

КОНЕЧНАЯ МОРЕНА И ОЗЕРНО-ЛАГУННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ В РАЗРЕЗЕ ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОАЗИСА ХОЛМЫ ЛАРСЕМАНН, ВОСТОЧНАЯ АНТАРКТИДА

канд. геол.-минерал. наук Н.Э.ДЕМИДОВ¹, д-р геогр. наук С.Р.ВЕРКУЛИЧ²,
канд. геогр. наук О.В.ЗАНИНА¹, инженер Е.С.КАРАЕВСКАЯ¹,
канд. геол.-минерал. наук З.В.ПУШИНА², канд. геол.-минерал. наук Е.М.РИВКИНА¹,
инженер Д.Г.ШМЕЛЕВ³

¹ – ФГБУН Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, г. Пушкино, e-mail: nikdemidov@mail.ru

² – ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, e-mail: verkulich@aari.nw.ru

³ – МГУ им. М.В.Ломоносова, г. Москва

Геологический разрез четвертичных отложений мощностью до 11 м на полуострове Брокнесс в оазисе Холмы Ларсеманн (Восточная Антарктида) был изучен путем колонкового бурения и последующего комплексного лабораторного анализа кернов. Верхняя толща мощностью до 5 м представляет собой конечную морену, маркирующую границу последнего оледенения. Нижняя толща имеет мощность до 6 м и интерпретируется как озерно-лагунные отложения, образованные в условиях смешивания морской и пресной воды. Кровля озерно-лагунных отложений находится в настоящее время на высоте около 30 м над уровнем моря, что является свидетельством тектонического поднятия территории оазиса или падения уровня моря с момента образования данных отложений.

Ключевые слова: Холмы Ларсеманн, Восточная Антарктида, Последний ледниковый максимум, керны четвертичных отложений, геохимический анализ, диатомовый анализ, палеогеографическая реконструкция.

ВВЕДЕНИЕ

История динамического взаимодействия в системе ледниковый щит Антарктиды–шельфовые моря–свободные ото льда окраинные участки суши (оазисы) имеет большое значение для реконструкции эволюции южной полярной области Земли в четвертичное время. Хотя антарктические оазисы являются самыми малыми по площади компонентами этой системы, в разрезах их рыхлых отложений содержится важная информация об изменениях уровня моря и антарктического оледенения. Во время Последнего ледникового максимума (ПЛМ) оазисы в основном перекрывались ледниковым покровом, который снес с них большую часть плейстоценовых отложений. Тем более ценны для палеогеографов находки остатков толщ таких отложений на окраинах шестого континента. Одной из территорий, где они сохранились, является оазис Холмы Ларсеманн (Восточная Антарктида), расположенный на берегу залива Прюдс между шельфовым ледником Эймери и оазисом Вестфолль (рис. 1). На участках суши оазиса общей площадью около 40 км² размещается порядка 150 озер, осадки которых были объектом предшествующих палеолимнологических ис-

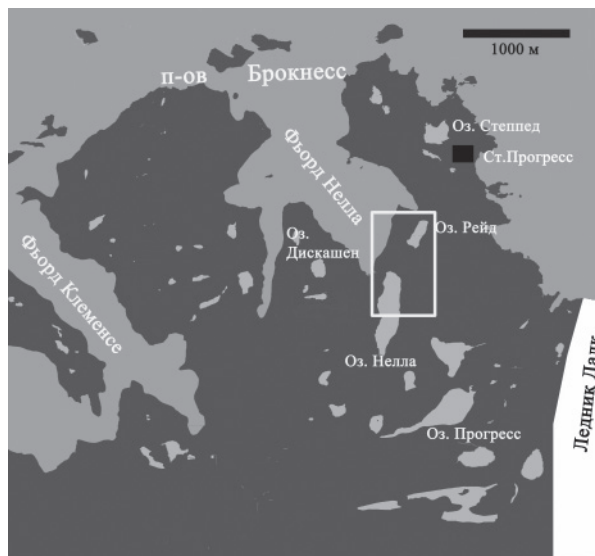


Рис. 1. Полуостров Брокнесс, оазис Холмы Ларсеманна. Белый прямоугольник показывает район проведения работ.

следований. Полученные значения датировок возраста осадков (от современного до 40000 л.н.) показали, что как минимум часть оазиса не была затронута оледенением во время ПЛМ [Burgess et al., 1994; Hodgson et al., 2001, 2005, 2006]. Более того, в отдельных низкорасположенных по отношению к морю озерах были обнаружены осадки возрастом 26650–28750 л.н., которые накапливались в озерно-морских условиях и свидетельствуют о подъеме относительного уровня моря в районе во время морской изотопной стадии (МИС) 3 [Hodgson et al., 2009].

В 2011–2012 гг. в Холмах Ларсеманн нами были проведены буровые работы, в результате которых удалось отобрать керны из геологического разреза с максимальной известной мощностью четвертичных отложений. Лабораторные исследования кернов (анализы водной вытяжки, метана и углерода, расчет коэффициента криогенной контрастности, диатомовый анализ и анализ ископаемых микрофоссилий) были нацелены на выявление генезиса выделенных здесь литологических разностей. Полученные данные и их интерпретация излагаются в статье.

МЕСТО И МЕТОДИКА ПОЛЕВЫХ РАБОТ

Полевые работы проводились с декабря 2011 г. по февраль 2012 г. в составе 57-й Российской антарктической экспедиции. В качестве района бурения был выбран перешеек озер Рейд и Нелла (см. рис. 1), где геоморфологические наблюдения указали на возможную максимальную мощность дисперсных четвертичных отложений. Озера и перешеек лежат в одной тектонической депрессии, вытянутой с юга на север (рис. 2). Поверхность перешейка линейно поднимается от озера Нелла (15 м над уровнем моря) к озеру Рейд (30 м над уровнем моря). В северной части перешейка, вдоль южного берега озера Рейд протягивается гряда с признаками морены. Относительное превышение гряды над уровнем озера Рейд составляет 4 м. Буровые скважины 1 и 2 расположены на этой гряде. Восточный и западный скальные борта депрессии достаточно круто поднимаются над озерами на высоту до 100 м. В западном борту есть

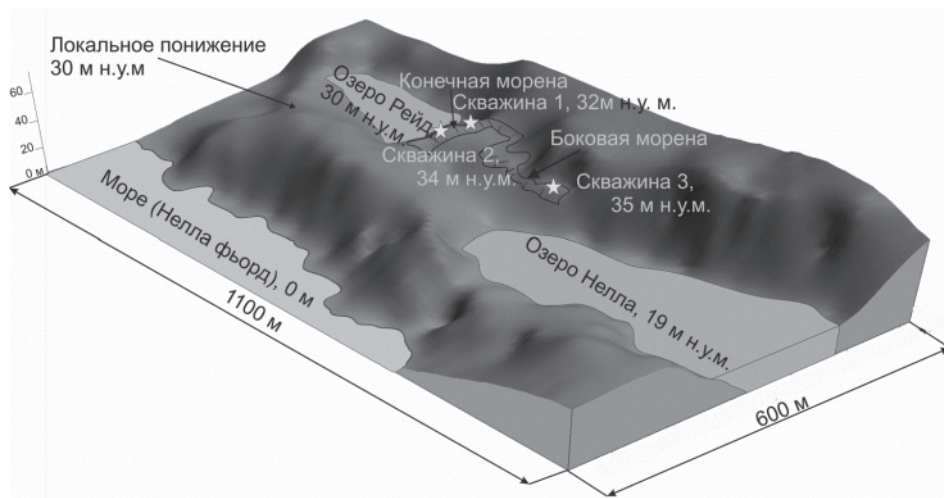


Рис. 2. Блок-схема района работ.

несколько локальных понижений, через которые происходит слив воды из озер Рейд и Нелла. На восточный борт долины прилегает мореноподобная боковая терраса, на которой располагается скважина 3.

Бурение велось буровой установкой УКБ-12/25 «всухую», без промывки и продувки, что обеспечило сохранение мерзлого состояния кернов для их корректного литологического описания и предотвращения их химической и биологической контаминации. При бурении мерзлых дисперсных пород применялись колонковые трубы с твердосплавными коронками. При достижении скального основания коронки сменялись на шарошечные долота, которыми осуществлялась проходка как минимум 0,5 м скальной породы для уверенного установления границы дисперсные/скальные породы. Встреченные в разрезе отдельные валуны скальных пород также проходились с помощью шарошек.

Керны поднимались на поверхность через каждые 30–70 см проходки, после литологического описания они в мерзлом виде помещались в морозильную камеру. С этого момента вплоть до доставки в лаборатории керны хранились при постоянной отрицательной температуре.

МЕТОДЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Анализ водной вытяжки. Анализ содержания водорастворимых солей в отложениях проводился по стандартной методике [Аринушкина, 1970]. Соли извлекали добавлением воды в соотношении 1 к 5 по отношению к массе образца. Величину pH водной вытяжки определяли потенциометром (pH-метр Mettler TOLEDO, Seven Easy pH, Швейцария). Сухой остаток определяли выпариванием аликвоты водной вытяжки. Щелочность, обусловленную ионами HCO_3^- , определяли титрованием аликвоты водной вытяжки 0,02 н. H_2SO_4 , ионы Cl^- – аргентометрическим методом (по Мору), ионы SO_4^{2-} – гравиметрическим методом, Ca^{2+} и Mg^{2+} – комплексонометрическим методом, K^+ и Na^+ – методом фотометрии пламени (Пламенный фотометр BWB-XP Perfomance Plus, BWB-Technologies, Великобритания).

Коэффициент криогенной контрастности. Для определения палеомерзлотных условий и интенсивности процессов криогенного выветривания был рассчитан коэф-

коэффициент криогенной контрастности (ККК) – соотношение полевых шпатов и кварца в различных тонких фракциях отложений. Метод расчета ККК основан на разной устойчивости таких породообразующих минералов, как кварц и полевые шпаты, к многочисленным циклам промерзания–оттаивания. Известно, что процессы криогенного выветривания приводят к накоплению кварца и полевых шпатов в разных гранулометрических фракциях (0,05–0,01 мм и 0,1–0,05 мм соответственно) [Конищев, 1981]. Этот процесс выборочного разрушения может быть оценен по формуле [Konishchev, Rogov, 1993]:

$$\text{ККК} = (Q_1/F_1)/(Q_2/F_2), \quad (1)$$

где Q_1 – содержание кварца в фракции крупной пыли (%); F_1 – содержание полевых шпатов в фракции крупной пыли (%); Q_2 – содержание кварца в фракции тонкого песка (%); F_2 – содержание полевых шпатов в фракции тонкого песка (%).

Значения ККК больше 1,0 свидетельствуют об интенсивном влиянии криогенных процессов и выветривания в процессе накопления и промерзания отложений. Для принятия соответствующего характера распределения минералов необходимо, чтобы отложения находились не менее 2500 лет в зоне влияния криогенеза [Конищев и др., 2005]. При этом процессы криогенного выветривания, связанные с циклами промерзания–оттаивания, происходят только в деятельном слое. Таким образом, значения ККК могут служить индикатором скорости и условий промерзания и осадконакопления [Конищев, 1999]. Минеральный состав определялся в 8 образцах для фракций 0,1–0,05 и 0,05–0,01 мм с помощью рентгенофазового анализа [Ehrmann et al., 1992; Vogt, 1997] на приборе «Дрон-3м».

Определение содержания метана и углерода. Дегазация образцов для определения концентрации метана осуществлялась в полевых условиях непосредственно после получения кернов методом «head space» [Alperin, Reeburgh, 1985] в шприцах емкостью 150 мл. Газовая фаза перемещалась во флаконы для дальнейшего анализа. Содержание метана в пробах определялось в лаборатории на газовом хроматографе ХПМ-4 (Россия), оборудованном пламенно-ионизационным детектором [Ривкина и др., 2006]. Общее содержание углерода определялось на аппарате АН 752 У (Россия). Сжигание образца осуществлялось при температуре 1100 °С в токе кислорода с последующим потенциометрическим титрованием. Все анализы проводились в трехкратной повторности.

Изучение микрофоссилий. Для анализа были взяты 10 образцов мерзлых кернов. Образец массой 20 г, взятый методом квартования, кипятили в 10 % HCl, освобождали от ила отмучиванием и затем обогащали в тяжелой жидкости, с плотностью 2,2–2,3 г/см³. Полученная легкая фракция (остатки эпидермиса, детрит, фитолиты, спиккулы губок, панцири диатомовых водорослей и т.д.) просматривалась на препаратах с глицерином на микроскопе Carl Zeiss при увеличении ×100, ×400, с применением фазового контраста. Фототаблицы были сделаны с помощью электронного микроскопа Vega3 Tescan.

Диатомовый анализ. В соответствии с методикой подготовки препаратов [Диатомовые водоросли, 1974] образцы помещались в раствор пиррофосфата натрия ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \times 10\text{H}_2\text{O}$) и отмывались в дистиллированной воде. Затем проводилось центрифугирование с использованием тяжелой кадмиевой жидкости с удельным весом 2,3 в течение 10 мин со скоростью 2500 об/мин. Всплывшую легкую фракцию с диатомеями отмывали от тяжелой жидкости. Препараты заключали в специальную

среду Эльяшева (с показателем преломления $n = 1,67-1,68$) на предметных стеклах. Просмотр диатомовых и их видовые определения производились на микроскопе Amplival Carl Zeiss Jena (увеличение $\times 1500$).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Литология. Скважинами 1, 2 и 3 были вскрыты (рис. 3): верхняя литологическая фация (далее по тексту верхняя толща), нижняя литологическая фация (далее по тексту нижняя толща), скальные породы и два различных вида грунтовых льдов (мутный и белый лед).



Рис. 3. Геологический разрез с указанием места отбора образцов, содержания углерода и метана.

Максимальная мощность верхней толщи составляет 5,5 м (скважина 2). Она сложена крупным и средним песком бурого или серого цвета с массивной криотекстурой. Верхние 1–2 м толщи содержат большое количество крупных обломков скальных пород (около 30 % по объему), которые выходят и на дневную поверхность. Диаметр обломков достигает 4 м. Камни имеют хаотическую ориентировку и, по-видимому, были принесены из различных мест, так как они не всегда петрографически идентичны слагающим борта долины горным породам.

Мутный грунтовый лед был вскрыт только в скважине 1 на глубине от 1,2–2,1 м. Для его верхней части характерна незначительная примесь песка и гравия, тогда как нижняя часть представляет собой ледогрунт с долей песка и гравия около 50 %. В скважине 1 мутный лед разделяет верхнюю и нижнюю толщи.

Нижняя толща залегает на скальных породах. Она представлена серыми и черными песками и супесями с небольшой примесью глинистых частиц. Отмечается чередование слоев толщиной в несколько десятков сантиметров с более высоким содержанием глинистых минералов (имеют черный цвет) и более низким (серый цвет). Встречаются единичные крупные обломки, доля гравийных частиц может достигать 20 % от объема. В отдельных прослоях видна косая слоистость с углом наклона около 45° по отношению к горизонту, которая подчеркивается либо прослоями красного цвета, сложенными зернами граната, либо косыми шлирами льда толщиной до 0,5–1,0 см. В большинстве случаев керны из данной толщи имели сильный запах органики.

Чистый белый лед был обнаружен в скважине 2 на глубинах 6,8–7,1 м. Он отличается от мутного льда из скважины 1 цветом и отсутствием примесей.

Состав водорастворимых солей. pH водной вытяжки обеих толщ отложений незначительно отличается и характеризуется слабокислыми значениями от 5,8 до

6,4 (табл. 1). В верхней и нижней толще в анионах преобладают Cl^- и SO_4^{2-} . Проведенный анализ показал различие изучаемых толщ по величине сухого остатка водной вытяжки: 0,04–0,08 весовых % в верхней толще и 0,08–0,18 весовых % в нижней толще. Исходя из полученных значений, по почвенной классификации верхняя толща является незасоленной, а нижняя – слабой степени засоленности [Классификация и диагностика почв СССР, 1970].

Таблица 1

Характеристика водной вытяжки

Индекс образца	Состав водной вытяжки (1:5), мг-экв/100 г сухого образца							Сухой остаток, весовой, %	рН	
	HCO_3^-	Cl	SO_4	Ca	Mg	K	Na			
Верхняя толща	1A1	0,075	0,25	0,196	0,025	0,075	0,014	0,11	0,04	6,28
	1A2	0,075	0,2	0,162	0,05	0,075	0,041	0,043	0,08	6,4
	2A1	0,075	0,2	0,145	0,05	0,075	0,028	0,28	0,08	6,3
	2A2	0,1	0,2	0,102	0,025	0,05	0,039	0,039	0,08	6,7
Нижняя толща	1B1	0,075	0,225	0,213	0,075	0,15	0,088	0,093	0,08	6,2
	2B1	0,05	0,325	0,274	0,125	0,3	0,057	0,113	0,13	5,9
	2B2	0,05	0,425	0,693	0,325	0,55	0,073	0,198	0,17	5,8
	2B3	0,075	0,275	0,342	0,1	0,2	0,056	0,139	0,09	6,1
	2B4	0,05	0,45	1,198	0,525	0,3	0,155	0,384	0,18	5,8
	3B1	0,075	0,225	0,402	0,125	0,25	0,069	0,148	0,15	6,0

Коэффициент криогенной контрастности. Результаты расчета ККК для образцов из верхней толщи показали значения от 0,1 до 0,9, при среднем значении 0,6 (табл. 2). Для нижней толщи значения ККК изменяются от 0,8 до 1,6, при среднем значении 1,3. Максимальные значения ККК в этой толще обнаружены на глубине 6,3–6,5 м, в 1,5–1,7 м от кровли (сразу над грунтовым льдом), а минимальные приурочены к глубине 7,6 м.

Таблица 2

Содержание кварца и полевых шпатов (% от общего числа зерен) и значения ККК

Индекс образца	Глубина, м	Фракция, мкм	Кварц	Полевые шпаты	ККК	
Верхняя толща	1A1	100–50	21	34	0,1	
		50–10	5	55		
	2A1	100–50	50	45	0,9	
		50–10	47	48		
2A2	2	100–50	38	29	0,9	
		50–10	45	38		
Нижняя толща	1B1	6,5	100–50	25	63	1,5
		50–10	29	49		
	2B2	6,7	100–50	20	58	1,6
			50–10	21	38	
	2B3	7,6	100–50	36	35	0,8
			50–10	26	33	
	2B4	9,6–9,8	100–50	13	30	1,4
			50–10	27	46	
3B1	7,0–7,5	100–50	41	41	1,3	
		50–10	29	23		

Содержание метана и углерода. Из результатов анализов следует (см. рис. 3), что во всех скважинах верхняя толща содержит на порядок меньше общего углерода (0,044–0,19 %), чем залегающие ниже отложения (1,02–1,68 %). В нижней толще метан содержится в концентрации от 5 до 44 мкмоль/кг, тогда как в верхней толще он не обнаружен.

Разнообразие микрофоссилий. Исследованные образцы можно разделить на две группы. Образцы 1A1, 1A2, 2A1, 2A2 (см. рис. 3) содержат много минеральной массы, угловатые частицы 20–50 мкм, мелкий бесструктурный детрит, много мелких обломков губок размером не более 15 мкм. В другой группе образцы 1B1, 2B1, 2B2, 2B3, 2B4, 3B1. Мацерат образцов темный и содержит в значительных количествах остатки спикул губок, створок диатомей и остатки тканей мхов. На фоне общего повышенного содержания органических остатков встречены крупные частицы (50–100 мкм), с хорошо различимой клеточной структурой. Растительные ткани представлены в основном остатками зеленых мхов: мхи больших родов *Drepanocladus* sp., *Polytrichum* sp., *Bryum* sp. семейств *Bryaceae*, *Polytrichaceae*, *Amblystegiaceae* подкласса *Bryidae*. Эти мхи широко распространены в экотопах от Арктики до Антарктики, в основном напочвенные, наскальные, эпифитные и водные.

Исследование диатомовых водорослей. В исследованных образцах обнаружены ископаемые диатомовые водоросли (9 пресноводных и 16 морских видов), 1 вид десмидиевых водорослей (*Desmidiaceae*), споры золотистых водорослей (*Chrysophyta*) (табл. 3). Морские диатомовые водоросли с относительно невысокими количественными оценками обнаружены в нижней толще образца 2B4 из основания скважины 2. Диатомеи представлены целыми створками *Podosira antarctica*, *Paralia sulcata*, *Thalassiosira gracilis*, спорами *Chaetoceros* sp., фрагментами створок других 12 видов, в том числе и единичными створками пресноводного вида *Gomphonema angustatum/parvulum*. Морской бентосный диатомовый вид *Podosira antarctica* был описан как новый таксон [Гогорев, Пушина, 2011] из отложений среднего-позднего миоцена массива Фишера (горы Принс-Чарльз, Восточная Антарктида). С применением электронной микроскопии детально изучены морфометрические характеристики вида, который ранее идентифицировался как *Hyalodiscus obsoletus Sheshukova* [Layba, Pushina, 1997]. Эти диатомовые также были обнаружены нами в плейстоценовых отложениях оазиса Вестфолль (Восточная Антарктида), острова Кинг-Джордж (Южные Шетландские острова), в донных голоценовых отложениях морского залива оазиса Бангера (Восточная Антарктида).

Виды рода *Chaetoceros* в изобилии встречаются в прибрежных районах Антарктики и отражают высокую первичную продуктивность и стабильные гидрологические условия [Stockwell, 1991]. Согласно Э.Левентер [Leventer, 1992], присутствие спор *Chaetoceros* может рассматриваться как показатель присутствия морского льда.

Другие образцы из нижних частей скважин 1, 2 и 3 содержат редкие фрагменты створок морских диатомей. В образце 2B2 диатомовые водоросли не обнаружены.

Ископаемые пресноводные диатомовые водоросли были выявлены главным образом в верхних частях скважин 1 и 2. В образцах 1A2 и 2A1 обнаружены пресноводные бентосные диатомеи *Gomphonema angustatum/parvulum*, *Psammothidium* aff. *abundans*, *P.* aff. *metakryophilum* и другие эпифиты. Створки диатомового вида *Gomphonema angustatum/parvulum* в основном сконцентрированы на маленьких органических фрагментах. В образце 1A2 установлены хорошо сохранившиеся

Встречаемость диатомовых водорослей в кернах в оазисе Холмы Ларсемани

	Скважина 1					Скважина 2					Скважина 3	
	Индекс образца											
	1B1	1A2	1A1	2B4	2B3	2B2	2B1	2A2	2A1	3B1		
Диатомовые водоросли												
Пресноводные и пресноводно-соленоводные виды												
<i>Cavinula cocconeiformis</i> (Gregory) Mann and Stickle		r								r		
<i>Diadesmis</i> sp.		r								r		
<i>Gomphonema angustatum</i> (Kützing) Rabenhorst/parvulum (Kützing) (Kützing)		f		r						f		
<i>Hantzschia amphioxys</i> (Ehrenberg) Grunow		r								r		
<i>Luticola muticopsis</i> (Kützing) Mann		r								f		
<i>Psammodidium</i> aff. <i>abundans</i> (Manguin) Bukhtiyarova and Round		r								r		
<i>P.</i> aff. <i>metakryophilum</i> (Lange-Bertalot and Schmidt) Sabbe		r								r		
<i>Pinnularia cymatopleura</i> West and West		r								r		
<i>Stauriforma inermis</i> Flower, Jones and Round												
Морские виды												
<i>Chaetoceros</i> sp.												
<i>Cocconeis costata</i> var. <i>antarctica</i> Manguin				r						fr		
<i>Cocconeis fasciolata</i> (Ehrenberg) Brown			fr		fr					fr		
<i>Diploneis</i> sp.	fr											
<i>Ellerbeckia fisheriensis</i> Gogorev et Pushina				r						fr		
<i>Eucampia antarctica</i> (Castracane) Manguin				r						fr		
<i>Fragilariopsis kerguelensis</i> (O'Meara) Hustedt				fr						fr		
<i>Paralia sulcata</i> (Ehrenberg) Kützing				r						fr		
<i>Podosira antarctica</i> Gogorev et Pushina				r						fr		
<i>Stellarima microtrias?</i> (Ehrenberg) Hasle et Sims				fr								
Sp. sp. (=Genus and species undetermined, Brady, 1979, p. 1.5, fig. 19)				fr								
<i>Thalassiosira gracilis</i> (Karsten) Hustedt				r								
<i>Thalassiosira lentiginosa</i> (Janisch) Fryxell				fr						fr		
<i>Thalassiothrix</i> sp.				fr								
<i>Trachyneis aspera</i> (Ehrenberg) Cleve			fr									fr
<i>Trigonium</i> sp.			fr									fr
Centricae			fr									
Pennatae												
Desmidiaceae												
<i>Cosmarium subtumidum</i> Nordstedt											x	
Chrysophyceae statospores											x	

Примечание. f (нередко) – около 20–30 экземпляров в препарате; r (редко) – 10–15 экземпляров; fr – фрагменты створок диатомовых водорослей.

створки пресноводных бентосных диатомей, немногочисленные покоящиеся споры золотистых водорослей (Chrysophyta) и единично встречены десмидиевые водоросли *Cosmarium subtimidum*. В комплексе диатомей доминируют пресноводные бентосные виды *Psammothidium* aff. *abundans*, *P.* aff. *metakryophilum*, *Cavinula cocconeiformis*, *Gomphonema angustatum/parvulum*. Антарктические эндемики *Psammothidium abundans* и *P. metakryophilum* – типичные пресноводные представители современного бентоса маленьких озер оазиса Холмы Ларсеманн и озер на островах в Западной Антарктике [Schmidt et al., 1990; Roberts, McMinn, 1999; Sabbe et al., 2003; Hodgson et al., 2005]. Также эти виды установлены в голоценовых отложениях пресных и солоноватых озер Антарктики, в том числе и озера Рейд в оазисе Холмы Ларсеманн. Пресноводный космополитный вид *Cavinula cocconeiformis* обитает в озерах Шпицбергена в воде с показателем pH 5,9 [Jones, Birks, 2004]. В исследованных образцах часто встречаются пресноводные бентосные виды диатомей *Pinnularia cymatopleura* и *Stauroforma inermis*. В соответствии с [Sabbe et al., 2003], *S. inermis* является доминирующим видом в диатомовых комплексах пресных и солоноватых озер Холмов Ларсеманн.

ОБСУЖДЕНИЕ

Верхняя толща – отложения конечной и боковой морены. Интерпретация отложений верхней толщи как отложений конечной и боковой морены обусловлена главным образом геоморфологическими и литологическими свидетельствами. U-образная долина озер Рейд и Нелла вместе с грядой, на которой пробурены скважины 1 и 2, а также террасой, на которой расположена скважина 3, имеют сильное сходство с ледниковой долиной. Гряда интерпретируется нами как конечная морена, а терраса как боковая морена. Крупные каменные обломки различных магматических и метаморфических пород с хаотической ориентацией и различной степенью выветрелости на поверхности гряды подтверждают этот вывод. В качестве дополнительных доказательств можно рассматривать отсутствие метана и низкое содержание углерода. Значения ККК ниже 1, полученные для образцов из верхней толщи, также согласуются с единовременным отложением и замерзанием. Вывод о том, что отложения верхней толщи являются мореной, не находит противоречия и в результатах анализа микрофоссилий, который показал здесь угловатый характер песчаных частичек и невысокое количество органического материала.

Нижняя толща – озерно-лагунные отложения. Вскрытые в трех скважинах отложения нижней толщи интерпретируются нами как озерно-лагунные. Это подтверждается при сравнении результатов лабораторных исследований. Практически во всех изученных образцах отложений нижней толщи (кроме образца 2B2) обнаружены морские диатомовые водоросли, но в некоторых образцах присутствуют и единичные створки пресноводных диатомей. Наличие метана в отложениях нижней толщи всех скважин указывает на их озерное или морское происхождение, тогда как вышележащие отложения метана не содержат. Повышенное на один порядок содержание углерода в нижней толще относительно морены в условиях Антарктиды трудно объяснить вне морской либо озерной обстановки осадконакопления. В отличие от пресных осадков морены, нижняя толща по характеру водной вытяжки относится к слабой степени засоления, что может являться еще одним свидетельством в пользу ее озерно-лагунного происхождения.

Кровля нижней толщи имеет абсолютные отметки, превышающие имеющиеся в западном борту понижения системы озер Рейд и Нелла, что исключает образова-

ние нижней толщи в исключительно озерных условиях. Образование в прибрежных условиях, в эпоху с более высоким относительным уровнем моря, снимает данное высотное несоответствие кровли отложений с бортами долины. Следует также отметить, что чисто морской генезис нижней толщи тоже должен быть исключен из-за наличия в ней не только морских, но и пресноводных диатомей, а также ввиду не сильного засоления отложений. Вероятным является сценарий, когда седиментация происходила в пресноводной лагуне, которая затапливалась морской водой во время приливов, либо седиментация происходила в прибрежно-морских условиях при постоянном поступлении талой пресной воды от ледника.

Некоторые аспекты последнего оледенения и изменения уровня моря в районе оазиса. Проведенная диагностика генезиса верхней и нижней толщ отложений исследованного разреза позволяет обсудить вопросы, связанные с последним оледенением оазиса и изменениями относительного уровня моря. Хорошая сохранность морены (верхняя толща) указывает на то, что она была сформирована при последней подвижке ледника, который не дошел до северной окраины побережья полуострова Брокнесс (см. рис. 1, 2). Для уверенной корреляции этой морены с ледниковыми событиями ПЛМ [Global chronostratigraphic correlation table for the last 2,7 million years, 2010] или другими голоценовыми подвижками ледников необходимы дополнительные исследования. Однако предшествующие результаты изучения озерных осадков полуострова Брокнесс свидетельствуют о преобладании в голоцене тенденции к дегляциации этой территории и об отсутствии следов крупного повторного разрастания здесь ледниковых масс [Verleyen et al., 2004], что косвенно указывает на временную связь образования верхней толщи (морены) с событиями ПЛМ и последующей деградацией оледенения.

Накопление нижней толщи озерно-лагунных отложений происходило непосредственно перед последним крупным разрастанием оледенения в оазисе. Кровля этих отложений располагается на 32 м выше современного уровня моря. В предшествующих работах [Hodgson et al., 2009] были описаны осадки возрастом 26650–28750 л.н., образование которых проходило в озерно-морских условиях, что свидетельствует о трансгрессии моря во время МИС 3. Данные осадки находятся на высоте 8 м над уровнем моря в озере Киришес Понд (Kirisjes Pond) на острове в 5 км на запад от полуострова Брокнесс. В качестве одного из возможных объяснений подъема относительного уровня моря в районе оазиса во время МИС 3 (когда глобальный уровень моря был на 60 м ниже современного) авторы предложили прогибание территории Холмов Ларсеманн под тяжестью мощного ледника. Морские отложения периода МИС 3 на современных высотных отметках до 35 м были изучены также на острове Кинг-Джордж, Южные Шетландские острова (Западная Антарктика) [Веркулич и др., 2013]. Все это свидетельствует в пользу образования озерно-лагунных отложений нижней толщи изученного нами разреза в период МИС 3. Однако однозначное подтверждение возрастных характеристик нижней толщи смогут дать лишь дальнейшие работы и, в частности, проведение радиоуглеродного датирования возраста отложений.

ВЫВОДЫ

В оазисе Холмы Ларсеманн был изучен разрез с максимально известной здесь на данный момент мощностью четвертичных отложений. Выделение в разрезе двух толщ отложений различного генезиса было проведено на основании изучения литологии кернов, анализа водной вытяжки, расчетом коэффициента криогенной контрастности, анализом содержания метана и углерода, анализом микрофоссилий и диатомовым

анализом. Верхняя толща мощностью до 5 м представляет собой конечную морену, маркирующую границу последнего оледенения (предположительно ПЛМ). Нижняя толща имеет мощность до 6 м и сложена озерно-лагунными отложениями, образованными в условиях смешивания морской и пресной воды (предположительно в период МИС 3). Нахождение кровли лагунно-озерных отложений на высоте около 30 м над уровнем моря является свидетельством тектонического поднятия территории оазиса или падения уровня моря со времени формирования данных отложений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аринушкина Е.В.* Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. 487 с.
- Веркулич С.Р., Дорожкина М.В., Пушина З.В., Татур А., Сухомлинов Д.И., Крылов А.В.* Условия интерстадиала (MIS3) и характер оледенения последнего ледникового максимума на острове Кинг-Джордж (Западная Антарктика) // *Лед и снег*. 2013. № 1 (121). С. 111–117.
- Гогорев Р.М., Пушина З.В.* Некоторые центрические диатомовые из неогеновых отложений массива Фишер (горы Принс-Чарльз, Восточная Антарктида) // *Новости систематики низших растений*. 2011. Т. 45. С. 32–49.
- Диатомовые водоросли СССР. Т. 1. Л.: Наука, 1974. 400 с.
- Коницев В.Н.* Формирование состава дисперсных пород в криолитосфере. Новосибирск: Наука, 1981. 197 с.
- Коницев В.Н.* Эволюция температуры пород арктической зоны России в верхнем кайнозое // *Криосфера Земли*. 1999. Т. III. № 4. С. 39–47.
- Коницев В.Н., Лебедева-Верба М.П., Рогов В.В., Сталина Е.Е.* Криогенез современных и позднеплейстоценовых отложений Алтая и перигляциальных областей Европы. М.: ГЕОС, 2005. 128 с.
- Ривкина Е.М., Краев Г.Н., Кривушин К.В. и др.* Метан в вечномёрзлых отложениях северо-восточного сектора Арктики // *Криосфера Земли*. 2006. Т. X. № 3. С. 23–41.
- Alperin M.J., Reeburgh W.S.* Inhibition experiments on anaerobic methane oxidation // *Appl. Environ. Microbiol.* 2006. Vol. 50. P. 940–945.
- Burgess J.S., Spate A.P., Shevlin J.* The onset of deglaciation in the Larsemann Hills, Eastern Antarctica // *Antarctic Science*. 1994. Vol. 6. P. 491–495.
- Ehrmann W., Melles M., Kuhn G., Grobe H.* Significance of clay mineral assemblages in the Antarctic Ocean // *Marine Geology*. 1992. Vol. 107. P. 249–273.
- Global chronostratigraphical correlation table for the last 2,7 million years / Coben K.M., Gibbard P.L. (ed.). IUGS, 2010.
- Hodgson D.A., Noon P.E., Vyverman W., Bryant C.L., Gore D.B., Appleby P., Gilmour M., Verleyen E., Sabbe K., Jones V.J., Ellis-Evans J.C., Wood P.B.* Were the Larsemann Hills ice-free through the Last Glacial Maximum? // *Antarctic Science*. 2001. Vol. 13. № 4. P. 440–454.
- Hodgson D.A., Verleyen E., Sabbe K., Squier A.H., Keely B.J., Leng M.J., Saunders K.M., Vyverman W.* Late Quaternary climate-driven environmental change in the Larsemann Hills, East Antarctica, multiproxyevidence from a lake sediment core // *Quaternary Research*. 2005. Vol. 64. P. 83–99.
- Hodgson D.A., Verleyen E., Squier A.H., Sabbe K., Keely B.J., Saunders K.M., Vyverman W.* Interglacial environments of coastal east Antarctica: comparison of MIS1 (Holocene) and MIS5e (Last Interglacial) lake-sediment records // *Quaternary Science Reviews*. 2006. Vol. 25. P. 179–197.
- Hodgson D.A., Verleyen E., Vyverman W., Sabbe K., Leng M.J., Pickering M.D., Keely B.J.* A geological constraint on relative sea level in Marine Isotope Stage 3 in the Larsemann Hills, Lambert Glacier region, East Antarctica (31366–33228 cal yr BC) // *Quaternary Science Reviews*. 2009. doi:10.1016/j.quascirev.2009.06.006.

Jones V.J., Birks H.J.B. Lake-sediment records of recent environmental change on Svalbard: results of diatom analysis // *Journal of Paleolimnology*. 2004. Vol. 31. P. 445–466.

Konishchev V.N., Rogov V.V. Investigations of cryogenic weathering in Europe and Northern Asia // *Permafrost and Periglacial Processes*. 1993. Vol. 4. P. 49–64.

Laiba A.A., Pushina Z.V. Cenozoic glacial-marine sediments from the Fisher Massif (Prince Charles Mountains) // *The Antarctic Region. Geological Evolution and Processes. Proceedings of the VII International Symposium on Antarctic Earth Sciences*. Ricci C. A. (ed.). Siena: Terra Antartica Publishers., 1997. P. 977–984.

Leventer A. Modern distribution of diatoms in sediments from the George V Coast, Antarctica // *Mar. Micropal.* 1992. Vol. 19. P. 315–332.

Roberts D., McMinn A. Diatoms of the saline lakes of the Vestfold Hills, Antarctica // *Bibliotheca Diatomologica*. 1999. Vol. 44. P. 1–83.

Sabbe K., Verleyen E., Hodgson D.A., Vanhoutte K., Vyverman W. Benthic diatom flora of freshwater and saline lakes in the Larsemann Hills and Rauer Islands, East Antarctica // *Antarctic Science*. 2003. Vol. 15. P. 227–248.

Schmidt R., Mausbacher R., Muller J. Holocene diatom flora and stratigraphy from sediment cores of two Antarctic lakes (King George Island) // *Journal of Paleolimnology*. 1990. Vol. 3. P. 55–74.

Stockwell D.A. Distribution of Chaetoceros resting spores in the Quaternary sediments from Leg 119/College Station, TX Ocean Drilling Program, J. Barron, B. Larsen et al. (ed.) // *Proc. ODP, Sci. Results*. 1991. P. 599–603.

Verleyen E., Hodgson D.A., Sabbe K., Vyverman W. Late Quaternary deglaciation and climate history of the Larsemann Hills (East Antarctica) // *Journal of Quaternary Science*. 2004. Vol. 19. P. 361–375.

Vogt C. Regional and temporal variations of mineral assemblages in Arctic Ocean sediments as climatic indicator during glacial/interglacial changes // *Reports on Polar Research*. Bremerhafen. 1997. Vol. 251. P. 1–309.

*N.E.DEMIDOV, S.R.VERKULICH, O.V.ZANINA, E.S.KARAEVSKAYA, Z.V.PUSHINA,
E.M.RIVKINA, D.G.SHMELEV*

THE END MORaine AND LACUSTRINE-MARINE SEDIMENTS IN THE CROSSSECTION OF QUATERNARY DEPOSITS OF THE LARSEMANN HILLS, EAST ANTARCTICA

The geological crosssection of Quaternary deposits 11 m depth in the Larsemann Hills oasis was studied by rig drilling and complex laboratory analyses of cores. Upper stratigraphic unit 5 meter depth was interpreted as an end moraine marking the position of the last glaciation. Lower stratigraphic unit has thickness 6 meters and is interpreted as lacustrine-marine sediments deposited in conditions of fresh and sea water mixing. The upper boundary of lower unit is located 30 m above sea level, that allows to assume tectonics upward movement or sea regression after formation of lacustrine-marine sediments.

Keywords: Larsemann Hills, East Antarctic, Last glacial maximum, cores of quaternary deposits, geochemical analysis, diatom analysis, paleogeographic reconstruction.