses are corresponded to regressive phase (MIS-10). The Kunashiri tectonic uplift rate was estimated at 0,3-0,4 mm/year. The differences in paleoenvironment between MIS-11(424-374 kyr) and MIS-9 (337-300 kyr) allows us to suppose that warm climate and high sea-level position during extraordinarily long interglacial period MIS 11 in the Earth's history were not forced only by Earth's orbital changes and solar insolation. During this period there were weak orbital induced changes in the distribution of solar energy reaching the Earth. The MIS-11 condition rendered the climate susceptible to other forcing, may be with changes in the high level of atmospheric carbon dioxide recorded by a very high photosynthetic diatom paleoproductivity.

Keywords: diatoms, paleoclimate, sea level, Kurile, MIS-11-9, middle Pleistocene

Четвертичный период истории Земли является периодом мощных оледенений. Принято считать, что чередование экспансии и распада полярных ледниковых покровов регулируется изменениями орбитальных параметров Земли (теория Миланковича), отраженных вариациями изотопно-кислородной кривой [1]. Однако эта теория не может объяснить ряд во-

просов по несоответствию орбитальных изменений, а следовательно, и солнечной инсоляции ряду морских изотопных стадий (МИС). В частности, это проблема 11-й изотопной стадии [2–4]. В.А. Большаков [2, 3] отмечает, что причина в том, что в качестве управляющего инсоляционного сигнала рассматривается среднемесячная или суточная инсоляция под одной

широтой. С этих позиций В.А. Большаков постулирует, что эксцентриситетный инсоляционный сигнал, близкий к 100-тысячному циклу, «...является в данном случае как бы спусковым крючком, запускающим работу резонансного механизма климатической системы» [2, с. 243]. Но и новая концепция не позволяет объяснить масштабность изменений среды времени 11-й МИС, поскольку амплитуды орбитальных изменений этого времени были не столь значительны. Что же могло вызвать коллапс ледниковых покровов во время 11-й МИС [5]? Многие исследователи пришли к выводу, что, кроме орбитальных изменений, на климатическую систему Земли сильнейшее влияние оказывает концентрация CO_2 в атмосфере Земли, приводящая к «парниковому эффекту» и сокращению объемов ледниковых покровов. Но изменения концентрации CO_2 не связаны с орбитальными параметрами Земли и могут с ними не совпадать. Скорее всего, глобальные углеродные циклы имеют свою собственную причинно-следственную связь, которая не обусловлена ледниковой периодизацией как первопричиной [6–8]. В связи с этим возникла и проблема изменений уровня Мирового океана во время самой экстремально теплой и длительной МИС-11 (424–374 тыс. л.н. – тыс. л.н., миндель-рисс) за всю историю плейстоцена. Существуют три основные точки зрения. Одна из них базируется на положении береговых линий в разрезах морских террас на тектонически стабильном острове Барбадос и предполагающая повышение уровня моря во время МИС-11 не менее чем на +21 м по сравнению с современным [9]. Аналогичные данные получены по Аляске и Курильским островам [10]. Другая точка зрения, основанная на аналоговых моделях изменения объемов ледников планет и их таяния, сводится к утверждению о соответствии уровня моря времени МИС-11 в голоцене или уровню межледниковой МИС-5 [4, 11, 12]. Третья позиция касается возможного катастрофического обрушения антарктических ледников во время ледникового коллапса МИС-11 и возникновения мегацунами, приведшего к формированию высокого положения береговых линий на о. Барбадос, что вызвало обширную и острую дискуссию [5, 13].

Цель исследования: определение условий формирования осадков и выделение палеогеографических событий, соответствующих глобальным изменениям природной

среды среднего плейстоцена, выяснение возможных причин палеоклиматических особенностей и колебаний уровня моря во время резко контрастирующих между собой межледниковых МИС-11 (424–374 тыс. л.н.) и МИС-9 (337–300 тыс. л.н.).

Материалы и методы исследования

Основным резервуаром накопления любых форм углерода, поглощенного из атмосферы, служит Мировой океан. Главную роль в этом биогеохимическом круговороте углерода играют микроскопические диатомовые водоросли, обеспечивающие свою жизнедеятельность и высокую продуктивность в результате фотосинтеза. Общеизвестно, что диатомеи создают более 50% всей органической массы Мирового океана, поглощая при этом около 10 млрд т углерода ежегодно. Поэтому количество панцирей диатомей в осадках океана может отражать палеопродуктивность диатомей, связанную с концентрацией CO_2 в атмосфере. Это и послужило основанием выбора диатомового анализа как основного рабочего инструмента исследований [10, 14]. При интерпретации палеоклиматических условий и глубины формирования прибрежно-морских отложений использованы данные по экологии диатомей [10, 14, 15]. В качестве возрастной модели применена зональная диатомовая шкала Северной Пацифики [10] и кислородно-изотопная шкала, построенная по фораминиферам [1].

Материалом для работы послужили образцы, отобранные в отложениях верхней части головнинской свиты о-ва Кунашир от мыса Пузанова (43°52′05″с.ш., 145°36′07″в.д.) до устья ручья Белозерский (43°51′03″с.ш., 145°34′45″в.д.), обнажающиеся в Головнинском клифе, а также в карьере у подножья горы Отдельная по левому берегу реки Лесная (44°00′57″с.ш., 145°46′37″в.д. (рис. 1).

Результаты исследования и их обсуждение

Верхняя подсвита (высота обнажений до 50 м) сложена моноклинально залегающими (азимут падения 80–90°, угол падения 5–10°) туфоалевритами, туфодиатомитами, песками и алевритами, переслаивающимися с пепловыми прослоями и пачками тефроидов (рис. 2). Перекрывается подсвита аллювиально-озерными отложениями белозерских слоев верхнего плейстоцена ($\text{alQ}_{\text{III}}^3$) и лимническими фациями голоцена (lmQ_{IV}) [10].



Рис. 1. Схема расположения изученных разрезов

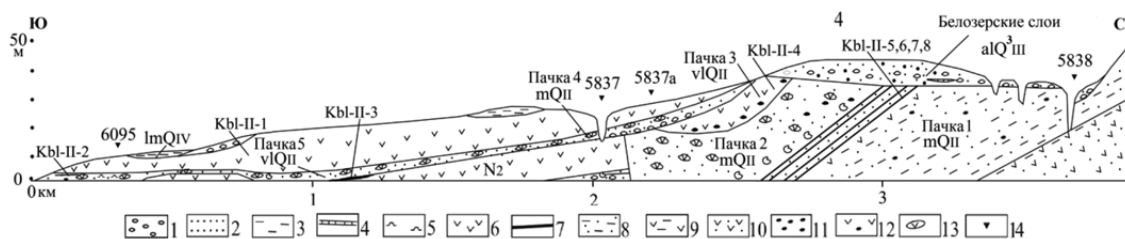


Рис. 2. Строение и состав верхней части головнинской свиты о-ва Кунашир (по [10] с небольшими изменениями): 1 – галька; 2 – песок; 3 – алеврит; 4 – торф; 5 – диатомит; 6 – туф; 7 – вулканический пепел; 8 – алеврит песчаный, 9 – туфоалеврит; 10 – туфопесчаник; 11 – пемзовая галька; 12 – пемзовый туф; 13 – вулканическая бомба; 14 – изученные разрезы

Литостратиграфия. В верхней под-свите выделено пять литологических пачек отложений:

Пачка 1 (mQII, разрез 5838 и вдоль основания клифа, мощность до 45 м) представлена переслаиванием алевритов и мелкозернистого песка с пемзовой галькой. Венчает кровлю пачки туфоалеврит мощностью до 2 м.

Пачка 2 (mQII, разрез 5837a по основанию клифа, мощность до 25 м) согласно залегает на отложениях пачки 1. Состоит из мелкозернистых песков с раковинами

морских моллюсков в основании. В нижней части пачки прослеживаются четыре слоя риолитового пепла (SiO_2 – 70,66-73,73%) толщиной 5–7 см – Kbl-II-5, 6, 7, 8.

Пачка 3 (vlQII, мощность до 16 м) согласно перекрывает отложения пачки 2 и представлена пемзовым туфом (Kbl-II-4). В нижней части пачки обильна хорошо окатанная галька дацитового состава (SiO_2 – 66,96, K_2O – 0,58%).

Пачка 4 (mQII, мощность до 6 м) не согласно перекрывает плиоценовые туфы и отложения пачек 2 и 3 (разрезы 5837, 6095)

и сложена мелкозернистым песком с галькой, переходящим к югу клифа в илистый песок. В подошве и кровле пачки лежат два слоя вулканического пепла дацит-риолитового состава Kbl-II-3 и Kbl-II-2 (толщина 0,5 м и 0,25 м).

Пачка 5 (vIQII, мощность до 20 м, разрезы 5837 и 6095) согласно перекрывает отложения пачки 4 и состоит из пемзового туфа Kbl-II-1 (SiO_2 – 1,99%) с низким содержанием K_2O (0,49–0,66%). Пачка 5 несогласно перекрыта лимническими отложениями голоцена (ImQIV).

Возрастная модель. По комплексу вымерших диатомей в среднем плейстоцене [10] (*Thalassiosira gravida* Cleve var. *fossilis* Jousé, *Th. nidulus* (Tempere et Brun) Jousé var. *nidulus*, *Th. jouseae* Akiba, *Actinocyclus ochotensis* var. *fossilis* Pushkar, *Proboscia curvirostris* (Jousé) Jordan et Priddle, *Stephanopyxis* (*Pxydicula*) *dimorpha* Schrader и встречаемости зонального вида *Proboscia barboi* (Brun) Jordan et Priddle изученные отложения относятся к диатомовой зоне *Proboscia barboi* с возрастом 0,55–0,28 млн лет [10]. Корректировать возраст позволяет комплекс силикофлагеллят *Paradictyocha polyactis* (Ehr.) Freng. f. *completa* Freng., *Distephanus speculum* (Ehr.) Haeckel var. *speculum*, *D. speculum* var. *septenarius* (Ehr.) Jorg., *D. octonarius* (Ehr.) Defl. var. *polyactis* (Jorg.) Gleser и *Dictyocha fibula* (Ehr.) var. *fibula* (в сумме 7%), встреченных в отложениях нижней части разреза 5800 (13,0–6,7 м). Это указывает на их формирование в пределах миндель-рисского межледниковья (424–374 тыс.л.н., МИС-11). Установлено также, что прослой Kbl-II-8 с высоким содержанием K_2O является региональным маркером среднего плейстоцена [10].

Биостратиграфия. Наиболее полно комплексы диатомей изучены в отложениях разреза 5800. В его основании (13–9,8 м от его подошвы) выходит пачка туфодиатомитов ($\text{SiO}_{2\text{аморф}}$ – 74,3%). Средняя часть разреза (9,8–5,0 м) сложена тефрогенными алевритами ($\text{SiO}_{2\text{аморф}}$ – 18,96%) с риолитовыми пепловыми прослоями толщиной до 4 см. Верхняя часть (1–5 м) представлена переслаиванием алевритов и песков с пемзой и прослоями дацитовых пеплов (толщина до 1–2 см). Кровля разреза характеризуется супесью и почвой (1–0 м). Пепловые прослои по химическому составу сопоставимы с пепловыми прослоями разрезов Головинского клифа (пеплы Kbl), что послужило основанием прямой корреляции комплексов диатомей разреза

5800 с комплексами пачек Головинского клифа [10].

Комплекс I (13,0–9,8 м) Доминируют планктонные *Actinocyclus curvatulus* Janisch (10,7%), *A. divisus* (Grunow) Hustedt (19%), а из сублиторальных обильны северо-бореальный *Delphineis kippae* Sancetta (12,3%) и южно-бореальный *Hyalodiscus obsoletus* Sheshukova-Poretskaya (33%). В отложениях встречены силикофлагелляты *Paradictyocha polyactis* (Ehr.) Freng. f. *completa* Freng., *Distephanus speculum* (Ehr.) Haeckel var. *speculum*, *D. speculum* var. *septenarius* (Ehr.) Jorg., *D. octonarius* (Ehr.) Defl. var. *polyactis* (Jorg.) Gleser и *Dictyocha fibula* (Ehr.) var. *fibula* (в сумме 7%). Важной чертой комплекса является высокая встречаемость южно-бореальных и субтропических океанических диатомей *Coscinodiscus asteromphalus* Ehrenberg, *C. radiatus* Ehrenberg и *C. perforatus* Ehrenberg (в сумме до 47,5%). Абсолютная численность створок диатомей в 1 г осадка достигает 20 млн.

Комплекс II (9,8–6,7 м). Вымершие виды составляют 6,7%. Среди аркто- и северо-бореальных диатомей доминируют неритические виды *Thalassiosira gravida* Cleve var. *gravida* (24%), *Th. kryophila* (Grunow) Jorgensen (7,7%), а среди сублиторальных – северо-бореальные *Paralia sulcata* (Ehrenberg) Cleve (9%) и *Delphineis kippae* Sancetta (17%), а также южно-бореальный *Hyalodiscus obsoletus* Sheshukova-Poretskaya (21%). Абсолютная численность створок диатомей в 1 г осадка колеблется в пределах 10–16 млн.

Комплекс III (6,7–5,0 м). Вымершие виды сохраняют численность 1–2%, остальные вымершие виды единичны. Структуру формируют неритические холодноводные *Thalassiosira gravida* Cleve var. *gravida* (11,7%), *Th. kryophila* (5%) (Grunow) Jorgensen, широкобореальная *Th. eccentrica* (Ehrenberg) Cleve (12,2%) и *Chaetoceros spp.* (6,3%) (споры). Сублиторальная группа представлена *Paralia sulcata* (Ehrenberg) Cleve var. *sulcata* (8,3%), *Delphineis kippae* Sancetta (15,3%), *Hyalodiscus obsoletus* Sheshukova-Poretskaya (21,6%). Абсолютная численность створок в 1 г осадка варьирует от 0,2 до 7 млн.

Комплекс IV (5,0–1,0 м). Вымерших видов около 2%. Доминируют сублиторальный южно-бореальный *Hyalodiscus obsoletus* Sheshukova-Poretskaya (36–60%), северо-бореальные *Paralia sulcata* (Ehrenberg) Cleve (18%), *Delphineis kippae* Sancetta (12,7%), а также океанические южно-боре-

альные и субтропические *Actinocyclus divisus* Grun.) Hustedt (8%), *Coscinodiscus asteromphalus* Ehrenberg (15,6%), *C. radiatus* Ehrenberg и *C. perforatus* Ehrenberg (в сумме до 17,2%). Следует отметить и участие тропического вида *Azpeitia nodulifera* (A. Sm.) G.A. Fryxell et Sims (2,2%). Из северо-бореальных диатомей заметны планктонные *Thalassiosira gravida* Cleve var. *gravida* (11,1%) и *Actinocyclus curvatulus* Janisch (7,3%). Абсолютная численность створок диатомей в 1 г осадка достигает 15 млн.

В этих отложениях встречены силикофлагелляты *Paradictyocha polyactis* (Ehr.) Freng. f. *completa* Freng., *Distephanus speculum* (Ehr.) Haeckel var. *speculum*, *D. speculum* var. *septenarius* (Ehr.) Jorg., *D. octonarius* (Ehr.) Defl. var. *polyactis* (Jorg.) Gleser и *Dictyocha fibula* (Ehr.) var. *fibula* (в сумме 7%).

В стратотипе головнинской свиты диатомей не столь обильны, как в отложениях разреза 5800 из-за участия в отложениях вулканического пирогенного материала, влияющего на концентрацию диатомей (до 3–4 млн створок в 1 г осадка). Лишь только отложения разрезов 5838 и 6095 содержат до 10–15 млн створок в 1 г осадка.

В разрезе 5838 (пачка 1, рис. 2) встречаются те же вымершие диатомей и силикофлагелляты, что и в отложениях разреза 5800. В нижней части (9,10–7,8 м от кровли) доминируют неритические *Thalassiosira gravida* Cleve var. *gravida* (14%) и *Bacterosira fragilis* (Gran) Gran (*Bacterosira bathyomphala* (Cleve) Syvertsen et Hasle) (10%). В средней части разреза (7,8–5,0 м) диатомей редки, а в верхней (5,0–2,0 м) значительная роль принадлежит стеногалинному планктону – *Coscinodiscus asteromphalus* Ehrenberg var. *asteromphalus* (12%), *C. radiatus* Ehrenberg (5,5%), *C. perforatus* Ehrenberg (4%). Зональный вид *Proboscia barboi* (Brun) Jordan et Priddle достигает численности 1,5–2%. Комплекс диатомей хорошо коррелируется с комплексом 1 разреза 5800.

В разрезе пачки 2 (5837а, рис. 2) Головинского клифа диатомей редки (0,2–2,5 млн створок в 1 г осадка) и представлены в основном сублиторальными диатомеями (82,7%), среди которых доминируют холодноводные сублиторальные *Paralia sulcata* var. *sulcata* (Ehrenberg) Cleve и *Paralia sulcata* var. *biseriata* Grunow (до 38%). Встречены и пресноводные диатомей родов *Navicula* Bory, *Pinnularia* Ehrenberg, *Aulacoseira* Thwaites, *Achnanthes* Bory (12,8%).

Отложения пачки 3 (пемзовый туф) диатомей не содержат.

Отложения пачки 4 изучены в разрезах 5837 и 6095. В разрезе 5837 вымершие диатомей единичны. Только *Proboscia barboi* (Brun) Jordan et Priddle достигает 2%. Доминантами комплекса (9,5–6,6 м от поверхности клифа) являются сублиторальные *Paralia sulcata* var. *sulcata* (Ehrenberg) Cleve и *Paralia sulcata* var. *biseriata* Grunow (в сумме до 86,8%). Встречены и умеренно-тепловодные сублиторальные *Hyalodiscus obsoletus* Sheshukova-Poretskaya, *Lyrella lyra* (Ehrenberg) Karajeva, *Actinocyclus octonarius* Ehrenberg, *Arachnoidiscus ehrenbergii* Ralfs (в сумме до 20%) и океанические *Actinocyclus curvatulus* Janisch, *Coscinodiscus radiatus* Ehrenberg (в сумме до 7,5%). Выше по разрезу диатомей очень редки.

В разрезе 6095 комплекс диатомей характеризуется высокой значимостью двух вымерших видов *Proboscia*: *P. curvirostris* (Jousé) Jordan et Priddle (12,5%) и *P. barboi* (Brun) Jordan et Priddle (7,5%). В его экологической структуре важную роль играют тропические и субтропические диатомей (в сумме до 29,8%): *Azpeitia nodulifera* (A. Schmidt) G.A. Fryxell et P.A. Sims, *Thalassiosira lineata* Jousé, *Th. oestrupii* (Ostenfeld) Proschkina-Lavrenko et Hasle (*Shionodiscus oestrupii* (Ostenfeld) A.J. Alverson, S.-H. Kang & E.C. Theriot), *Coscinodiscus asteromphalus* Ehrenberg, *C. radiatus* Ehrenberg и *C. perforatus* Ehrenberg. Абсолютная численность створок диатомей в 1 г осадка достигает 15 млн. Комплекс отражает более глубоководные отложения, чем разновозрастный комплекс разреза 5837.

Палеогеографическая интерпретация. Формирование среднеплейстоценовых толщ о. Кунашир сопровождалось сильными выбросами пирокластиков. Активная вулканическая деятельность происходила синхронно с вулканами о. Хоккайдо и обусловила высокие скорости седиментации, что способствовало формированию мощных вулканогенно-осадочных толщ, запечатлевших в себе как этапы вулканической активности, так и палеоклиматические изменения и колебания уровня моря [10].

Согласно возрастной модели выделенные комплексы диатомей укладываются во временной диапазон 11-9 МИС зоны *Proboscia barboi*. Комплексы, соответствующие МИС-11, установлены в разрезе 5800. Для них характерно присутствие зональных вымерших видов (6–7%) и морских планктонных субтропических и тропических

диатомей (43–51%). Если учесть, что современные ассоциации диатомей в этом тихоокеанском регионе содержат 17% тепловодных видов (среднегодовая температура поверхностных вод составляет 7°C), то следует допустить, что среднегодовая температура вод времени формирования отложений МИС-11 была на 8–10° выше современной [10]. Отложения средней части разреза (комплекс III) характеризуются падением численности тепловодных диатомей и снижением количества створок в 1 г осадка до 0–0,2 тыс. створок, что указывает на похолодание климата и свидетельствует о колебании палеоклиматических параметров в течение самой МИС-11, что соответствует и глобальной климатической ритмике [1]. Аналогичные изменения комплексов отражены в отложениях пачки 1 в разрезе 5838, имеющие хорошую корреляцию по вулканическим пепловым прослоям с отложениями разреза 5800 [10].

Отложения пачек 2–3 содержат сублиторальные диатомей (82,7%), среди которых доминируют холодноводные сублиторальные *Paralia sulcata* var. *sulcata* (Ehrenberg) Cleve и *Paralia sulcata* var. *biseriata* Grunow (до 38%), свидетельствуют о холодных климатических условиях на фоне регрессии моря. О близости береговой линии свидетельствуют пресноводные диатомей (12,8%). Диатомовый комплекс пачки 4 (разрез 5837 и 6095) отражает новую волну потепления и сопоставляется с МИС-9. Судя по участию тепловодных диатомей (29,8) температура поверхностных водных масс в районе формирования осадков могла быть выше современной на 3–5°.

В разрезе 5800 зафиксирована трансгрессивная серия отложений МИС-11. Судя по экологической структуре комплекса (около 50% неритических и океанических видов), подобные комплексы начинают формироваться на глубинах около 50 м. Такая же ситуация отмечается и для комплекса диатомей разреза 5838. Кровля пачки 1 лежит на высоте 50 м. Если учитывать тектонический подъем океанического берега о. Кунашир в 0,3 мм в год [10], то глубина формирования отложений МИС-11 должна была составлять около 70 м. Следовательно, можно предположить, что уровень моря 400 тыс. л.н. был не менее чем на +20 м выше современного. Учитывая, что отложения разреза 5837 содержат в основном сублиторальный комплекс диатомей (91,5%) с абсолютным доминированием *Paralia sulcata* var. *sulcata* (Ehrenberg)

Cleve и *Paralia sulcata* var. *biseriata* Grunow (в сумме до 86,8%) можно предположить о его формировании в пределах шельфа на глубинах не менее 20 м [11, 15]. В этом случае трансгрессия не была столь значительной, как во время МИС-11, и уровень моря не превышал значений +5 м по сравнению с современным. Одновозрастный комплекс разреза 6095 формировался в более глубоких зонах шельфа.

Заключение

МИС-11 является необычайно длинный межледниковый период, характеризующийся слабыми орбитальными изменениями и соответственно в распределении инсоляции. Но комплексы диатомей отложений МИС-11 отражают достаточно высокие среднегодовые температуры поверхностных вод (выше современных на +10°C, следовательно, была и другая причина, повлиявшая на столь теплые климатические условия высокое положение береговых линий за счет изменения объема вод Мирового океана за счет коллапсирующего таяния ледниковых покровов планеты. Иная климатическая ситуация отражена в диатомовых комплексах отложений МИС-9, причиной которой были именно инсоляционные изменения, связанные с орбитальными параметрами. Различия в палеоклиматическом режиме и положении береговых линий между двумя стадиями, по-видимому, связаны с влиянием концентрации CO₂, обеспечивающего парниковый эффект. Но глобальные углеродные циклы, скорее всего, имеют собственную реакцию на изменения орбитального характера и собственную историю, которая не вызвана ледниковой периодичностью как первопричиной.

Вполне допустимо, что изменение палеопродуктивности диатомовых водорослей как фотосинтетиков может соответствовать этим углеродным циклам и изменение концентрации створок диатомей в отложениях Мирового океана может служить одним из критерием для определения относительных изменений CO₂ в атмосфере геологического прошлого.

Список литературы / References

1. Lisiecki L.E., Raymo Maureen E.A. Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic $\delta^{18}O$ records. *Paleoceanography*. 2005. vol. 20. no. PA1003. P. 1–17. DOI: 10.1029/2004PA001071.
2. Большаков В.А. Проблема межледниковой 11-й морской изотопной стадии с позиций новой концепции орбитальной теории палеоклимата // *Океанология*. 2010. Т. 50. № 2. С. 236–247.

- Bolshakov V.A. The problem of the interglacial 11th marine isotope stage from the standpoint of a new concept of the orbital theory of paleoclimate. *Oceanology*. 2010. T. 50. № 2. P. 215–225. DOI: 10.1134/S0001437010020074.
3. Большаков В.А. Связь глобальных колебаний климата в плейстоцене с вариациями орбитальных параметров Земли // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2014. Т. 22. № 5. С. 97–112. DOI: 10.7868/S0869592X14050044.
- Bolshakov V.A. The relationship of global climate fluctuations in the Pleistocene with variations in the Earth's orbital parameters // *Stratigraphiya. Geologicheskaya korrelyatsiya*. 2014. V. 22. № 5. P. 97–112 (in Russian).
4. Rohling E.J., Braun K., Grant K., Kucera M., Roberts A.P., Siddall M., Trommer G. Comparison between Holocene and Marine Isotope Stage-11 sea-level histories. *Earth and Planetary Science Letters*. 2010. vol. 291. P. 97–105. DOI: 10.1016/j.epsl.2009.12.054.
5. Raymo M.E., Mitrovica J.X. Collapse of polar ice sheets during the stage 11 Interglacial. *Nature*. 2012. vol. 483. P. 453–456. DOI: 10.1038/nature10891.
6. Loutre M.F. Clues from MIS 11 to predict the future climate – a modeling point of view. *Earth and Planetary Science Letters*. 2003. vol. 212. P. 213–224. DOI: 10.1016/S0012-821X(03)00235-8.
7. Yin Q.Z., Berger A. Insolation and CO₂ contribution to the interglacial climate before and after the Mid-Brunhes Event. *Nature Geoscience*. 2010. vol. 3. no. 4. P. 243–246. DOI: 10.1038/ngeo771.
8. Yin Q., Berger A. Individual contribution of insolation and CO₂ to the interglacial climates of the past 800,000 years. *Climate Dynamics*. 2012. vol. 38. P. 709–724. DOI: 10.1007/s00382-011-1013-5.
9. Olson Storrs L., Hearty Paul J. A sustained +21 m sea-level highstand during MIS 11 (400 ka): direct fossil and sedimentary evidence from Bermuda. *Quaternary Sci. Rev.* 2009. vol. 28, no. 3-4. P. 271–285. DOI: 10.1016/j.quascirev.2008.11.001.
10. Пушкарь В.С., Разжигаева Н.Г. Головинская свита плиоцена-плейстоцена о. Кунашир (Курилы): стратиграфия и условия формирования // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2003. Т. 11. № 5. С. 82–94.
- Pushkar V.S., Razjigaeva N.G. The Pliocene-pleistocene Golovnin Formation of Kunashir Island (the Kuriles): Stratigraphy and formation conditions. *Stratigraphy and Geological Correlation*. 2003. T. 11. № 5. P. 492–504.
11. Bowen D.Q. Sea level 400000 years ago (MIS 11): analogue for present and future sea-level? *Climate of the Past*. 2010. vol. 6. P. 19–29. DOI: 10.5194/cp-6-19-2010.
12. Hearty P.J. Comment on «Sea level 400 000 years ago (MIS 11): analogue for present and future sea-level?» by D.Q. Bowen (2010). Can the extrapolation of uplift rates from MIS 5e shorelines to MIS 11 replace direct and tangible evidence of the latter's sea-level history? *Climate of the Past*. 2010. v. 6. P. 295–305. DOI: 10.5194/cpd-6-295-2010.
13. Hearty Paul J., Olson Storrs. L. Mega-highstand or megatsunami? Discussion of McMurtry et al. (Elevated marine deposits in Bermuda record a late Quaternary megatsunami: *Sedimentary Geology*. 200 (2007) 155–165). *Sedimentary Geology*. 2008. vol. 203 P. 307–312. DOI: 10.1016/j.sedgeo.2007.08.001.
14. Пушкарь В.С., Черепанова М.В., Тарасова Е.В. Условия формирования отложений морской изотопной стадии 5 Берингоморской Субарктики // Успехи современного естествознания. 2018. № 9. С. 78–82. DOI: 10.17513/use.36870.
- Pushkar V.S., Cherepanova M.V., Tarasova E.V. Condition of the Bering Sea Subarctic deposition of Marine Isotope Stage 5 // *Advances in current natural sciences*. 2018. № 9. P. 78–82 (in Russian).
15. Gebühr Christina, Wiltshire Karen H., Aberle Nicole, Beusekom Justus E. E. van, Gerdtz Gunnar. Influence of nutrients, temperature, light and salinity on the occurrence of *Paralia sulcata* at Helgoland Roads, North Sea. *Aquatic Biology*. 2009. vol. 7. P. 185–197. DOI: 10.3354/ab00191.