УДК 551.89

Е.Е. Талденкова[1], С.Д. Николаев[2], П.В. Рекант[3], И.А. Погодина[4], А.Д. Портнов[5]

ПАЛЕОГЕОГРАФИЯ ХРЕБТА ЛОМОНОСОВА (СЕВЕРНЫЙ ЛЕДОВИТЫЙ ОКЕАН) В ПЛЕЙСТОЦЕНЕ: ЛИТОЛОГИЯ ОСАДКОВ И МИКРОФАУНА

[1] Лаборатория новейших отложений и палеогеографии плейстоцена, ст. науч. сотр., канд. геогр. н., *e-mail:* etaldenkova@mail.ru
[2] Лаборатория новейших отложений и палеогеографии плейстоцена, вед. науч. сотр., докт. геогр. н., *e-mail:* cdnik@rambler.ru
[3] ВНИИОкеангеология, ст. науч. сотр., канд. геол.-минер. н., *e-mail:* rekant@mail.ru
[4] ММБИ Кольского отд. РАН, ученый секретарь, канд. геол.-минер. н., *e-mail:* pogod@mmbi.info
[5] СПбГУ, студент, *e-mail:* z-23-z@yandex.ru

Изучение материала ледового/айсбергового разноса и комплексов агглютинированных бентосных фораминифер в осадках колонки станции АЛР07-26С, полученной с глубины 1359 м в южной части хребта Ломоносова, позволило сделать попытку стратиграфического расчленения разреза колонки и реконструкции палеогеографических изменений в центральной части Северного Ледовитого океана в течение последних ~200 тыс. лет.

Ключевые слова: палеогеография, плейстоцен, ледниковье, межледниковье, хребет Ломоносова, Северный Ледовитый океан.

Введение. В течение последнего десятилетия район хребта Ломоносова является ареной активных геологических и палеоокеанологических исследований. Они направлены на изучение кайнозойской истории Северного Ледовитого океана по материалам, полученным Первой арктической глубоководной буровой экспедицией (ACEX) в 2004 г. [7, 19, 24], а также на реконструкцию палеоокеанологических и палеоклиматических событий недавнего геологического прошлого на основании детального анализа кернов морских осадков мощностью ~10 м [2, 8, 9, 23].

В 2007 г. в ходе российской экспедиции «Арктика-2007» на атомном ледоколе «Россия» получено около 30 колонок из южной части хр. Ломоносова. Мы представляем первые результаты изучения литологии крупной фракции и микрофауны из осадков одной из наиболее представительных колонок (АЛР07-26С), отобранных во время этой экспедиции. Полученные данные послужили основой предварительного расчленения осадков и реконструкции палеогеографических особенностей межледниковых и ледниковых эпох.

Материалы и методика исследования. Станция АЛР07-26С, на которой поднята колонка, расположена на склоне южного отрога хр. Ломоносова (80°48,841 с.ш.; 140°34,739 в.д.) на глубине моря 1359 м (рис. 1). Общая мощность осадков колонки составляет 940 см. Обработано 84 образца мощностью по 2 см, отобранных с интервалом 10 см, по следующей стандартной методике: исходные образцы были заморожены и в замороженном состоянии высушены под вакуумом, взвешены, промыты на сите с диаметром ячеи 63 мкм, снова высушены и взвешены. Ряд горизонтов в колонке не удалось проанализировать из-за отсутствия образцов из интервалов 282-350, 392-409, 801-839 и 911-929 см.

Литологическое исследование образцов включало определение массового процентного содержания фракции >63 мкм по отношению к исходному непромытому осадку и изучение количества и состава минеральных зерен во фракции >500 мкм, для чего сухой осадок просеивали на сите с соответствующим диаметром ячеи, а затем под бинокуляром извлекали все минеральные зерна. Подсчитывалось общее число терригенных зерен и число зерен горных пород различного петрографического состава и пересчитывалось на 100 г сухого исходного осадка. В случае затруднения в идентификации породы делали шлифы, которые просматривали под поляризационным микроскопом. Для формализации множества разнообразных по петрографическому составу обломков горных пород, удобства обобщения полученных результатов и сопоставимости их с результатами других авторов и с другими акваториями Северного Ледовитого океана все обломки пород и минералов были разделены на 12 групп: 1) кластические породы - песчаники, алевролиты и аргиллиты; 2) известковые породы - известняки, мраморы, сюда же

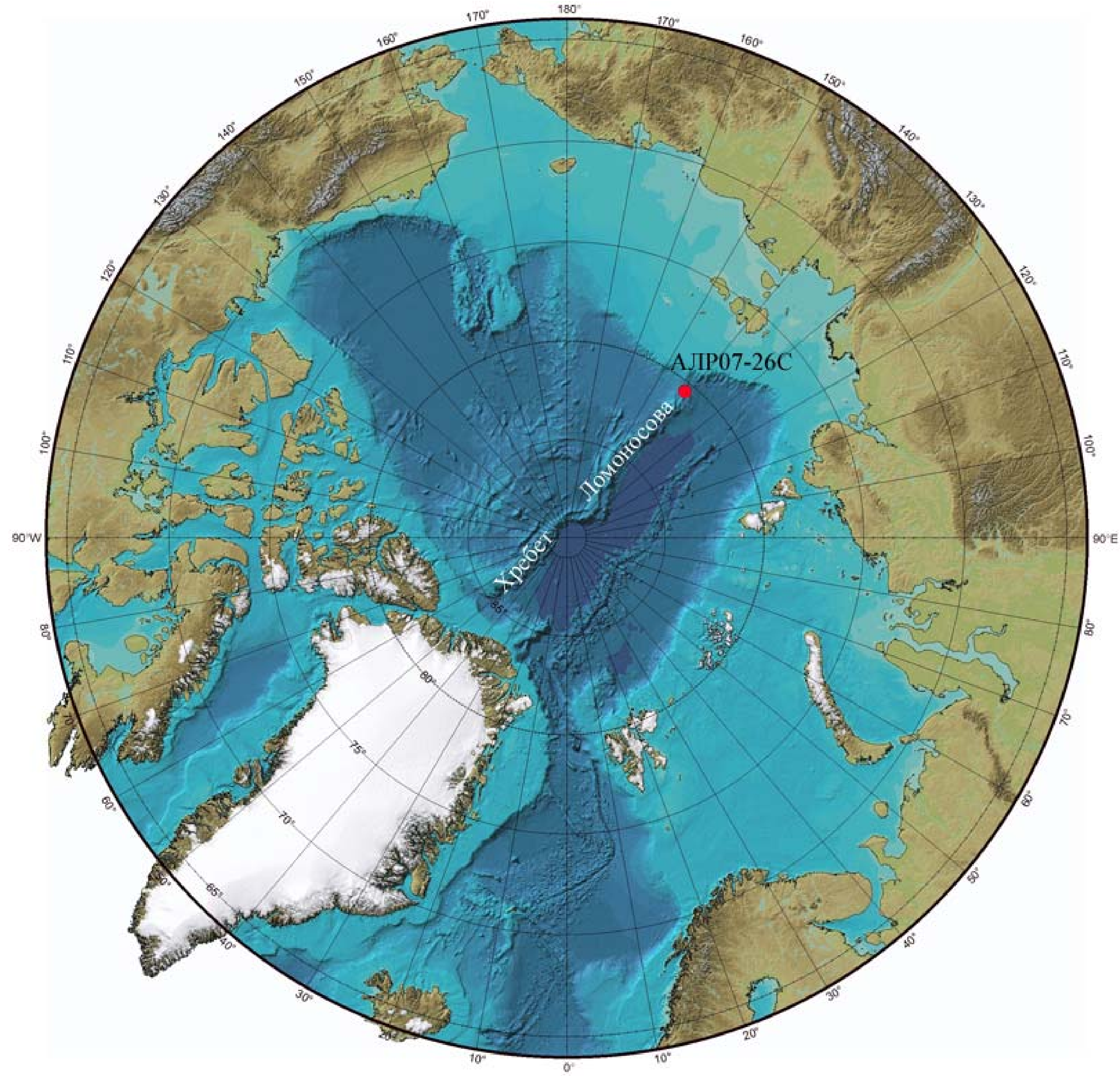


Рис. 1. Местоположение исследованной колонки АЛР07-26С.

условно относили и гипсы; так как они были встречены только несколько раз, то не было смысла выделять самостоятельную группу; 3) гранитоиды - граниты и прочие кислые и средние интрузивные породы; 4) габброиды - все интрузивные породы основного состава; 5) гнейсы - сильно- и средне-метаморфизованные породы кислого состава; 6) кристаллические сланцы - породы основного состава, не содержащие калиевый полевой шпат, обычно с пониженным количеством кварца, метаморфизованные в средней и высокой степенях регионального метаморфизма; 7) кварциты любых степеней метаморфизма; 8) филлиты - любые сланцы, метаморфизованные в условиях низшей степени регионального метаморфизма, не выше зеленосланцевой фации; граничным условием было отсутствие роговой обманки - в случае ее наличия породу относили к гр. 6; 9) вулканические породы - любые эффузивные породы, обычно это базальты, реже стекла и пр., сюда же включены долериты; 10) кварц - многочисленные зерна кварца любой окатанности и сростки немногочисленных зерен кварца; 11) полевые шпаты - калиевые полевые шпаты и плагиоклазы в виде отдельных зерен; 12) последнюю группу составляли неопознанные обломки, сюда относили образования, обычно настолько сильно выветрелые, что определить их первоначальный состав было невозможно.

Микрофоссилии извлекали под бинокуляром из сухого промытого осадка крупностью более 100 мкм. Подсчитывали число раковин и их фрагментов, проводили таксономические определения.

Подсчет процентного соотношения различных групп среди обломков пород проводили только в образцах, содержащих более 5 минеральных зерен во фракции >500

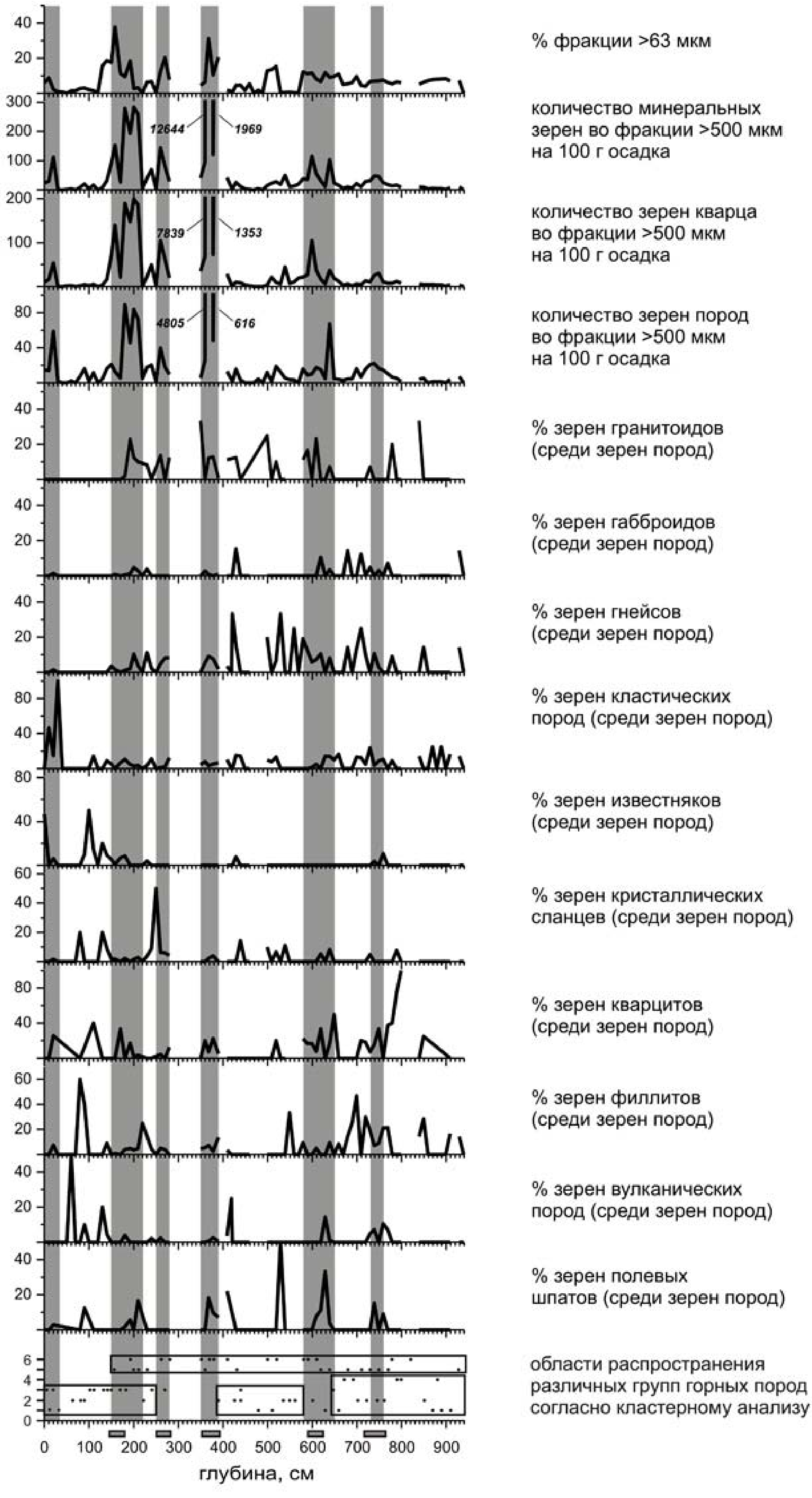


Рис. 2. Изменение литологических характеристик по разрезу колонки АЛР07-26С.
Серым фоном выделены интервалы повышенного содержания терригенных минеральных зерен во фракции >500 мкм. Цифры на графиках соответствуют экстремально высоким значениям в образцах 368-370 и 390-392 см. Серые прямоугольники вдоль шкалы абсцисс соответствуют пикам численности агглютинированных фораминифер.

Таблица 1.

Состав кластеров горных пород (%).

Кластеры	Группы пород								
	класти-ческие	**карбо-натные**	**грани-тоиды**	**габбро-иды**	**гнейсы**	**крист. сланцы**	**квар-циты**	**филли-ты**	**вулкани-ческие**
1	**83**							**11**	**6**
2	**6**	**3**		**21**	**29**	**2**	**9**	**38**	**13**
3	**27**	**25**			**7**	**17**	**12**	**6**	**6**
4						**5**	**88**	**7**	
5	**16**	**3**	**4**	**16**	**21**	**6**	**13**	**19**	**2**
6	**20**		**21**		**23**	**6**	**13**	**14**	**3**

мкм, процентное содержание отдельных таксонов фораминифер проводилось в образцах, содержащих более 5 раковин.

Чтобы обобщить многообразие встреченных обломков горных пород и попытаться если не установить области их преимущественного сноса, то хотя бы приблизительно наметить изменение основных структурных единиц, служащих источником ледового разноса за время формирования вскрытых осадков, был проведен кластерный анализ обломков горных пород. Аналогичная операция проделана с бентосными фораминиферами с целью выделения ископаемых комплексов.

Результаты исследований. ***Литологическая характеристика осадков.*** Полученные результаты представлены на рис. 2, где видно, что по разрезу колонки четко выделяются интервалы с повышенным содержанием крупнообломочного материала, который наиболее вероятно является материалом ледового и айсбергового разноса. Как правило, возрастание содержания грубой фракции совпадает с увеличением процентного содержания фракции >63 мкм. Исключительно большое количество крупнозернистого материала (до 12 644 зерен на 100 г осадка) встречено в интервале 370-390 см, что в десятки раз превышает количество обломков во всех остальных частях разреза, причем поперечник некоторых обломков из образцов в этом интервале превышает 1-2 см. Следующий по величине пик численности крупнообломочного материала в интервале 150-220 см достигает 300 зерен на 100 г осадка. В нижней части разреза, глубже 400 см (учитывая отсутствие образцов в интервале 392-409 см), количество обломков уменьшается вплоть до нулевых значений в самой нижней части колонки после 800 см (рис. 2).

В публикациях (например, в [2]) часто встречается оценка точности, которая определяется путем повторных подсчетов общего числа зерен. Повторные подсчеты общего числа зерен, проведенные нами для горизонтов, наиболее богатых крупной фракцией (9310 и 1487 шт. в образцах 368-370 и 390-392 см соответственно), показали расхождение между результатами двух параллельных подсчетов разными исполнителями в 0,3 и 1% соответственно. Ошибки результатов, по нашим представлениям, возникают из-за того, что в пробах большого объема подсчитываются не все зерна. В подобных ситуациях обычно проводится квартование пробы, а затем полученные результаты распространяются на весь образец. Таким образом, проба сокращается по объему, а подсчитывается число зерен, что неэквивалентно. Это можно проиллюстрировать на примере нашего опыта по квартованию образца из горизонта 368-370 см, содержащего максимальное число минеральных зерен во фракции > 500 мкм (9310 шт.). В результате были получены 4 пробы, раздельный подсчет числа зерен в которых вместо ожидаемых 25% от их общего количества показал следующие значения: 27,5; 31,0; 18,0 и 23,5%, т.е. ошибка определения числа зерен в четвертях достигла ±6-7%. Поэтому мы не прибегали к подобным операциям и подсчитывали все зерна пород, равно как и все раковины фоссилий, без разделения образцов на части.

Исследование петрографического состава обломков показало преобладание зерен кварца в большей части образцов, и только в нижней части колонки глубже 600 см число обломков пород близко числу зерен кварца или даже превышает его (рис. 2).

Таблица 2.

Формационные группы горных пород.

кластер 1	**10% 80%** **филлитово-песчанистая**
кластер 2	**20% 30% 40%** **габброидно-гнейсо-филлитовая**
кластер 3	**20% 20% 30%** **кр. сланцево-песчанисто-известковая**
кластер 4	**90%** **кварцитовая**
кластер 5	**15% 16% 16% 20%** **филлитово-песчанисто-габброидно-гнейсовая**
кластер 6	**20% 20% 20%** **песчано-гранитоидно-гнейсовая**

Кластерный анализ распространенности обломков различных групп горных пород позволил выделить 6 кластеров. Их средний состав, округленный до целых процентов, представлен в табл. 1. Для большего удобства генетической интерпретации полученных данных мы округлили состав кластеров до 10%, выделив формационные группы пород (табл. 2), и нанесли эти кластеры на общий график,

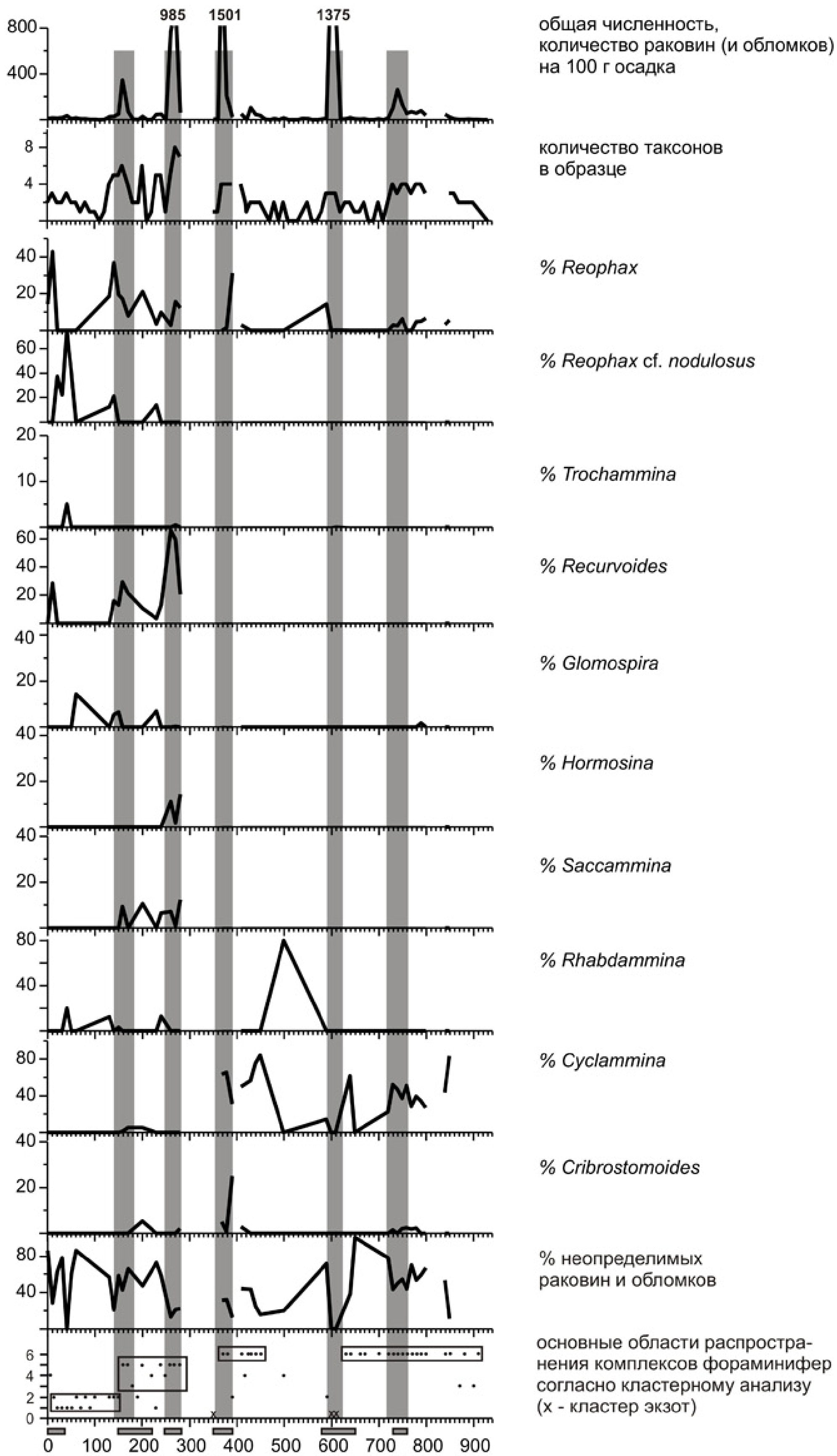


Рис. 3. Изменение количества и таксономического состава раковин агглютинированных фораминифер по разрезу колонки АЛР07-26С.
Серым фоном и цифрами на верхнем графике выделены интервалы повышенной численности раковин и их обломков. Серые прямоугольники вдоль шкалы абсцисс соответствуют пикам содержания крупнообломочного материала во фракции >500 мкм.

Таблица 3.

Состав кластеров таксонов агглютинированных фораминифер (%).

Клас-теры	Таксоны									
	Reophax	*Reophax* cf. *nodulosus*	*Recurvoides*	*Rhabdammina*	*Glomospira*	*Cyclammina*	*Cribrostomoides*	*Saccammina*	*Hormosina*	*Trochammina*
1	**1**	**90**	**2**	**3**	**3**					**1**
2	**28**	**5**	**9**	**11**	**26**	**18**	**3**			
3	**100**									
4				**100**						
5	**23**		**50**	**4**		**4**	**2**	**11**	**6**	
6	**3**					**95**	**2**			

где по оси абсцисс отложена длина керна, т.е. в какой-то мере время отложения осадков.

Анализ положения выделенных кластеров во времени показывает (рис. 2), что последние две группы пород преимущественно гнейсо-гранитового состава (что свидетельствует о поступлении материала из районов древних кристаллических щитов) фоновые. Их обломки, хотя и неравномерно, но распространены по всей длине колонки, кроме верхних 150 см осадков. В верхней части керна в интервалах 0-250 и 390-580 см преобладает группа первых трех кластеров, т.е. породы, характерные для осадочных платформенных чехлов (кластические породы, известняки, доломиты, филлиты, основные интрузивные). В интервале 640-930 см к этим породам активно добавляются кварциты.

Микрофаунистические остатки. Микрофаунистические остатки в исследованной колонке представлены исключительно агглютинированными фораминиферами (рис. 3), единственное дополнение - единичные спикулы губок в ряде образцов из верхней части разреза до 180 см керна. Остатки карбонатных раковин не встречены, что, вероятно, свидетельствует о растворении карбонатов холодными придонными водами. Из-за довольно плохой сохранности раковин, зачастую представленных обломками или «ядрами», таксономические определения проведены в основном до рода (рис. 3). По этой же причине велика роль неопределимых раковин и обломков. При подсчете учитывалось число как самих раковин, так и их обломков, когда их родовая принадлежность не вызывала сомнений. В остальных случаях их относили к группе неопределимых. Естественно, это несколько искажает результаты, так как, например, в образце может быть несколько обломков от одной и той же раковины.

Агглютинированные фораминиферы наиболее многочисленны в образцах, обогащенных крупнообломочным терригенным материалом, исключением является верхний интервал 0-30 см, где не зафиксировано увеличение общей численности фораминифер (рис. 3). Три наиболее выраженных пика численности соответствуют глубинам 260-280, 370-390 и 600-610 см. Первый пик сверху представлен в основном крупными раковинами *Recurvoides,* а второй - крупными раковинами *Cyclammina* (рис. 3). В то же время отметим, что последний пик численности представлен весьма странными остатками; мы не вполне уверены, что это вообще обломки фораминифер, поэтому отнесли их к фораминиферам условно. Это чрезвычайно многочисленные обломки самых разнообразных форм и размеров - от трубочек и «торпед» до прямых, кривых и бесформенных угловатых фрагментов. Структура стенки этих образований представлена в основном сцементированными мелкопесчаными и алевритовыми частицами с редкими более крупными включениями. Многочисленные обломки, встреченные исключительно в этом узком интервале, мы не стати причислять ни к одному из таксонов (включая и неопределимые), а только примерно определили их численность, округлив до 800 экз. в образце 599-601 см и до 700 экз. в образце 609-611 см. Пики численности фораминифер чередуются с интервалами, в которых фораминифер очень мало или нет (рис. 3).

Все встреченные таксоны агглютинированных фораминифер являются представителями глубоководной мейофауны Северного Ледовитого океана, хотя представители многих родов (*Reophax, Cyclammina, Recurvoides, Cribrostomoides*) встречаются в широком диапазоне глубины - от шельфа до батиали [18, 26]. Наибольшее таксономическое разнообразие отмечено в интервале 130-280 см, максимальных значений оно достигает в интервале 270-272 см (8 таксонов на образец) (рис. 3). Еще раз отметим, что процентное содержание подсчитывали только в тех образцах, где число раковин превышало 5 экз., поэтому на рис. 3 в образцах глубже 850 см таксономический состав не показан. В видовом отношении наиболее ярко проявляется смена доминантов примерно в пределах интервала отсутствия проб (280-350 см). Ниже этой границы, т.е. во всей нижней части колонки преобладают раковины рода *Cyclammina,* отсутствующие выше 150 см. Выше этой границы, в интервале 130-280 см, преобладают раковины рода *Recurvoides*, а в самой верхней части колонки преобладающими являются раковины *Reophax, R.* cf. *nodulosus* и *Rhabdammina* (рис. 3).

Кластерный анализ распространенности различных таксонов позволил выделить 6 кластеров. Их средний состав, округленный до целых процентов, представлен в табл. 3. Для удобства анализа полученных данных мы округлили состав кластеров до 10% (табл. 4) и нанесли эти кластеры на общий график распространения фораминифер (рис. 3). В интервале первых 150 см господствуют представители первых двух кластеров, от 350 см керна и до конца колонки - шестого кластера. Наибольшее разнообразие родов относится к интервалу от 150 и как минимум до 280 см керна (далее керн частично отсутствует).

Таблица 4.

Округленный состав кластеров фораминифер.

кластер	таксономический состав
1	90% *Reophax* cf. *nodulosus*
2	10% – 20% – 30% – 30% *Rhabdammina – Cyclammina – Glomospira – Reophax*
3	100% *Reophax*
4	100% *Rhabdammina*
5	10% – 20% – 50% *Saccammina – Reophax – Recurvoides*
6	100% *Cyclammina*

Обобщив полученные данные, мы выделили три комплекса фораминифер. Комплекс нижней части колонки с преобладанием *Cyclammina* развит с перерывами от ее основания до 350 см. Самая низкая численность раковин приходится на интервал 470-520 см. В интервале 600-610 см отмечено большое число очевидно биогенных фрагментов непонятной систематической принадлежности (см. выше). Верхняя граница распространения *Cyclammina* не определена из-за отсутствия образцов из интервала 280-350 см. Для этого комплекса характерно преобладание эпифаунных и неглубоко зарывающихся детритофагов, что свидетельствует о сравнительно высоком поступлении органики [4, 6, 11, 15].

Второй комплекс, где преобладают *Recurvoides,* развит от 280 до 150 см. Это наиболее разнообразный в видовом отношении комплекс, включающий виды родов *Saccammina* и *Hormosina*, которые больше нигде в колонке не встречаются. Как и первый комплекс, он характеризует достаточно благоприятные условия с наличием аэрируемых придонных вод со сравнительно большим поступлением органики. Однако, учитывая большое видовое разнообразие комплекса, особенно в интервале 260-280 см, можно предположить, что именно в это время поступление органики было наибольшим, т.е. ледовый покров был наименее сплоченным.

Третий комплекс, где преобладают *Reophax* и *Rhabdammina,* характерен для периодов низкой численности раковин фораминифер. Наиболее ярко он выражен в верхних 150 см осадков, но также присутствует в нижней части колонки в интервале 470-520 см. Этот комплекс характеризует олиготрофные условия с низким поступлением органики, в которых развиваются виды разной специализации от эпифаунных фильтраторов, таких, как *Rhabdammina,* до глубоко зарывающихся инфаунных детритофагов, к которым относятся представители рода *Reophax,* многие из которых являются оппортунистическими видами, способными быстро заселять новые экологические ниши [11, 15]. Третий комплекс соответствует, вероятно, условиям очень сплоченного ледового покрова и небольшого поступления органики во время холодных эпох.

Обсуждение результатов. Результаты глубоководного бурения в околополюсном районе хр. Ломоносова (ACEX-2004) показали, что верхние >400 м осадочного чехла представлены кайнозойскими отложениями с возрастом ~57 млн. лет, которые перекрывают тектонически деформированные породы мезозойского возраста [19].

Данные изучения литологии, физических свойств осадков и содержащихся в них ископаемых остатков свидетельствуют, что направленное похолодание Арктики началось уже с середины эоцена, когда было отмечено первое появление материала ледового разноса, т.е. ~46 млн. л. н. [19, 24]. В конце раннего миоцена из-за широкого раскрытия пролива Фрама произошел переход к условиям вентилируемого океана [7]. Начиная с ~14 млн. л. н. скорость седиментации составляла 1-2 см/10^3 лет в основном из-за увеличения поступления песка и более крупного терригенного материала в результате ледового разноса. Около 3,2 млн. л. н. отмечено изменение физических свойств осадков и их состава, что свидетельствует об увеличении поступления материала ледового и айсбергового разноса, связанного с усиленным ростом ледникового щита Гренландии. Самая верхняя часть осадочного чехла мощностью около 10 м с возрастом около 1 млн. л. н. соответствует плейстоцену с чередованием ледниковых и межледниковых эпох.

Ранее были проведены детальные исследования нескольких колонок с хр. Ломоносова, полученных с глубины чуть более 1000 м (колонки 96-12-1рс, PS2185) и 1400 м (колонка PS2177) (мощность осадков 7-8 м). Исследования показали сходство изменения литологических характеристик и смены комплексов ископаемой фауны [4, 5, 8-10, 17, 23]. Во всех колонках вниз по разрезу на глубине около 200-300 см отмечается смена интервалов с выраженной амплитудой колебаний содержания материала фракции >63 мкм на интервалы со сглаженными колебаниями.

Примерно на этих же глубинах исчезают карбонатные фоссилии (планктонные и бентосные фораминиферы, остракоды, нанопланктон), характерные для верхних слоев осадков, но отсутствующие в нижних частях колонок, где отмечались только агглютинированные бентосные фораминиферы. В колонке PS2177, поднятой с глубины 1400 м, в которой присутствовали исключительно агглютинированные фораминиферы по всему разрезу, в нижней части резко увеличивалось их количество при доминировании вида *Cyclammina pusilia* [4, 5].

Стратиграфия колонок основана на сейсмоакустических и изотопных данных, магнито- и биостратиграфии, радиоуглеродных датировках и ледниково-межледниковых вариациях литологических и геохимических параметров, в частности прослоев, обогащенных марганцем [8, 9, 17, 23]. В результате исследований установлено, что скорость седиментации в Северном Ледовитом океане в среднем-позднем плейстоцене составляла около 1-2 см/10^3 лет, а переход к более контрастным условиям, отмечающийся и в изученной нами колонке АЛР07-26С, примерно соответствует времени 6-й изотопно-кислородной стадии и отражает реорганизацию палеоокеанологических условий в Северном Ледовитом океане [9, 23].

Мы пока не имеем непосредственных достаточно надежных данных для стратиграфического расчленения осадков колонки АЛР07-26С. Однако на основании результатов литологического и микрофаунистического анализа можно высказать некоторые соображения, которые вытекают из сравнения наших данных с ранее полученными результатами [9, 23], основанными на возрастной стратиграфической модели, разработанной в [8].

Известно, что повышенное количество материала ледового и айсбергового разноса поступало в осадки Арктического бассейна в периоды оледенений, резко увеличиваясь во время разрушения щитов и дегляциации. Тогда ледовый покров океана был менее сплоченным, чем во время оледенений, но в то же время края континентальных ледниковых щитов находились вблизи бровки шельфа, поставляя большое количество айсбергов [12, 13, 22, 23, 25]. Таким образом, изменения литологических параметров, особенно ярко выраженные в верхней части разреза, очевидно, фиксируют чередование ледниковых и межледниковых эпох и могут служить основой для стратиграфического расчленения осадков.

Полученные ранее данные указывают, что особенно большое поступление айсбергового материала имело место во время 6-й изотопной стадии и перехода к 5-й стадии [9, 23], а также во время перехода от 4-й изотопной стадии к 3-й стадии, когда во многих колонках из Северного Ледовитого океана зафиксировано накопление так называемого серого слоя осадков, обогащенного терригенным материалом [17, 23]. Сейсмоакустические данные и результаты исследования дна с помощью локаторов бокового обзора показали наличие следов выпахивания и переотложения осадков на некоторых участках хр. Ломоносова на глубине <1000 м [9, 14, 21, 22]. Предполагается, что в эпоху обширного заальского оледенения, соответствующего 6-й изотопной стадии, происходило выпахивание осадков килями крупных айсбергов или краем шельфового ледника. Глубина расположения исследованной нами колонки (1359 м) существенно ниже зоны, подвергавшейся динамическому воздействию во время заальского оледенения, но весьма вероятно, что резко выраженный пик содержания крупнообломочного материала в горизонте 370-390 см (рис. 2) соответствует времени дегляциации этого оледенения, т.е. границе изотопных стадий 6 и 5. Второй по величине пик огрубления осадка приходится на горизонт 150-220 см и, скорее всего, приурочен к переходу от изотопной стадии 4 к стадии 3. Меньший пик с центром около 260-270 см, возможно, соответствует границе стадий 5 и 4 [23].

Отметим, что в предыдущих исследованиях изменения содержания материала ледового разноса в колонках с хр. Ломоносова [9, 23] в качестве показателя присутствия крупнообломочного материала использовалась только кривая изменения массового процентного содержания фракции >63 мкм. Как следует из наших данных, действительно, в этом случае максимум ледового материала соответствует интервалу 150-220 см (границе стадий 4 и 3). В то же время количество зерен и присутствие наиболее крупных обломков размером до 2 см отвечает интервалу 370-390 см (переходу от стадии 6 к стадии 5), что отражает, по всей видимости, период максимальной активности айсбергов в районе исследования. В колонке 96/12-1 pc [9] также найден обломок размером 1 см в осадках, соответствующих стадии 6. Именно для изотопной стадии 6 реконструируются ледниковый щит максимального размера, покрывавший шельф Баренцева и Карского морей, простиравшийся далеко на восток, захватывавший острова арх. Северная Земля и Таймыр [25]. Логично предположить, что этот огромный щит поставлял большое количество крупнообломочного материала и в осадки хр. Ломоносова.

Интересно, что, по оценке [14], для того, чтобы огромные айсберги с осадкой 800-900 м, выпахивавшие осадки на глубине <1000 м на хр. Ломоносова, могли его достичь, требовалось наличие мощного потока трансформированных атлантических вод в подповерхностном слое. Это говорит о том, что периоды поступления большого количества материала айсбергового разноса могли сочетаться с мощным притоком трансформированных атлантических вод и благоприятными условиями для существования бентосных организмов. Таким образом, можно считать, что в колонке АЛР07-26С переход от менее контрастных к более контрастным вариациям литологического состава, наблюдаемый около 390 см или несколько ниже (образцы отсутствуют), соответствует периоду разрушения заальского ледника, т.е. границе изотопных стадий 6 и 5.

Примерно к этому же времени приурочена и смена комплексов фораминифер (в промежутке отсутствия керна 280-350 см) - от комплекса с преобладанием *Cyclammina* к комплексу с преобладанием *Recurvoides.* Оба комплекса в определенной мере свидетельствуют о сравнительно благоприятных эвтрофных условиях и поступлении достаточного количества питательных веществ, т.е. о не очень сильно сплоченном ледовом покрове. При этом максимум численности фораминифер совпадает с максимумом поступления материала айсбергового разноса. Подобное совпадение характерно для всей колонки кроме верхних 30 см (рис. 2, 3). Это означает, что по крайней мере для бентосных агглютинированных фораминифер весьма благоприятные условия существовали не только в периоды межледниковий, но и в периоды деградации ледниковых щитов. Возможно, это объясняется еще и тем, что во время оледенений и понижения уровня моря нижняя граница трансформированных атлантических вод находилась ближе к месту отбора исследованной нами колонки, что обеспечивало некоторое дополнительное увеличение поступления фитодетрита. Второй комплекс представляет собой наиболее разнообразное в таксономическом отношении сообщество. Вероятно, он соответствует стадии 5, т.е. периоду, к которому приурочены наиболее разнообразные и численно богатые комплексы карбонатных организмов в других колонках с хр. Ломоносова, содержащих карбонатные остатки.

Небольшой пик численности материала ледового/айсбергового разноса в самой верхней части колонки, скорее всего, соответствует голоцену и терминации I, а интервал колонки 30-130 см - последнему ледниковому максимуму и, вероятно, части предшествовавшей ей стадии 3 (учитывая скорость осадконакопления в 1-2 см/10^3 лет). Судя по почти полному отсутствию крупнообломочных включений и пелитовому составу осадков, их накопление происходило в условиях сплоченного ледового покрова с небольшим количеством разводий. Это согласуется с представлениями о суровых условиях в центральной части Ледовитого океана с мощным покровом многолетних льдов во время последнего ледникового максимума, полученными ранее на основе исследования численности планктонных фораминифер и изотопного состава их раковин [20]. Согласно этим реконструкциям, во время последнего ледникового максимума существовала выраженная зональность в распределении планктонных фораминифер, когда центральноарктическая обедненная зона контрастировала с продуктивными зонами в районе вокруг пролива Фрама и прибрежной полыньи вдоль края баренцевоморского шельфа, которые возникли в результате притока трансформированных атлантических вод.

В колонке АЛР07-26С выше 150 см происходит ярко выраженная смена состава пород материала ледового/айсбергового разноса, а также комплекса бентосных агглютинированных фораминифер (рис. 2, 3). Среди пород исчезают группы гнейсо-гранитовых пород, которые присутствовали в качестве фоновых на протяжении всего разреза. Возможно, эти породы представляли собой в основном материал айсбергового разноса, который достигал района хр. Ломоносова в эпохи более интенсивной циркуляции и более дальнего проникновения трансформированных атлантических вод. Развитие больших ледниковых щитов на шельфе Карского моря и прилегающих островах требовало значительного количества влаги, приносимой с трансформированными атлантическими водами. Ближайший к месту расположения колонки район, который был покрыт ледником во время изотопных стадий 6-4, - архипелаг Северная Земля и Таймыр [25], где наиболее развиты протерозойские метаморфические и палеозойские осадочные породы, а также имеются выходы интрузивов различного состава [1, 16]. Возможно, смешанный состав пород среди ледового/айсбергового материала колонки АЛР07-26С отражает преимущественное поступление материала из этого района. Во время последнего ледникового максимума ледниковый щит в Восточной Евразии имел наименьшие размеры за последние 200 тыс. лет, и архипелаг Северная Земля был свободен ото льда [23, 25]. В результате в составе айсбергового материала в колонке АЛР07-26С исчезли «местные» породы, а преимущественное развитие получили кластические породы, характерные для шельфов Баренцева и Карского морей [2].

Судя по размерам ледникового щита времени последнего ледникового максимума, проникновение на восток атлантических вод также было наименее интенсивным за последние 200 тыс. лет. Соответственно ледовый покров центральной части океана был более мощным, и продуктивность уменьшилась [20]. Это отразилось в смене эвтрофных комплексов фораминифер, преобладавших на протяжении всего разреза, на обедненный в количественном и качественном отношении олиготрофный комплекс с доминированием *Reophax* и *Rhabdammina*, указывающий на низкое поступления органики в условиях сплоченного ледового покрова.

В других колонках с хр. Ломоносова, содержащих карбонатные раковины планктонных и бентосных фораминифер, отмечается их исчезновение в слоях, приуроченных к изотопным стадиям 4-2, что также свидетельствует о неблагоприятных условиях их обитания [9, 23]. В колонке АЛР07-26С похожий олиготрофный комплекс существовал и в период накопления осадков в интервале 470-520 см, предшествовавший времени, когда отлагалось наибольшее количество обломочного материала, а численность фораминифер была максимальной. Возможно, этот интервал соответствует суровым условиям максимума оледенения стадии 6, напоминавшим в какой-то мере условия последнего ледникового максимума.

Заключение. Изучен литологический и микрофаунистический состав осадков в колонке АЛР07-26С, полученной с глубины 1359 м в южной части хр. Ломоносова. Сделана попытка стратиграфического расчленения разреза колонки в соответствии с распределением пиков содержания материала ледового/айсбергового разноса и численности агглютинированных фораминифер, а также по смене ассоциаций горных пород в составе обломков и комплексов фораминифер. Результаты сравнивались с имеющимися данными по стратиграфии других колонок с хр. Ломоносова.

Вариации количества ледового/айсбергового материала имеют наибольшую амплитуду в верхних ~400 см керна, ниже они существенно сглажены. Несколько выше этой границы наблюдается смена комплексов фораминифер: комплекс с преобладанием *Cyclammina*, характерный для нижней части колонки (до ~350 см), сменяется комплексом с доминированием *Recurvoides* в интервале 130-280 см. В верхней части колонки развит комплекс с преобладанием *Reophax* и *Rhabdammina.*

Показано, что установленные пики повышенного содержания терригенного материала и в целом совпадающие с ними максимумы численности бентосных фораминифер имеют следующую приуроченность: первый пик (0-30 см) - к голоцену и предшествовавшей эпохе дегляциации; второй (150-220 см) - к границе 3 и 4 изотопно-кислородных стадий; третий (около 270 см) - к границе 4 и 5 изотопных стадий; четвертый, максимальный (360-390 см) - к границе 5 и 6 изотопных стадий; пятый (580-650 см) - к началу изотопной стадии 7 (?).

В периоды формирования прослоев с повышенным содержанием обломочного материала края ледниковых щитов вблизи бровки шельфа поставляли айсберги, а из-за усиленного притока трансформированных атлантических вод и потепления климата ледовый покров был менее сплоченным, что и обеспечивало сравнительно высокую продуктивность и существование эвтрофных комплексов фораминифер. Эпохи самих оледенений выявляются по более пелитовому составу осадков с небольшим количеством включений и присутствию обедненного олиготрофного комплекса фораминифер.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (грант № 08-05-00849).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геология СССР. Острова Советской Арктики. М.: Недра. 1970. Т. XXVI. С. 237-323.

2. *Bischof J.* The decay of the Barents ice sheet as documented in Nordic seas ice-rafted debris // Mar. Geology, 1994. Vol. 117. P. 35-55.

3. *Darby D., Jakobsson M., Polyak L.* Icebreaker expedition collects key Arctic seafloor and ice data // EOS. 2005. Vol. 86, N 52.

4. *Evans J.R., Kaminski M.A.* Pliocene and Pleistocene chronostratigraphy and paleoenvironment of the central Arctic Ocean, using deep water agglutinated foraminifera // Micropaleontology. 1998. Vol.44. P. 109-130.

5. *Evans J.R., Kaminski M.A., Cronin T.M., Fütterer D.K.* Pleistocene agglutinated foraminifera from the Lomonosov Ridge and Amundsen Basin, Arctic Basin. Initial report on piston cores 2177-5 (KAL) and 2176-3 (KAL) // Mar. Micropaleontology. 1995. Vol. 26. P. 245-253.

6. *Gooday A.J.* Recent deep-sea agglutinated foraminifera: a brief review // Paleoecology, Biostratigraphy, Paleoceanography and Taxonomy of Agglutinated Foraminifera. NATO ASI Ser. 1990. Vol. 327. P. 271-304.

7. *Jakobsson M., Løvlie R., Al-Hanbali H.* et al. Manganese and color cycles in Arctic Ocean sediments constrain Pleistocene chronology // Geology. 2000. Vol. 28, N 21. P. 23-26.

8. *Jakobsson M., Løvlie R., Arnold E.M.* et al. Pleistocene stratigraphy and paleoenvironmental variation from Lomonosov Ridge sediments, central Arctic Ocean // Glob. Planet. Change. 2001. Vol. 31. P. 1-22.

9. *Jakobsson M., Backman J., Rudels B.* et al. The early Miocene onset of a ventilated circulation regime in the Arctic Ocean // Lett. Nature. 2007. Vol. 447. P. 986-990.

10. *Jones R.L., Whatley R.C., Cronin T.M., Dowsett H.J.* Reconstructing late Quaternary deep-water masses in the eastern Arctic Ocean using benthonic Ostracoda // Mar. Micro-paleontology. 1999. Vol. 37. P. 251-272.

11. *Kaminski M.A., Silye L., Kender S.* Miocene deep-water agglutinated foraminifera from ODP Hole 909c: Implications for the paleoceanography of the Fram Strait Area, Greenland Sea // Micropaleontology. 2005. Vol. 51, N 5. P. 373-403.

12. *Kneis J., Kleiber H.-P., Matthiessen J.* et al. Marine ice-rafted debris records constrain maximum extent of Saalian and Weichselian ice-sheets along the northern Eurasian margin // Glob. Planet. Change. 2001. Vol. 31. P. 45-64.

13. *Knies J., Vogt C., Stein R.* Late Quaternary growth and decay of the Svalbard/Barents Sea ice-sheet and paleoceanographic evolution in the adjacent Arctic Ocean // Geo-Mar. Lett. 1999. Vol. 18. P. 195-202.

14. *Kristoffersen Y., Coakley B., Jokat W.* et al. Seabed erosion on the Lomonosov Ridge, central Arctic Ocean: A tale of deep draft icebergs in the Eurasia Basin and the influence of Atlantic water inflow on iceberg motion? // Paleoceanography. 2004. Vol. 19. PA3006, doi: 10.1029/2003PA000985.

15. *Kunht W., Moullade M., Kaminski M.A.* Ecological structuring and evolution of deep sea agglutinated foraminifers - a review // Rev. de Micropaleontologie. 1996. Vol. 39, N 4. P. 271-281.

16. *Lorenz H., Männik P., Gee D., Proskurnin V.* Geology of the Severnaya Zemlya Archipelago and the North Kara Terrane in the Russian high Arctic // Int. J. Earth Sci. 2008. Vol.97. P. 519-547.

17. *Löwemark L., Jakobsson M., Mörth M., Backman J.* Arctic Ocean manganese contents and sediment colour cycles // Polar Res. 2008. Vol. 27. P. 105-113.

18. *Lukina T.G.* Foraminifera of the Laptev Sea // Protistology. 2001. Vol. 2, N 2. P. 105-122.

19. *Moran K., Backman J., Brinkhuis H.* et al. The Cenozoic palaeoenvironment of the Arctic Ocean // Nature. 2006. Vol.44, N 1. P. 601-605.

20. *Niurgaard-Pedersen N., Spielhagen R.F., Etienkeuser H. et al.* Arctic Ocean during the Last Glacial Maximum: Atlantic and polar domains of surface water mass distribution and ice cover // Paleoceanography. 2003. Vol. 18. P. 8-1-8-19.

21. *Polyak L., Curry W.B., Darby D.A.* et al. Contrasting glacial/interglacial regimes in the western Arctic Ocean as exemplified by a sedimentary record from the Mendeleev Ridge // Palacogeogr., Palacoclim., Palaeoecol. 2004. Vol. 203. P. 73-93.

22. *Polyak L., Edwards M.H., Coakley B.J., Jakobsson M.* Ice shelves in the Pleistocene Arctic

Ocean inferred from glaciogenic deep-sea bedforms // Nature. 2001. Vol. 410. P. 453-457.

23. *Spielhagen R.F., Baumann K.-H., Erlenkeuser H.* et al. Arctic Ocean deep-sea record of northern Eurasian ice sheet history // Quat. Sci. Rev. 2004. Vol. 23. P. 1455-1483.

24. *St. John K.* Cenozoic ice-rafting history of the Central Arctic Ocean: Terrigenous sands on the Lomonosov Ridge // Paleoceanography. 2008. Vol. 23. PAIS05, doi:10.1029/2007PA001483.

25. *Svendsen J.I., Alexanderson H., Astakhov V.I.* et al. Late Quaternary ice sheet history of eastern Eurasia // Quat. Sci. Rev. 2004. Vol. 23. P. 1229-1271.

26. *Vilks G.* Ecology of recent Foraminifera on the Canadian continental shelf of the Arctic Ocean // The Arctic seas. Climatology, oceanography, geology, and biology. N.Y.: Van Nostrand Reinhold, 1989. P. 497-569.

Поступила в редакцию 13.10.2008

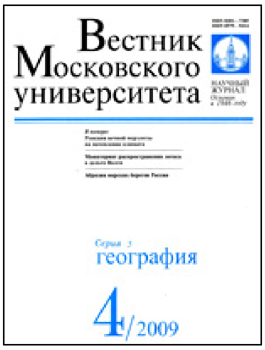
E.E. Taldenkova, S.D. Nikolayev, P.V. Rekant, LA. Pogodina, A.D. Portnov

PLEISTOCENE PALAEOGEOGRAPHY OF THE LOMONOSOV RIDGE (THE ARCTIC OCEAN) (BASING ON THE STUDY OF SEDIMENT LITHOLOGY AND MICROFAUNA)

Ice-rafted debris (IRD) and fossil agglutinated foraminifers were studied in the sediments of the core sample ALR07-26C taken from 1359 m water depth in the southern part of the Lomonosov Ridge (the Arctic Ocean). The results were used for the tentative stratigraphic subdivision of the sequence and reconstruction of paleogeographic changes in the central part of the Arctic Ocean during the latest 200 thousand years.

Key words: paleogeography, the Pleistocene, Ice Age, interglacial, the Lomonosov Ridge, the Arctic Ocean.

Ссылка на статью:



Талденкова Е.Е., Николаев С.Д., Рекант П.В., Погодина И.А., Портнов А.Д.
Палеогеография хребта Ломоносова (Северный Ледовитый океан) в плейстоцене: литология осадков и микрофауна. Вестник МГУ. Сер. 5. Геогр. 2009, № 4, с. 45-54.