

УДК 551.24

СТРОЕНИЕ ЗОНЫ ПЕРЕХОДА ОТ ШЕЛЬФА БАРЕНЦЕВА МОРЯ К ХРЕБТУ КНИПОВИЧА СЕВЕРНЕЕ О. МЕДВЕЖИЙ (ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ 26-ГО РЕЙСА НИС “АКАДЕМИК НИКОЛАЙ СТРАХОВ”)

© 2010 г. А. В. Зайончек, Х. Брекке, С. Ю. Соколов, А. В. Ермаков, В. Н. Ефимов,
Ю. А. Зарайская, В. Р. Ахмедзянов, Н. Д. Калинин, А. В. Кохан, Е. А. Мороз,
Д. М. Ольшанецкий, А. А. Разумовский, К. П. Ямпольский

Представлено академиком Ю.Г. Леоновым 21.05.2009 г.

Поступило 25.05.2009 г.

В рамках программы “Международный полярный год” с 30 декабря 2008 г. по 29 января 2009 г. на северо-западе Баренцева моря, континентальном склоне и хребте Книповича был проведен 26-й рейс нис “Академик Николай Страхов” Геологического института РАН (начальник экспедиции – А.В. Зайончек) (рис. 1). Задачей рейса было изучение геологического строения и эволюции Норвежско-Гренландского бассейна и северо-западной части Баренцева моря согласно программам Президиума Российской Академии наук № 16, “Изменения окружающей среды и климата: природные катастрофы”, № 17, “Фундаментальные проблемы океанологии: физика, геология, биология, экология” (проекты “Сравнительное изучение эволюции и современной структуры континентальных окраин Восточной Атлантики и Арктики”, Отделения наук о Земле № 14, “История формирования бассейна Северного Ледовитого океана и режим современных природных процессов Арктики”, а также программы Геологического института РАН и Норвежского нефтяного директората “Позднемезозойская–кайнозойская тектоно-магматическая эволюция баренцевоморского шельфа и континентального склона как ключ к палеогеодинамическим реконструкциям в Северном Ледовитом океане” (руководители – А.В. Зайончек и Х. Брекке).

Во время экспедиции сбор данных о рельефе дна и наиболее верхних частях осадочного чехла был осуществлен гидроакустической системой RESON, которая включает многолучевые эхолоты SeaBat-8111 (мелководный) и SeaBat-7150 (глубоководный), а также высокочастотный профилограф EdgeTech-3300. Съемка сопровожда-

лась непрерывным сейсмическим профилированием (НСП), которое проводилось комплексом разработки ГИН РАН. При станционных работах проводились измерения теплового потока и скорости звука зондами ГЕОС-М и SVP-24 соответственно. Значения теплового потока получены на 20 станциях, а на 4 проведено измерение скорости звука в воде. Общая протяженность маршрутной съемки с эхолотированием и высокочастотным профилированием – 6200 км, а дополненной сейсмопрофилированием – 3000 км.

Информация о строении верхней части осадочного чехла и рельефа в исследуемом районе крайне скупа. В работе [1] приведены данные о строении верхней части осадочного чехла в районе хребта Книповича, в работе [3] – в троге Стур-фьорд к югу от архипелага Шпицберген. Важным является упоминание о наличии газогидратов и структур их разгрузки к востоку от о. Медвежий [9].

Первоначально было запланировано провести исследование в троге Стур-фьорд, но ледовая обстановка позволила закартировать только его южный борт. В дальнейшем работы были продолжены на континентальном склоне и на хребте Книповича и северо-западном фланге хребта Мона (рис. 1) в продолжение съемок 24-го и 25-го рейсов. В публикации представлены основные результаты работ.

Шельф и континентальный склон. В процессе проведения высокоточной многолучевой батиметрической съемки в пределах шельфовой части устья трога Стур-фьорд установлено существенное несоответствие данных ИВСаО [8] полученной информации о рельефе, которое достигает 220 м. Выявлено, что днище трога изрезано многочисленными бороздами, условно отнесенными к двум группам: линейные (предположительно тектонического генезиса) и ледниковые борозды выпахивания. Линейные борозды север-

*Геологический институт
Российской Академии наук, Москва
Norwegian petroleum directorate, Stavanger*

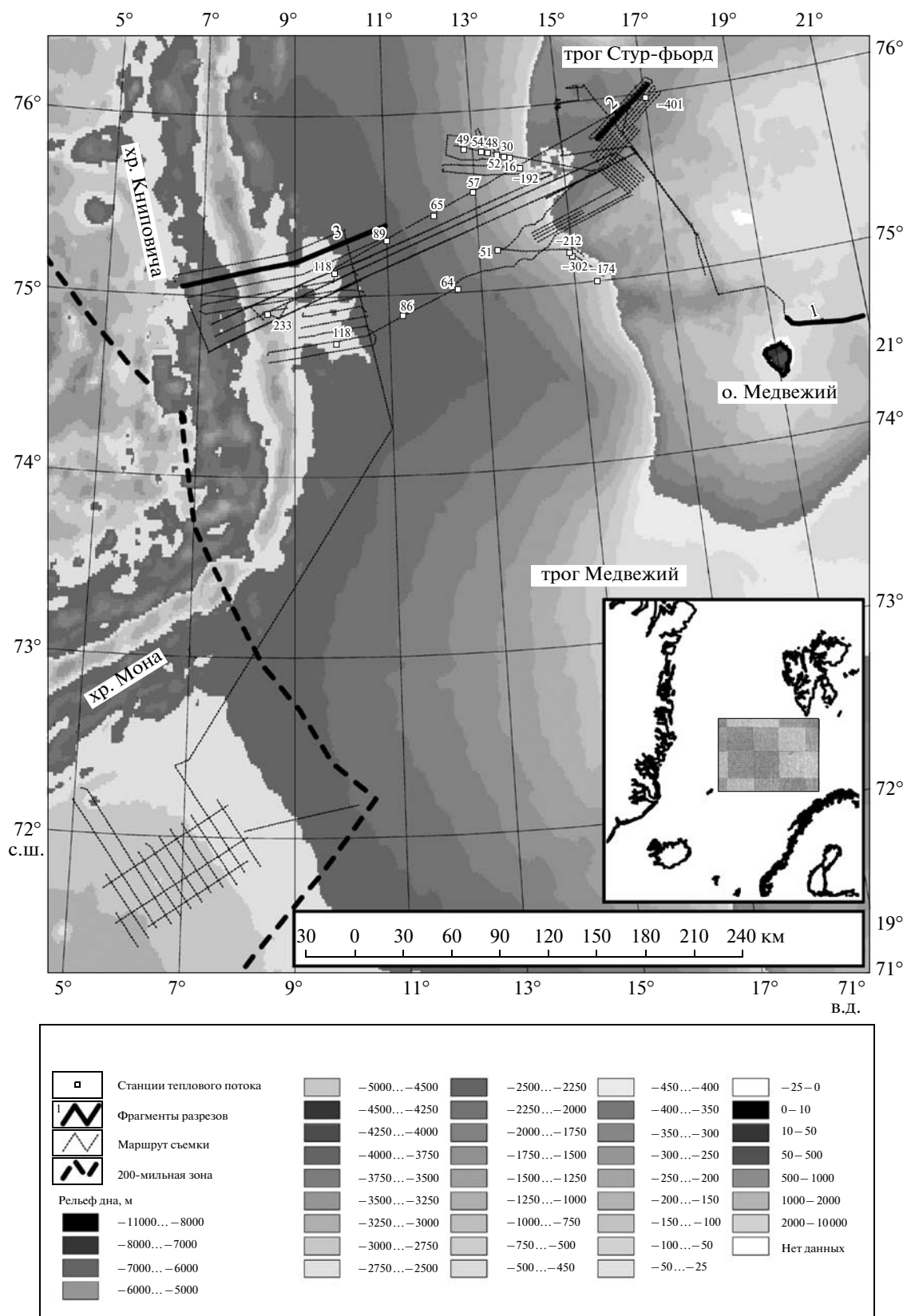


Рис. 1. Схема работ 26-го рейса нис “Академик Николай Страхов”: положение станций и значение теплового потока (мВт/м²), положение использованных фрагментов разрезов с номером, маршрут съемки, 200-мильная эксклюзивная экономическая зона Норвегии и рельеф дна. На врезке дано положение основного района работ в Норвежском море.

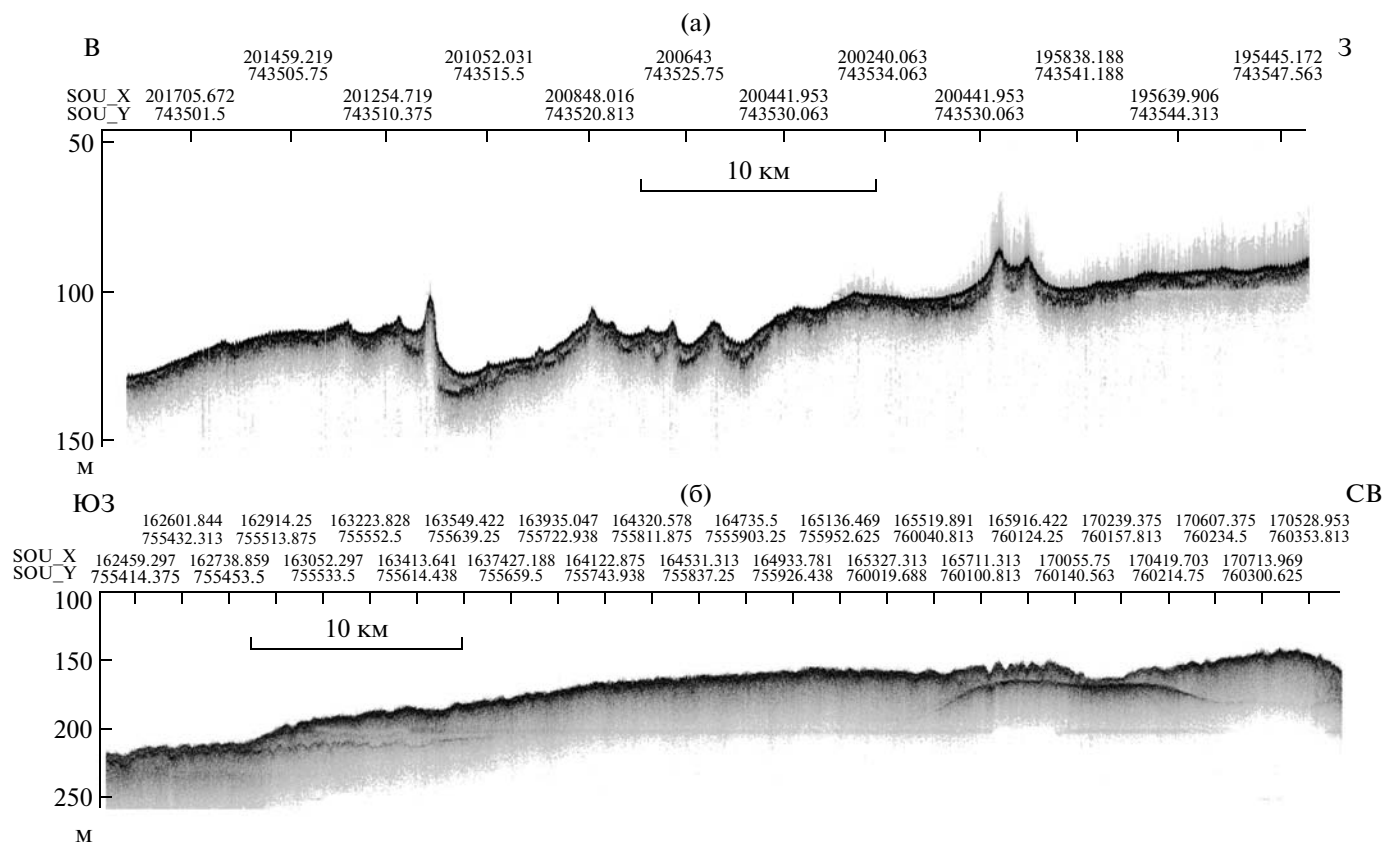


Рис. 2. Фрагменты разрезов профилографа EdgeTech -3300: а – S26-001 (положение 1 на рис. 1), б – S26-P2-09 (положение 2 на рис. 1). По горизонтали подписана широта и долгота в формате ГрадМинСек.

северо-восточного простирания имеют протяженность до 10 км, расстояние между бортами наиболее крупных из них 400 м, а относительная глубина 15 м. В структурном плане они сгруппированы в виде полосы шириной порядка 7 км. Основная часть борозд выпахивания не имеет определенного направления. Некоторые из них сгруппированы в субпараллельные системы и отличаются в структурном плане от тектонических извилистыми очертаниями форм борозд. По соотношению этих форм рельефа предварительно можно предположить, что они были сформированы в разные этапы. Борозды исчезают на глубинах около 500–600 м, глубже которых рельеф континентального склона выровнен.

По данным профилографа характер акустической стратификации пород дна меняется от непрозрачного, связанного с обнажением консолидированных пород, до переслаивания акустически хорошо стратифицированных пачек мощностью 2–3 м. На северном обрамлении Медвежинского поднятия установлены протяженные выходы коренных пород. Интенсивность отражения и характер записи позволяют проинтерпретировать их как дайки (рис. 2а). Подобные выходы, над которыми присутствуют локальные положительные

магнитные аномалии, отмечены к север-северо-западу от района работ [2]. Выходы интрузивных образований на поверхность дна свидетельствуют о происшедшем/происходящем подъеме дна, приводящем к эрозии вмещающих пород.

На глубине около 20–25 м наблюдается придонный рефлектор, который в целом повторяет контуры дна, но не соответствует в местах изрезанности дна бороздами выпахивания (рис. 2б). Наиболее вероятно, что он имеет физическую, а не стратиграфическую природу и является либо термальной границей, либо границей зоны стабильности газогидратов. В северной части трога Стур-фьорд появляется устойчивый трехслойный характер рефлекторов, конформных рельефу дна. Подобная ситуация характерна для осадочных толщ, сформированных при ритмичном поступлении терригенного материала.

В северо-восточной части района обнаружен рефлектор с резким увеличением динамики отражений (рис. 2б). Он приближен к поверхности дна в середине кольцеобразной морфоструктуры рельефа. Можно выдвинуть два объяснения: происходит начальный этап разгрузки газогидратов, перешедших в подвижное флюидное состояние; зафиксирована кровля магматического тела, ко-

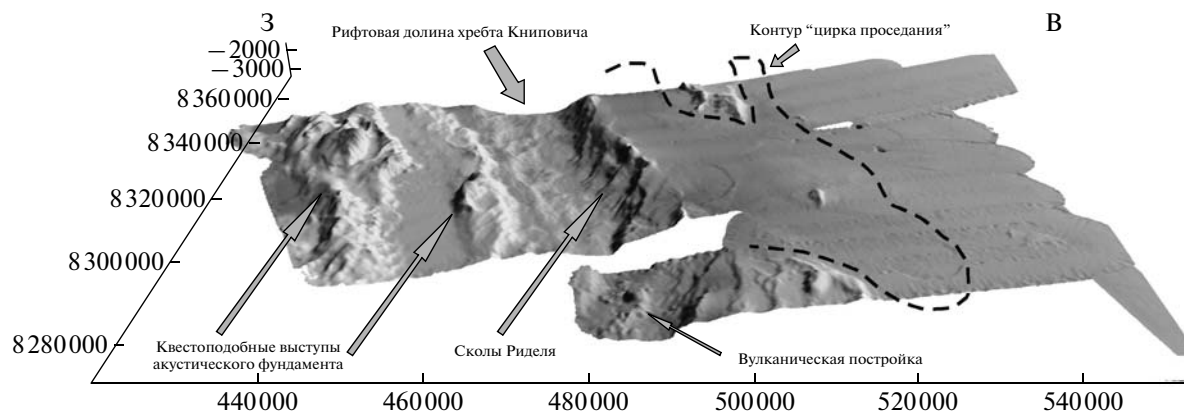


Рис. 3. Трехмерный оттененный рельеф фрагмента съемки на хребте Книповича. По горизонтальным осям — метры в проекции UTM32.

тому, по данным [10], соответствует изолированная магнитная аномалия. В этом же районе, в водяной толще, нами выявлены акустические помехи, сходные с газовыми факелами. Этот район требует специального изучения.

Зона шельфа и трога Стур-фьорд по данным НСП подвержена эрозии и содержит рефлекторы типа BSR (bottom simulated reflector). Большая часть чехла, “видимая” методом НСП, датируется средне-позднеплиоценовым временем [3]. Она содержит ледниковые проградационные дельты со специфической волновой картиной. Переход от бровки шельфа к склону сопровождается увеличением мощности шельфовых сейсмокомплексов.

Хребет Книповича. В рельефе изученного сегмента хребта Книповича проявлены рифтовая долина и рифтовые горы западного борта хребта, являющиеся квестоподобными выступами акустического фундамента. На восточном борту располагаются отдельные поднятия акустического фундамента в обрамлении осадочного чехла (рис. 3). В районе полигона на западном борту хребта выделяется две параллельные системы поднятий, разделенные понижением, заполненным осадочным чехлом. Восточный борт в районе работ отличается выровненным рельефом с хорошо различимым контуром проседания осадков с перепадом около 60–120 м (рис. 1 и 3). Рифтовая долина имеет U-образный профиль при ширине днища 10 км, ширина от бровки до бровки составляет около 20 км. Днище долины осложнено уступами, имеющими простирание северо-восток–юго-запад и являющимися сколами Риделя, ориентированными под углом около 35° к оси рифта, являющегося структурой растяжения [6]. Относительная высота уступов достигает 200 м над днищем долины. В долине зафиксирована вулканическая постройка центрального типа.

В районе континентального подножия около депрессии рельефа на восточном борту хребта Книповича по данным профилографа наблюдается переход к пелагическому осадконакоплению и присутствие различных видов деформаций, затрагивающих верхние 100 м осадочного чехла: сбросовых, взбросовых и пликативных, не наблюдаемых на западном борту хребта. Это означает современную подвижность структуры на востоке. Характер стратификации осадков на западном борту резко отличается от восточного, и это говорит о том, что отложения турбидитных потоков не имеют прямого продолжения через хребет. Отложения конусов выноса как в сжатых разрезах, так и в раздутых линзах переслаиваются и налегают друг на друга таким образом, что в целом разрез по линии абиссаль–шельф имеет отчетливо трансгрессионный вид.

По данным НСП переход от континентального склона к подножию отмечается фациальной сменой в картине волнового поля с акустически прозрачных комплексов с хаотичным нестратифицированным внутренним строением на более контрастные и коррелируемые рефлекторы (рис. 4) удаленных частей конуса выноса. Вблизи хребта отмечаются сбросовые нарушения, особенно в районе “цирка проседания” между 74°40' и 75°20' с.ш. Местами встречаются узкие зоны со взбросовыми нарушениями. Это говорит о сложной динамике растяжения в данном районе, продолжающейся в настоящее время. Амплитуда проседания акустического фундамента в районе “цирка” может составить 300–400 м. Амплитуда сброса рифтовой долины по краю осадков в данном сегменте хребта достигает 1.5 км. В районе широты 75°5' на глубине около 200 м на субмеридиональном профиле рефлектор на глубине около 150 м испытывает резкое погружение по сбросу амплитудой около 100 м, что, скорее всего, показывает продолжение сколов Риделя по касательному напряжению

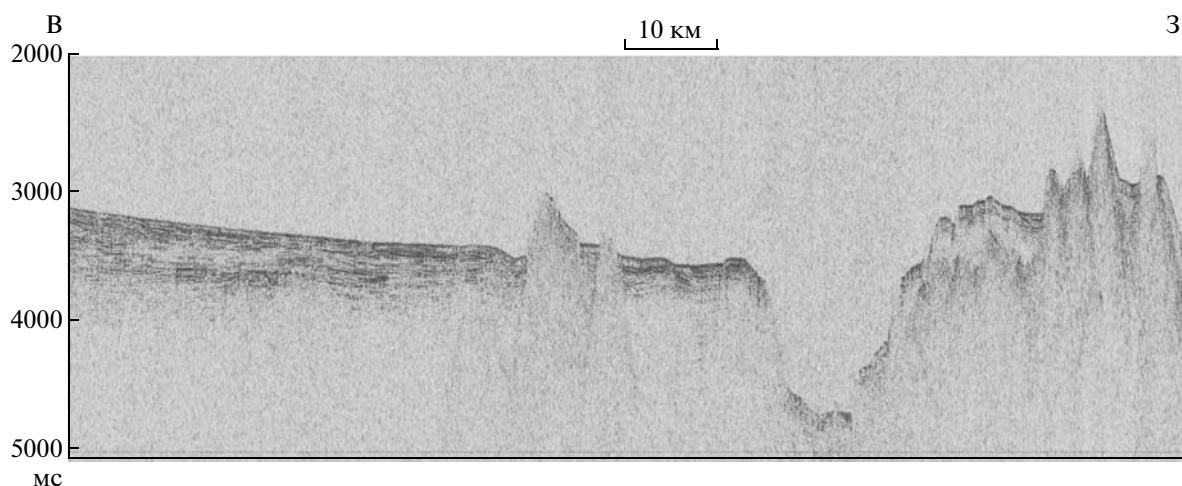


Рис. 4. Фрагмент разреза НСП S26-P3-13 (положение 3 на рис. 1) через рифтовую долину хребта Книповича.

в восточном борту хребта на удалениях от его оси не менее 65 км.

Хребет Мона. Район съемки расположен на южном борту медленноспредингового хребта Мона. Рельеф полигона выровнен, с отдельными поднятиями, являющимися выходами акустического фундамента. Источником терригенного материала служит конус выноса трога Медвежий. По данным профилирования и эхолотирования в юго-западной части полигона выделяется конседиментационная депрессия, под которой наблюдается сброс с амплитудой около 20 м, что свидетельствует о локальном растяжении. Выходы фундамента представляют собой две горы, наиболее высокая из которых расположена ближе к хребту Мона, вершина горы располагается на глубине 1900 м, относительная высота около 1000 м. Вторая гора представляет собой вытянутое в юго-западном направлении поднятие с относительной высотой около 500 м.

По данным профилографа на южном борту хребта Мона направление сноса осадочного материала ориентировано с востока на запад, и в пределах полигона наблюдается переход от переслаивания линз средней зоны конуса выноса к его удаленной части со сжатым разрезом. Направление источника сноса терригенного материала с севера на юг практически исключено. Как было сказано выше, в пределах полигона наблюдается депрессия северо-западной ориентации, заполненная конседиментационными осадками переменной мощности. На профилях, перпендикулярных направлению сноса материала конуса выноса трога Медвежий, устанавливается мощность осадочного чехла до 900 м, с динамикой сейсмофаций, свойственной средним и удаленным частям конуса выноса, с возможной примесью вулканокластического материала. Переход к пелагическому осадконакоплению происходит на удалениях

около 350 км от устья трога Медвежий, что в два раза дальше аналогичного перехода на конусе трога Стур-фьорд.

Тепловой поток. Измерения температуры водной толщи, теплопроводности и теплового потока (ТП) проводились на 20 станциях (рис. 1). На 15 из них получены кондиционные значения глубинного ТП, на остальных пяти зафиксирован теплоток, искаженный экзогенными факторами: придонными течениями, периодическими сезонными колебаниями температуры дна и, возможно, наличием линз мерзлых пород в донных осадках. Значения ТП хорошо согласуются с представлениями о его зависимости от возраста второго слоя океанической коры: увеличение ТП происходит по мере уменьшения возраста второго слоя океанической коры и приближения к оси спрединга на хребте Книповича. Кроме того, измеренные значения хорошо согласуются с ранее полученными данными других исследований для этого района [7, 11].

Измеренные *in situ* значения теплопроводности находятся в пределах 0.77–1.15 Вт/(м·К). Мы не отмечаем каких-либо закономерностей в распределении значений теплопроводности. Среднее значение теплопроводности по всем станциям составляет 0.96 Вт/(м·К).

Температуры на поверхности воды повсеместно положительные. Нулевая изотерма расположена на глубинах от 500 до 950 м. На всех профилях можно видеть разрез водной толщи с хорошей стратификацией по температуре. Максимальная температура зафиксирована на ст. 2603, расположенной на континентальном склоне в полосе Северо-Атлантического течения. Она составляет 5.8°C на глубине от 0 до 240 м. Минимальные температуры (–0.75°C) зафиксированы на ст. 2605, 2617 и 2618 на глубинах от 1220–1450 до 1251–1533 м.

Полученные новые результаты важны для понимания роли северной ветви Гольфстрима в формировании придонных термических условий.

Анализ имеющихся данных скважинных и зондовых измерений в Баренцевом море позволяет говорить о тенденции повышения теплового потока в северо-восточном и северо-западном направлениях. Так, в зоне сочленения Кольской микроплиты и Балтийского щита среднее значение теплового потока составляет 54 мВт/м^2 , а в районах Северо-Баренцевоморской впадины и Центрально-Баренцевоморского поднятия — 70 мВт/м^2 . Мы ранее связывали такую тенденцию тренда теплового потока с приближением к Северо-Атлантическому центру спрединга и соответствующим омоложением континентальной коры [4, 5]. Полученные новые данные о тепловом потоке в северо-западной части моря подтверждают высказанное предположение.

В ы в о д ы. Установлен подъем области шельфа в районе к северу от о. Медвежий, в результате которого протекают интенсивные эрозионные процессы, являющиеся источником терригенного материала для конусов выноса, заполняющих пространство от края шельфа до хребта Книповича. Неровности рельефа в устье трога Стур-фьорд показывают наличие тектонической трещиноватости в области интенсивного изостатического процесса в зоне перехода континент—океан, при котором происходит изгиб коры. Характер следов движения айсбергов при оледенении показывает, что они сформированы в разное время.

Съемка в районе сегмента хребта Книповича от $74^{\circ}40'$ до $75^{\circ}20'$ с.ш., показывает интенсификацию современных неотектонических процессов на восточном борту рифтовой долины вместе с увеличением ее амплитуды до максимальной, зафиксированной на всем протяжении хребта. Характер деформаций осадочного чехла свидетельствует о продолжении сколов Риделя под осадками на восточном борту и подтверждает правосдвиговую модель зоны хребта.

Съемка в районе южного борта хребта Мона показала неотектоническую активность на фланге в виде депрессии северо-западной ориентации

со сбросовым нарушением. Источником сноса осадочного материала, отлагающегося к югу от хребта, является трог Медвежий.

Получены геотермические данные, подтверждающие высказанное ранее предположение о зависимости теплового потока от возраста коры в северной части Атлантического океана. Получены данные о температурах водной толщи в районе континентального склона западной окраины Баренцева моря.

Авторы выражают благодарность экипажу нис “Академик Николай Страхов”, осуществившему нелегкую навигацию судна в зимний период.

Работы выполнены при финансовой поддержке программ Президиума РАН № 16, 17, программы Отделения наук о Земле РАН № 14 и Норвежского нефтяного директората.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусев Е.А., Шкарубо С.И. // Рос. журн. наук о Земле. 2001. Т. 3. № 2.
2. Мусатов Е.Е. // Океанология. 1996. Т. 36. № 3. С. 444–450.
3. Шлыкова В.В., Казанин Г.С., Павлов С.П. и др. // Разведка и охрана недр. 2008. № 8. С. 39–44.
4. Хуторской М.Д., Леонов Ю.Г., Ермаков А.В., Ахмедзянов В.Р. // ДАН. 2009. Т. 424. № 2. С. 227–233.
5. Хуторской М.Д., Подгорных Л.В., Грамберг И.С., Леонов Ю.Г. // Геотектоника. 2003. № 3. С. 79–96.
6. Crane E., Doss H., Vogt P. et al. // Mar. Geophys. Res. 2001. V. 22. P. 153–205.
7. Eldholm O., Sundvor E., Vogt P.R. et al. // Geo-Marine Lett. 1999. V. 19. № 1–2. P. 29–37.
8. IBCAO. International Bathymetric Chart of Arctic Ocean. 2005. (<http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/bathymetry/arctic/arctic.html>).
9. Lammers S., Suess E., Hovland M. // Geol. Rundsch. 1995. Bd. 84. S. 59–66.
10. Olesen O.G., Gellein J., Habrekke H. et al. Magnetic Anomaly Map of Norway and Adjacent Ocean Areas. Scale 3 million. Geological Survey of Norway. 1997.
11. Sundvor E., Eldholm O., Gladchenko T.P., Planke S. // Geol. Soc. London. Spec. Publ. 2000. V. 167. P. 397–410.