

**ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ЧУКОТСКОМ МОРЕ И ПРИМЫКАЮЩИХ РАЙОНАХ СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА В ЭКСПЕДИЦИИ RUSALCA-2009**

**А.С. Астахов<sup>1</sup>, А.А. Босин<sup>1</sup>, А.Н. Колесник<sup>1</sup>, Д.А. Коршунов<sup>2</sup>, К. Крэйн<sup>3</sup>,  
Е.А. Логвина<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН,  
ул. Балтийская 43, г. Владивосток, 690041, e-mail: [astakhov@poi.dvo.ru](mailto:astakhov@poi.dvo.ru)

<sup>2</sup> ФГУП “ВНИИОкеангеология им. И.С. Грамберга”, Английский пр. 1, г. Санкт-Петербург, 190121

<sup>3</sup> NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) Национальное управление по океанам и атмосфере, США

Поступила в редакцию 7 мая 2010 г.

Российско-американский проект RUSALCA (The Joint Russian-American Long-term Census of the Arctic) был начат в ноябре 2003 г. для долговременного мониторинга природной среды Арктики. Район исследований охватывает слабо изученные акватории Чукотского моря и прилегающего сектора Северного Ледовитого океана вблизи границы раздела морских акваторий, находящихся под юрисдикцией России и США. В этом районе отмечены максимальные для Арктики темпы изменения природной среды в последние десятилетия, например, быстрое таяние льдов (рис. 1). Поэтому главными целями проекта были объявлены длительный мониторинг состояния природной среды Арктики и выявление причин ее изменения. В связи с этим ведутся исследования для проверки различных гипотез, объясняющих столь существенные изменения природной среды в данном регионе. Основными из них являются: усиление водо- и теплообмена через Берингов пролив, усиление воздушного теплопереноса в северном направлении, подъем относительно теплых промежуточных атлантических вод, проникающих в Восточную Арктику вдоль материкового склона Евразии. Имеется также версия об активизации геологических процессов в этой зоне, основывающаяся на существовании в Чукотском море грабен-рифтовой системы субмеридиональных и субширотных рифтогенных структур (рис. 1), сформированной в мезозое и активизировавшейся в позднем кайнозое. Наиболее изучена она в пределах т.н. Чукотского грабена – неотектонической структуры, протягивающейся от Восточной Чукотки на юге до, по крайней мере, желоба Геральда в Чукотском море на севере (рис. 1). В изученной сухопутной части его на Восточной Чукотке (Коллю-

чинско-Мечигментская зона) известны позднекайнозойские вулканиды и многочисленные гидротермальные источники с температурой изливающихся вод до 97°C [2]. Воды этих источников отличаются от других на Чукотском полуострове по составу газов с аномальным количеством признаков содержания мантийных компонент.

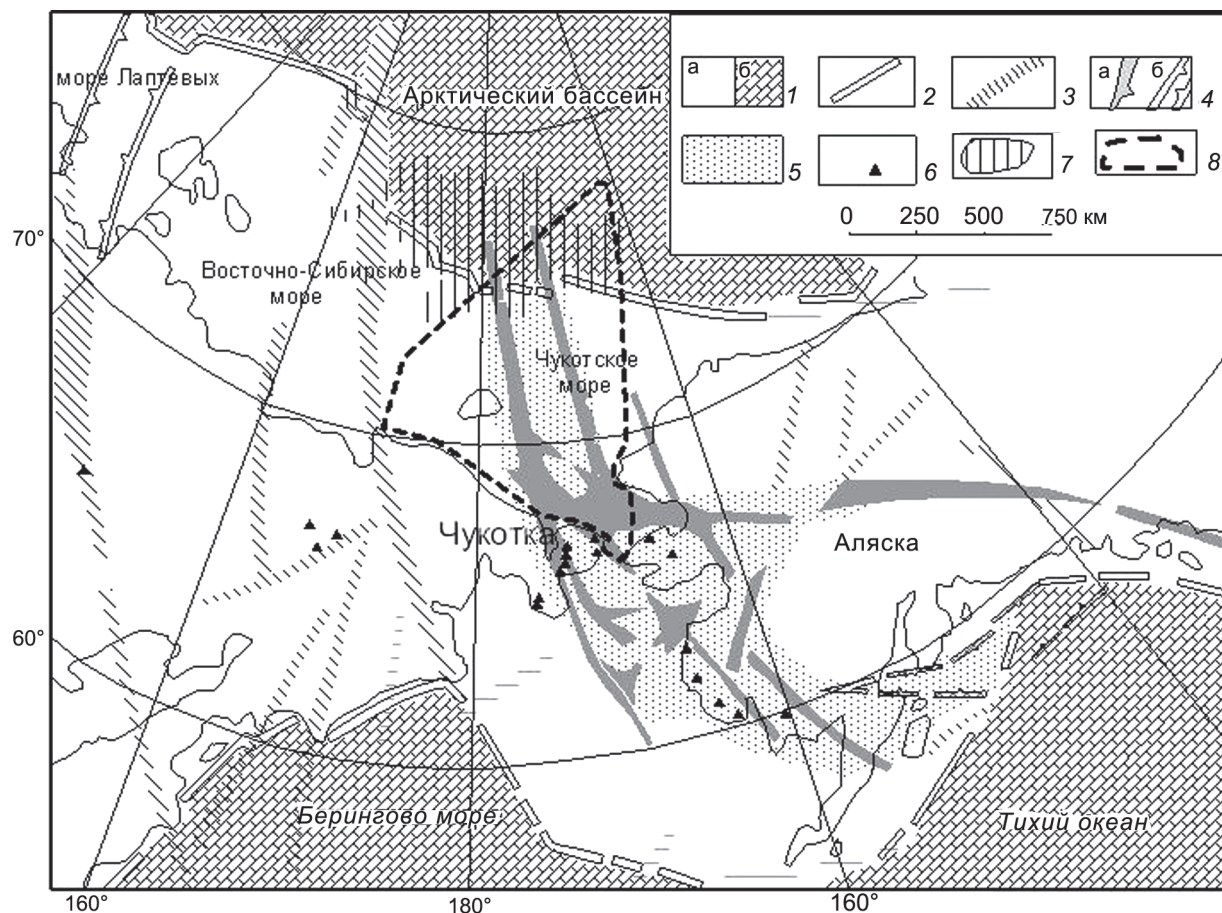
Геологические исследования в проекте RUSALCA не являются основными, как, например, гидрохимические или гидробиологические, поэтому большая часть их выполняется попутно с другими работами. Они включают:

- обобщение, обработку и анализ результатов предыдущих исследований, типизацию акваторий по характеру современных геологических процессов, выделение районов для первоочередных экспедиционных работ;

- изучение минералогических и геохимических особенностей в пробах поверхностных донных осадков и колонок, отобранных в предыдущих экспедициях по проекту RUSALCA и из коллекций различных организаций, для выявления участков со специфическими условиями осадконакопления и выделения участков для последующих работ;

- выполнение специальных экспедиционных работ на локальных участках, наиболее интересных с точки зрения современной геодинамики, и отбор проб и колонок донных осадков на гидрологических и биологических станциях.

Экспедиция RUSALCA-2009 на борту научно-исследовательского судна “Профессор Хромов” проводилась в период с 22 сентября по 30 сентября 2009 г. Старт и завершение экспедиции состоялись



**Рис. 1.** Местоположение района работ экспедиции RUSALCA-2009 и грабен-рифтовая система в области взаимодействия Арктической и Тихоокеанской переходных зон (по [3]).

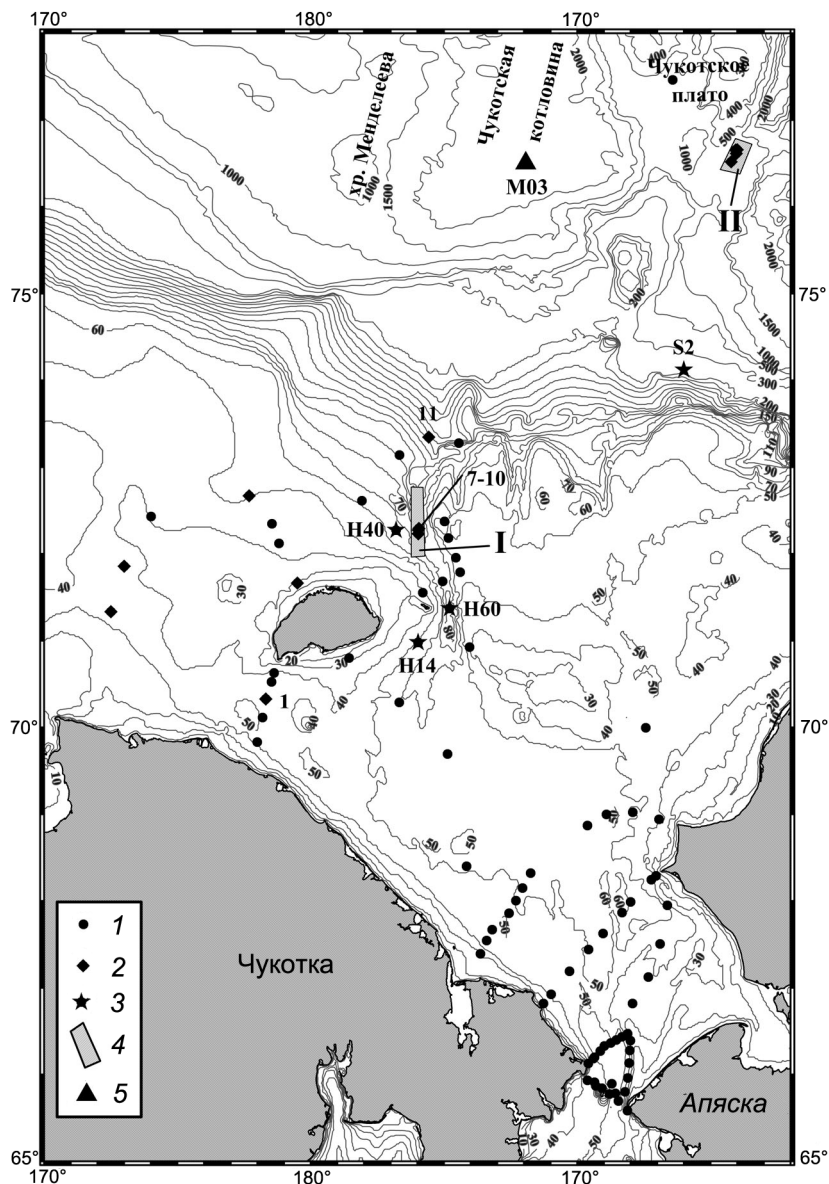
1 – области с континентальной и субконтинентальной (а) и океанической и субокеанической (б) корой; 2 – континентальная флексура; 3 – крупнейшие пояса разломов сдвига-раздвиговой природы; 4 – раздвиговые структуры: а – Чукотско-Берингово-морская и Аляскинская системы грабен-рифтов, б – рифтогенные зоны моря Лаптевых и залива Аляска; 5 – области непосредственного взаимодействия (сдвига-отрыва) переходных зон; б – проявления кайнозойского вулканизма на суше вне пределов островодужных систем; 7 – зона наиболее активного уменьшения ледовитости в Арктике за период с 1970 по 2001 гг. [4]; 8 – район работ экспедиции RUSALCA-2009.

в порту города Ном, штат Аляска (США). Общая программа экспедиции предусматривала преимущественно выполнение комплексных океанологических исследований. Геологический пробоотбор выполнялся специалистами российских организаций ТОИ ДВО РАН и ФГУП ВНИИОкеангеология им. И.С. Грамберга на двух участках, представленных на рисунке 2: в осевой части желоба Геральда (в районе выхода его на внешний шельф – участок I) и на глубоководном участке Чукотского плато, где ранее при съемке многолучевым эхолотом [8] были выявлены формы донного рельефа, похожие на термокарст или покмарки в районах разгрузки газонасыщенных вод (участок II; рис. 3).

Основной объем геологических исследований, включающий отбор проб донных осадков дночерпа-

телем и колонок осадков гидростатической трубкой, а также пробоотбор при биологическом драгировании, был выполнен на гидрологических и гидробиологических станциях за пределами двух участков, отмеченных на рисунке 2. Опробование поверхностных донных осадков дночерпателями было проведено на 86 станциях, колонки донных отложений, максимальной мощностью 260 см, были отобраны гидростатической трубкой на 19 станциях (рис. 2). Из-за существовавшей в период работ ледовой ситуации не удалось выполнить запланированные работы в Чукотской котловине, в районе пересечения структур грабен-рифтовой системы и материкового склона на глубинах воды более 200 м.

Изученные колонки с шельфа Чукотского и Восточно-Сибирского морей представлены вос-



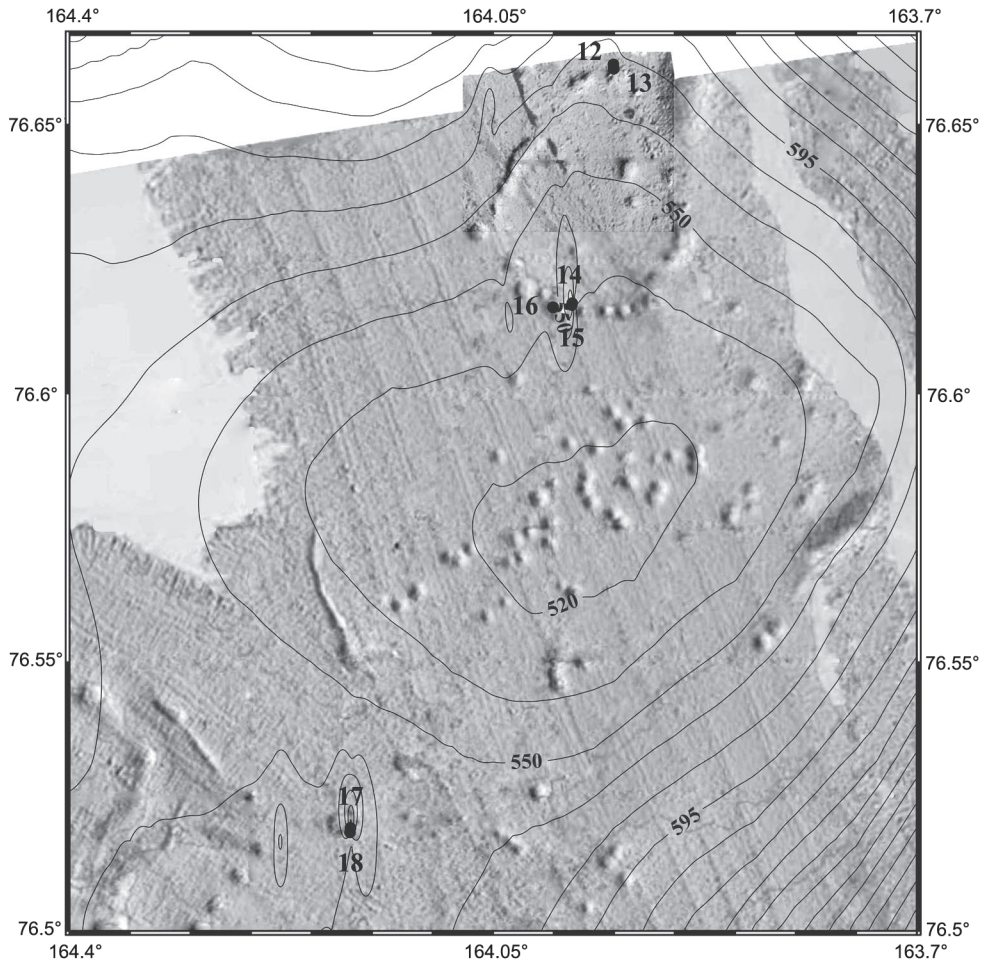
**Рис. 2.** Станции отбора проб донных осадков.

1 – дночерпателем; 2 – гидростатической трубкой, 3 – биологической драгой, 4 – участки I и II детальных геологических исследований, 5 – местоположение колонки M03 [12].

становленными, предположительно голоценовыми, пелито-алевритовыми осадками с различной примесью песка, рассеянными гравием и галькой, накопившимися в результате ледового разноса. Количество и состав грубообломочной примеси в какой-то мере определяют значения магнитной восприимчивости, максимальные величины которой отмечены в колонке 1, ближайшей к побережью, а также в колонках 8 и 10 из осевой зоны желоба Геральда. В некоторых колонках присутствуют прослой, обогащенные битой или целой ракушкой двустворчатых моллюсков.

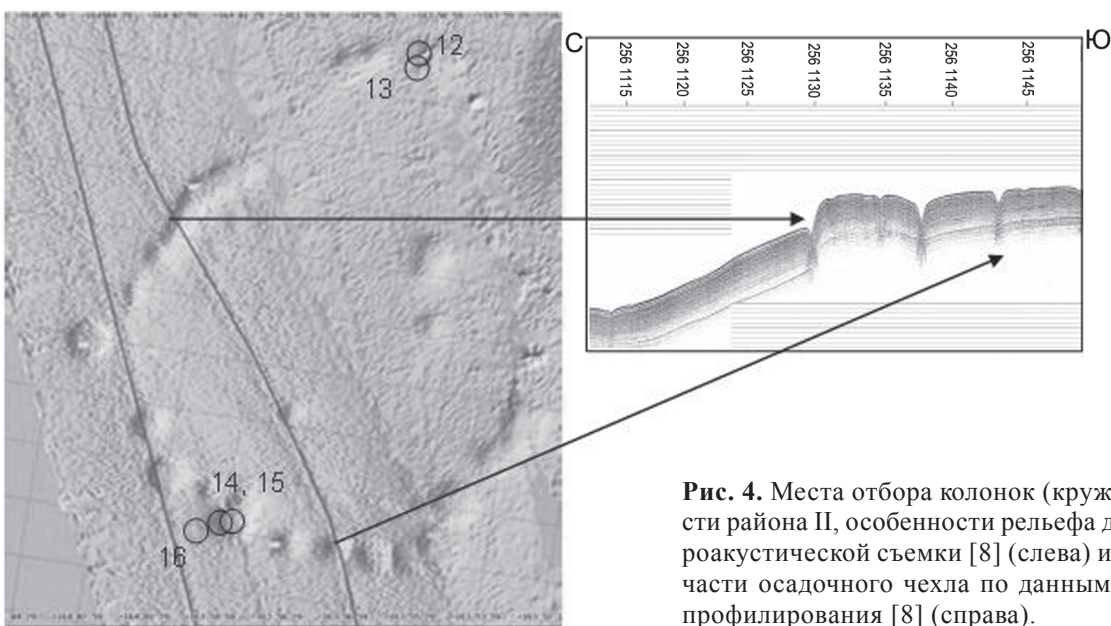
Изменение цвета осадков от зеленовато-серого до черного, очевидно, связано с происходящими в них раннедиагенетическими изменениями, скорость которых во многом зависит от содержания органического вещества. Максимальная степень раннедиагенетических изменений отмечена в пелитовых осадках колонки 11, отобранной в осевой зоне желоба Геральда при выходе его в пределы Северо-Чукотского осадочного бассейна.

На трех станциях вблизи желоба Геральда (H14, H40, H60) при биологическом драгировании были



**Рис. 3.** Генерализованный рельеф дна района покмарков на Чукотском плато (изолинии по GEBCO [11]) и особенности микрорельефа дна по данным детального картирования многолучевым эхолотом [8].

Кружки – места отбора колонок донных осадков.



**Рис. 4.** Места отбора колонок (кружки) в северной части района II, особенности рельефа дна по данным гидроакустической съемки [8] (слева) и строения верхней части осадочного чехла по данным геоакустического профилирования [8] (справа).

подняты железомарганцевые конкреции размером до 7 см в диаметре и корки с поверхности валунно-галечных отложений. Крупный фрагмент плотного известняка неправильной формы, образованного донными осадками, сцементированными скрытокристаллическим кальцитом, был поднят на биологической станции S2 в ходе драгирования.

Наиболее интересные результаты получены на участке II, где ранее [7] были обнаружены многочисленные депрессии – покмарки, происхождение и формирование которых, обычно, связывают с фокусированной разгрузкой газонасыщенной воды и/или нефти [6]. Исходя из материалов, полученных специалистами геологической службы США (USGS) в ходе съемки многолучевым эхолотом с ледокола “HEALY” в 2003 г., поле покмарков приурочено к вершине куполообразного поднятия, осложненного на севере и юго-западе более мелкими поднятиями (рис. 3). По периферии этих поднятий в отдельных случаях прослеживаются вытянутые углубления, подобные “рвам проседания” на воздымающихся антиклинальных или, например, на грязевулканических куполах. В северной части участка II отдельные покмарки образуют кольцевую структуру (рис. 3). На одном из участков этого кольца они расположены по периферии близко друг к другу, образуя единый желоб, вероятно, разлом, по которому произошло вертикальное смещение с амплитудой около 40 м (рис. 4). В юго-западной части района, по данным съемки многолучевым эхолотом, выделены крупные впадины диаметром несколько километров с выположенным днищем [8]. По размерам и морфологии эти формы рельефа похожи на термокарстовые, известные на арктических побережьях.

На участке II было отобрано 7 кернов максимальной длиной 2.6 м (рис. 5). Во вскрытых отложениях повышенные содержания углеводородных газов или признаки их недавней миграции к поверхности дна обнаружены не были. Характерной особенностью изученных осадков является наличие прослоев, обогащенных кальцитом (рис. 5), что типично для районов холодных газовых выходов [1, 6]. Содержание карбоната кальция в них достигает 55 %, наиболее детально их границы выделены по содержанию кальция (рис. 5, колонка 12).

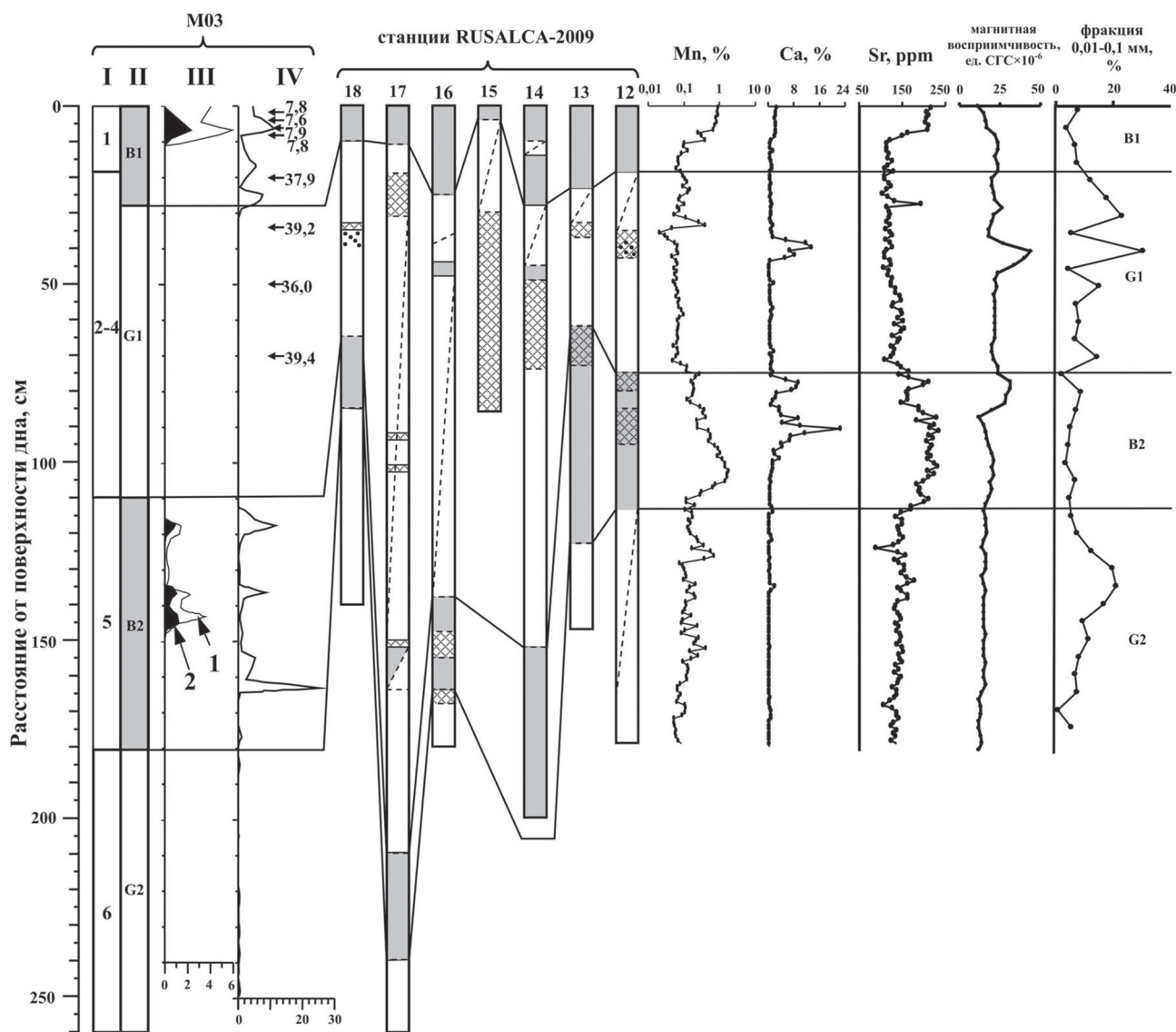
За исключением указанных прослоев, колонки вскрыли типичный для глубоководной котловины Северного Ледовитого океана разрез [5, 10, 12], представленный чередованием коричневых или светло-коричневых, обогащенных марганцем осадков, накопившихся в теплые периоды (1, 5... изо-

топно-кислородные стадии (ИКС)) и серых, оливково-серых, накопившихся в ледниковые этапы (2-4, 6... ИКС). Подобно детально изученной в этом районе колонке M03 [12], коричневые прослои в колонках Чукотского плато содержат карбонатные раковины фораминифер, песок и гальку ледового разноса. В большинстве колонок, отобранных на Чукотском плато, выделено два цикла смены условный осадконакопления (рис. 5); соответственно, возраст осадков по колонкам достигает 250–300 тыс. лет.

Окисленные осадки представлены пелитами с высоким содержанием марганца и повышенной примесью песка и более крупного обломочного материала ледового разноса (рис. 5). Значительное содержание раковин фораминифер в осадках теплых стадий фиксируется, в том числе, по повышенным (до 2.1–2.6 % в интервале 0–10 см) относительно фоновых (0.5–1.5 %) содержаниям кальция в осадках колонки 12 (рис. 5), а также почти двукратным увеличением содержания стронция в слоях теплых стадий (0–10 см, 75–115 см). Распределение алевритовой фракции по разрезу колонки 12 (рис. 5) демонстрирует более грубый гранулометрический состав пелитовых осадков, накопившихся в холодные стадии, по сравнению с межледниковыми, что было ранее установлено в других районах арктического бассейна [9].

Во многих колонках стандартный для региона разрез верхнечетвертичных отложений [5, 10, 12] осложняется наличием горизонтов (линз) неяснослоистых осадков, накопившихся со значительно большей скоростью, чем вмещающие. Эти прослои не имеют отчетливых границ и входят, как правило, в состав серых горизонтов, накопившихся в холодные этапы (рис. 5). В них преобладают серые и оливково-серые осадки, но на границах с коричневыми горизонтами в их составе появляются коричневые линзы и прослои. Формирование этих неяснослоистых осадков обусловлено, вероятно, локальным увеличением скорости осадконакопления в результате сноса осадочного материала со склонов и поверхности плато в котловины покмарков в процессе или после их формирования.

Все выявленные карбонатные прослои находятся в составе первого серого горизонта (G1, колонки 12, 14, 15, 18) либо ниже, но уже вне зависимости от стратиграфических уровней (рис. 5). Изученные карбонатизированные прослои и линзы отличаются интенсивной биотурбацией, повышенной плотностью, комковатой отдельностью, более темным, чем вмещающие осадки, цветом. Большинство из них имеет признаки интенсивной биотурбации с многочисленными ходами роющих



**Рис. 5.** Предварительная стратиграфическая корреляция колонок 12–18 из района покмарков и колонки M03 [12] из Чукотской котловины.

Залитые интервалы – осадки теплых стадий, светлые – холодных стадий, штриховка – карбонатизированные интервалы, косое перечеркивание – неяснослоистые осадки. Точками обозначены сильно песчанистые интервалы колонок. Содержания Ca, Mn, Sr, магнитная восприимчивость, содержание фракции 0.01–0.1 мм приведены для колонки 12. Некоторые характеристики осадков колонки M03 [12]: I – изотопно-кислородные стадии; II – цветные слои; III – фораминиферы, кол-во раковин  $\times 1000$  / г осадка: 1 – планктонные, 2 – бентосные; IV – содержание материала ледового разноса (% фракции  $>0,135$  мм), радиоуглеродные датировки (тыс. лет).

организмов диаметром 3–10 мм, заполненных вышележащим осадком, часто иного цвета и плотности. Многие из карбонатизированных прослоев носят следы растворения карбонатов вдоль границ с вмещающим осадком, в результате чего максимальная карбонатность отмечается в центре прослоев (рис. 5). Исходя из существующих представлений о формировании аутигенных карбонатов в зонах газовых источников в процессе микробного окисления метана на поверхности дна или в слое

осадков вблизи нее [1, 6], можно предположить, что последний этап миграции газов или газонасыщенных вод и формирования карбонатов мог иметь место в холодные 2–4 изотопно-кислородные стадии десятки тысяч лет назад при низком положении уровня моря. В это же время и в более раннюю холодную 6 ИКС накапливались линзы неяснослоистых осадков.

Полученные в экспедиции результаты показывают, что на бордерленде и материковом склоне чукот-

ско-алаякского сектора Северного Ледовитого океана имеются признаки современной геологической активности, которая в настоящее время не сопровождается флюидодинамическими процессами. Масштабы и характер ее могут быть оценены после полной обработки полученных данных.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Деркачев А.Н., Обжиров А.И., Борман Г. и др. Аутигенное минералообразование на участках проявления холодных газово-флюидных эманаций на дне Охотского моря // Условия образования донных осадков и связанных с ними полезных ископаемых. Владивосток: Дальнаука, 2002. С. 47–60.
2. Поляк Б.Г., Дубинина Е.О., Лаврушин В.Е., Чешко А.Л. Изотопный состав воды гидротерм Чукотки // Литология и полез. ископаемые. 2008. № 5. С. 480–504.
3. Сенин Б.В., Шипилов Э.В., Юнов А.Ю. Тектоника арктической зоны перехода от континента к океану. Мурманск: Кн. изд-во, 1989. 176 с.
4. Crane K. Russian-American Long-term Census of the Arctic/ Initial Expedition to the Bering and Chukchi Seas // Arctic Research of the United States. 2005. V. 19. P. 73–76.
5. Jakobsson M., Løvlie R., Al-Hanbali H. et al. Manganese and color cycles in Arctic Ocean sediments constrain Pleistocene chronology // Geology. 2000. V. 28 (1). P. 23–26.
6. Judd A., Hovland M. Seabed Fluid Flow, the impact on geology, biology and the marine environment. Cambridge University Press, 2007. 475 p.
7. MacDonald I. R., Bluhm B., Iken K. et al. Benthic Community Composition and Seabed Characteristics of a Chukchi Sea Pockmark. American Geophysical Union, Fall Meeting 2005, abstr. #OS51B-0564.
8. Mayer L.A., Armstrong A.A. U.S. Law of the Sea Cruise to Map the Foot of the Slope and 2500-m Isobath of the U.S. Arctic Ocean Margin. Cruise Report for 2007", University of New Hampshire (UNH), Center for Coastal and Ocean Mapping (CCOM)/Joint Hydrographic Center (JHC), Durham, NH, 2007, 182 p.
9. Moran K., Backmann J., Brinkhuis H. et al. The Cenozoic palaeoenvironment of the Arctic Ocean // Nature. 2006. V. 441(1). P. 601–605.
10. 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 // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2004. V. 203. P. 73–93.
11. The GEBCO\_08 Grid, version 20081212, <http://www.gebco.net>.
12. Wang R. J., Xiao W. S., Li W. B., Sun Y.C. Late Quaternary ice-rafted detritus events in the Chukchi Basin, western Arctic Ocean // Chinese Sci. Bull. 2009. doi: 10.1007/s11434-009-0424-8.

*Рекомендована к печати Р.Г. Кулиничем*