

УДК 551.24

СТРОЕНИЕ ЗОНЫ ПЕРЕХОДА ОТ ХРЕБТА ХОВГАРД К ПЛАТО ШПИЦБЕРГЕН (ПО ДАННЫМ 27-ГО РЕЙСА НИС “АКАДЕМИК НИКОЛАЙ СТРАХОВ”)

© 2011 г. А. В. Зайончек, С. Ю. Соколов, А. О. Мазарович, А. В. Ермаков,
А. А. Разумовский, В. Р. Ахмедзянов, А. А. Баранцев, Н. С. Журавко, Е. А. Мороз,
Е. А. Сухих, М. М. Федоров, К. П. Ямпольский

Представлено академиком Ю.Г. Леоновым 14.02.2011 г.

Поступило 17.02.2011 г.

В рамках исследований “Международного полярного года” с 16 августа по 8 сентября 2010 г. в Гренландском море (районы разломной зоны Моллой и хребта Ховгард), а также в центральной части трога Орли (северо-запад Баренцева моря) проведен 27-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 по программе Президиума РАН № 20 “Фундаментальные проблемы океанологии: физика, геология, биология, экология” по проекту “Тектоническое строение и геодинамика внешней зоны западно-арктического шельфа Евразии и континентального склона в кайнозой”, выполненному совместно с Норвежским нефтяным директором (NPD), научные руководители академик Ю.Г. Леонов и Х. Брекке.

Во время экспедиции сбор данных о рельефе дна и верхних частях осадочного чехла осуществлен гидроакустической системой RESON (Дания), которая включает многолучевые эхолоты SeaBat-8111 (мелководный) и SeaBat-7150 (глубоководный), а также высокочастотный профилограф EdgeTech-3300 (США). Съемка сопровождалась непрерывным сейсмическим профилированием (НСП) электроискровым комплексом СОНИК-4М разработки НПП ЛЕНАРК (Россия). При станционных работах проводили измерения теплового потока зондом ГЕОС-М (Россия). Значения теплового потока получены на 20 станциях. Общая протяженность маршрутной съемки с эхолотированием и высокочастотным профилированием 2500 км, вместе с сейсмопрофилированием 1400 км.

Информация о строении верхней части осадочного чехла и рельефа в исследуемом районе по

данным предыдущих экспедиций приведена в [1–4]. Важной является работа [5], где рассматриваются результаты сейсмоакустических исследований газогидратов на западе плато Шпицберген.

Первоначально значительная часть исследований была запланирована в трого Орли, но ледовая обстановка не позволила их осуществить. Были проведены только измерения теплового потока в кольцевой структуре, обнаруженной ранее [4]. В дальнейшем работы были продолжены на хребтах Книповича, Ховгард и в разломной зоне Моллой (см. рис. 1). В сообщении представлены краткие результаты работ.

Рельеф зоны перехода от хребта Ховгард к плато Шпицберген. В южной части района работ (рис. 2) по данным батиметрической съемки выявлена возвышенность овальной формы северо-восточного простирания, протяженностью около 17 км и превышением глубин порядка 170 м. Она имеет сочленение с периферийными частями кулисообразных поднятий хр. Книповича. Там же отмечен подводный трог с глубинами вреза до 25 м.

Разломная зона Моллой представляет собой крупную структуру, протягивающуюся в северо-западном направлении. Ее ширина составляет в среднем 700 м и хорошо выражена на глубинах 2600–2650 м на всем протяжении. В средней части разлома Моллой отмечены глубины до 2986 м.

В плане разломная зона имеет клиновидную форму. На северо-западе ее ширина составляет первые сотни метров. На юго-востоке она расширяется до 5–6 км, приобретая форму “конского хвоста”, оперяющего разломную структуру эшелонированными уступами в рельефе дна.

В северной части полигона отмечается подводный канал (см. рис. 2), который начинается с глубины 1600 м и прорезает континентальный склон, поворачивая в северо-западном направлении. Глубина русла около 60 м. Ширина канала 450–500 м.

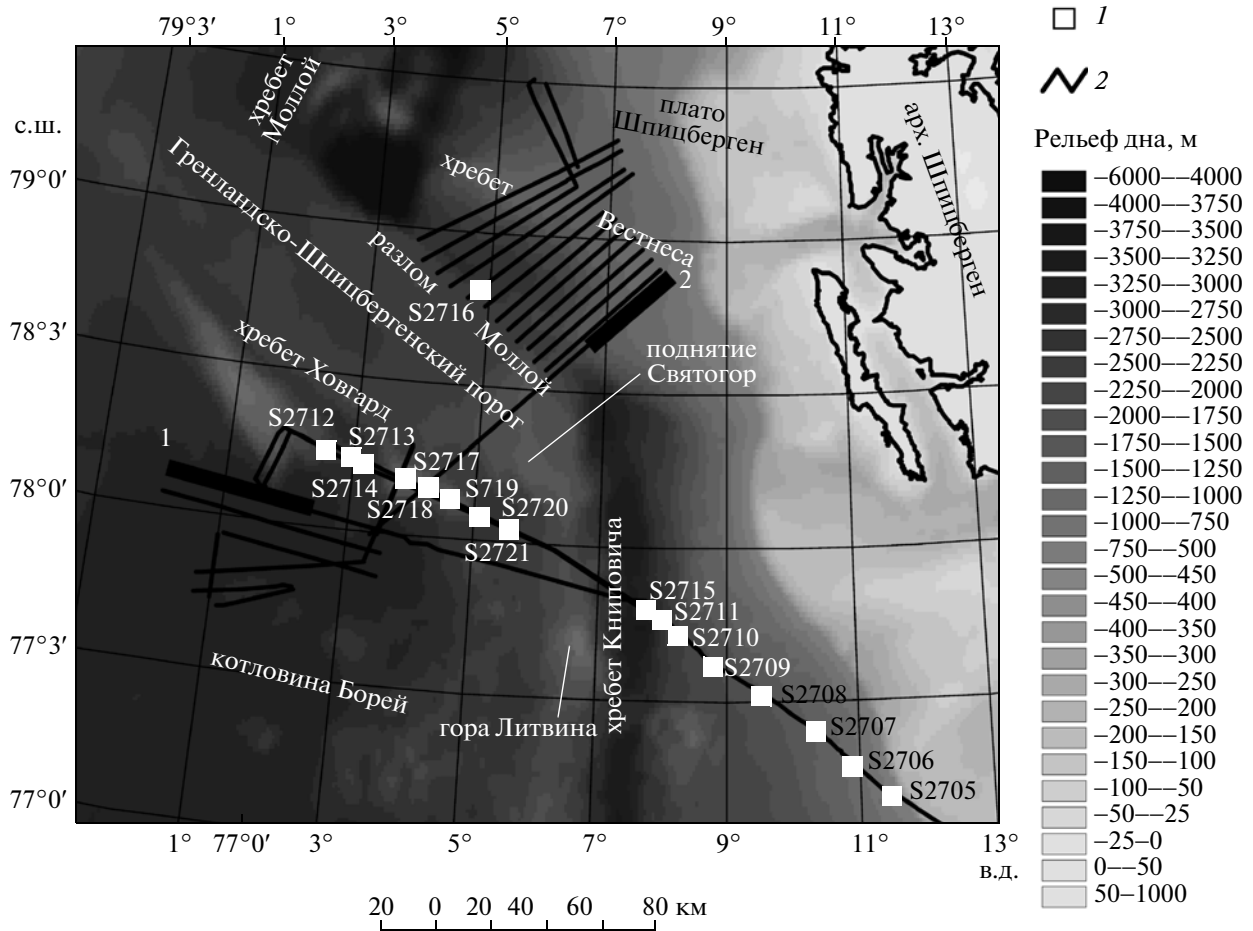


Рис. 1. Схема работ 27-го рейса нис “Академик Николай Страхов”. 1 – станции, 2 – линии профилей. Положение использованных фрагментов разрезов показано утолщенными линиями (1 и 2).

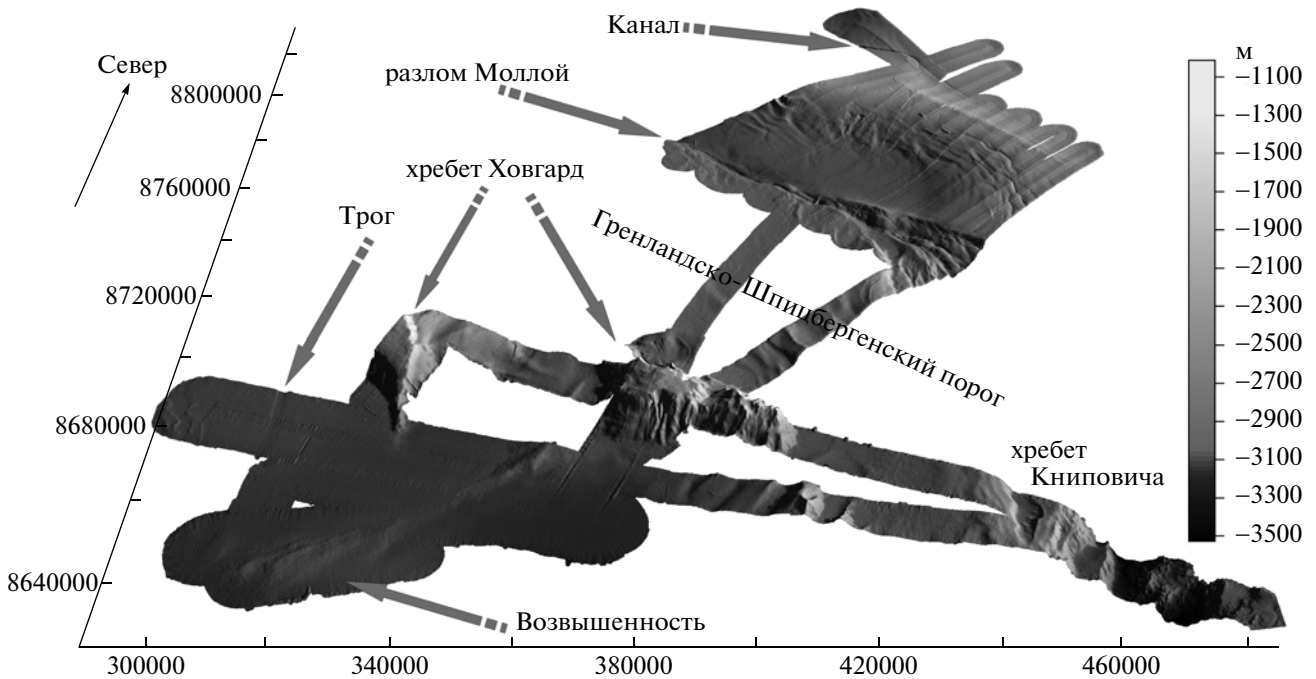


Рис. 2. Трехмерный отнененный рельеф батиметрической съемки 27-го рейса нис “Академик Николай Страхов” на флангах разлома Моллой. По горизонтальным осям – метры в проекции UTM32.

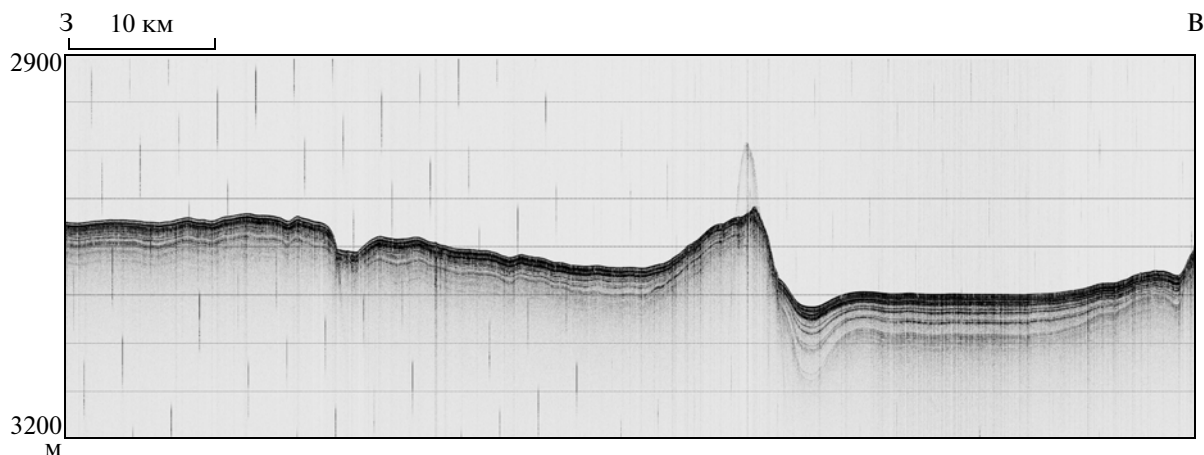


Рис. 3. Фрагмент разреза S27-P2-01, профилограф EdgeTech-3300 (линия 1 на рис. 1).

Хребет Ховгард протягивается юго-западнее и субпараллельно разломной зоне Моллой. С юго-запада от ограничивает абиссальную котловину Борей, а на северо-востоке — Гренландско-Шпицбергенский порог (рис. 2). Хребет имеет протяженность порядка 155 км и состоит из двух сегментов (северо-западный и юго-восточный) северо-западного простирания, которые разделены депрессией северо-восточного простирания шириной от 10 до 20 км. Первый сегмент напоминает направленный на северо-запад наконечник стрелы и имеет протяженность около 100 км. Ширина поднятия на юго-востоке порядка 30 км, на северо-западе около 5 км.

Северные склоны Гренландско-Шпицбергенского порога осложнены многочисленными оползневыми телами.

Данные высокочастотного профилирования. Профиль S27-P2-01 (№ 1 на рис. 1, рис. 3) пересекает южные отроги юго-восточного и северо-западного сегментов хр. Ховгард, а также северо-восточную часть котловины Борей. Верхняя часть осадочного чехла мощностью порядка 30 м представлена хорошо стратифицированной средой, которая, судя по данным скважины 908А, представляет собой четвертичные глины, залегающие субгоризонтально. В центральной части котловины мощность нижних частей изученного разреза увеличивается с 8–10 м (северо-западные отроги пририфтовых гор хр. Книповича) до 20 м.

Характерной чертой строения региона является конседиментационный прогиб (рис. 3) северо-восточного простирания, расположенный вдоль юго-восточной части северо-западного отрезка хр. Ховгард. В направлении абиссальной котловины Борей он вырождается, что позволяет уязвлять его происхождение с новейшими движениями хр. Ховгард.

Второй особенностью изученного участка можно считать субмеридиональную структуру растяжения, выявленную ранее [6] (рис. 2, западная часть). В рельефе она выражена трогом (рис. 3, западная часть), который на разрезах представляет собой грабен. На окончании профиля появляются горсты. Очевидно, что весь район хр. Ховгард испытывает новейшие движения разных знаков, геодинамические причины которых требуют всестороннего регионального анализа. Два профиля в крест юго-восточного сегмента хр. Ховгард подтверждают вышесказанное. Оба профиля пройдены практически по одному и тому же месту. Хорошо видны асимметрия хребта и разница в глубинах котловины Борей и Гренландско-Шпицбергенского порога (порядка 500 м).

В районе разлома Моллой проведена комплексная съемка верхней части разреза. Это позволило установить, что весь район исследований отличается повышенной современной подвижностью, которая подтверждается многочисленными сбросами и флексурами самой верхней части осадочного чехла, отложенного в условиях подвижного океанического субстрата и лавинной седиментации.

По данным НСП западные фланги хр. Книповича на удалениях до 180 км осложнены тектоническими деформациями, приводящими к складкообразованию, несогласиям в верхней части осадочного разреза. Эти деформации совпадают с продолжением южного отрога хр. Ховгард. Верхняя часть разреза является преимущественно акустически прозрачной осадочной толщей мощностью от 800 до 1100 м и содержит высокоамплитудные рефлекторы в верхних 200 м разреза, в конфигурации которых наблюдаются несогласия, складки и осветления записи над выступами акустического фундамента. Причина появления детальной стратификации верхней части разреза на этом удалении от оси хребта может состоять в

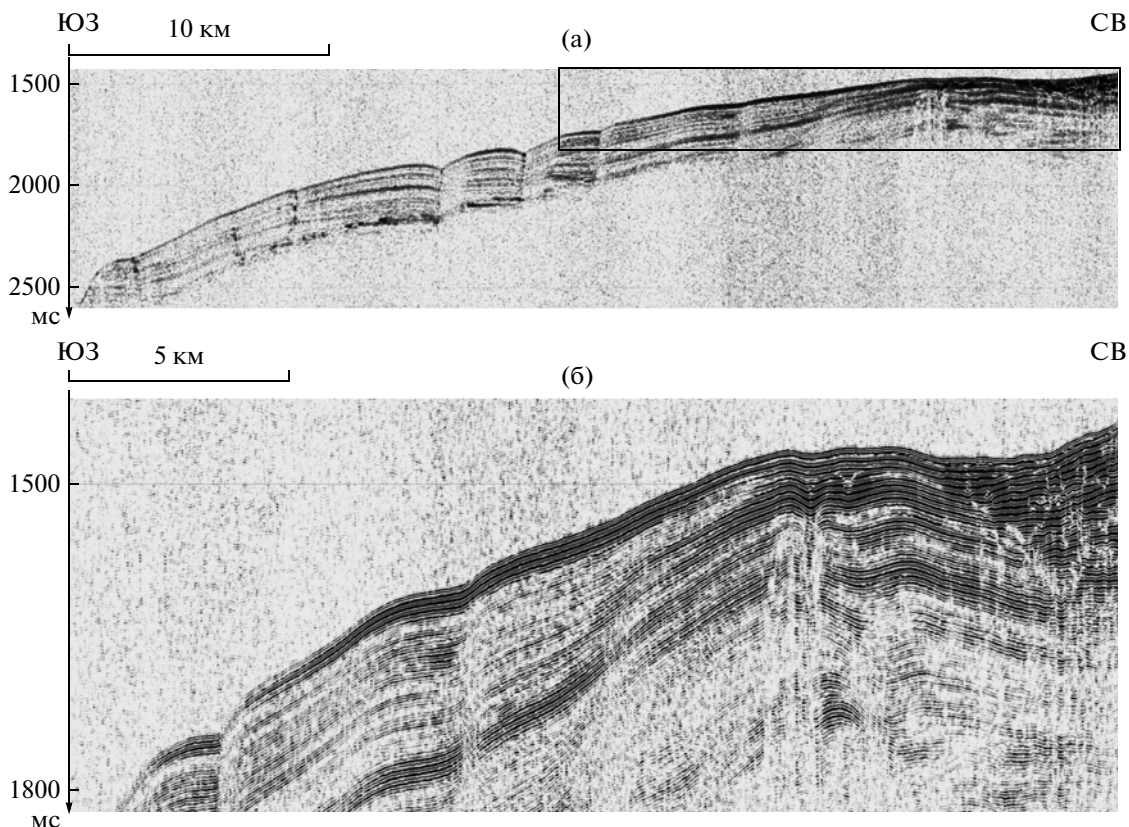


Рис. 4. Фрагмент разреза S27-P3-01, электроискровой комплекс СОНИК-4М, (а) и северная его часть в увеличенном масштабе (б) (линия 2 на рис. 1).

ослаблении потока турбидитных отложений и (или) в появлении альтернативных источников сноса.

Структура верхней части осадочной толщи хр. Ховгард представляет собой субгоризонтальный акустический фундамент, скорее всего осадочной природы позднеолигоценно-раннемиоценового возраста [1], нарушенный сбросами амплитудой 15–20 м и перекрытый плиоцен-четвертичным акустически прозрачным осадочным чехлом.

Гренландско-Шпицбергенский порог содержит псевдодонный рефлектор (BSR), являющийся аналогом рефлекторов к северу от разлома Моллой на плато Шпицберген, известных ранее [5] и экранирующих подгидратные залежи флюидов. Кроме того, на поднятии выделяется рефлектор, аналогичный кровле позднеолигоценно-раннемиоценовых отложений, разбуренных на хр. Ховгард.

На Шпицбергенском плато обнаружены проявления псевдодонного рефлектора, нарушенные сбросовыми разломами, формирующими сейсмические аномалии типа ярких и плоских пятен (рис. 4а). В целом раздробленность рефлектора существенно более высокая, чем это показано в

работе [5] на профилях приблизительно в той же позиции. Вблизи нарушений наблюдаются вертикальные полосы акустического осветления записи, которые являются следом разгрузки подгидратных залежей через разрушаемую из-за оползней и изостатического выравнивания края шельфа подошву газогидратов, находящуюся на глубинах 250–300 м под дном. Необходимо отметить, что непрерывный по данным [5] рефлектор разбит на серию отрезков по 4–8 км, под которыми наблюдаются плоские пятна. Сейсмическая запись над разрывами в рефлекторе осветлена, что говорит о разгрузке флюидов через образовавшиеся “окна”.

На рис. 4б показан северный фрагмент разреза в увеличенном масштабе. Видно, что в области вертикальных осветлений акустической записи в толще осадков на глубине около 40 м сформирована структура, сходная с грязевым вулканом, прорывом газа или погребенным покмарком, в котором происходит разгрузка отжимаемых из осадков флюидов. Рядом с этой структурой наблюдаются мелкие тектонические нарушения верхней части осадочного чехла амплитудой в первые метры, связанные с обстановкой сжатия. К северу от них обнаруживаются плоское пятно с

Таблица 1. Геотермические данные

Станция	Дата	Время (моск.)	Сев. широта	Вост. долгота	Глубина, м	Темпер. градиент, мК/м	Теплопроводность, Вт/(м·К)	ТП _{ср} , мВт/м ²
S2701	24.08.2010	0:30	80.469738°	29.852777°	390	170	1.00	170
S2702	24.08.2010	1:40	80.469633	29.874777	438	216	0.94	203
S2703	24.08.2010	2:30	80.466482	29.877982	440	205	0.95	195
S2704	24.08.2010	5:10	80.443050	29.536460	357	327	1.15	376
S2705	26.08.2010	8:40	77.184820	11.517363	573	162	1.25	202
S2706	26.08.2010	10:13	77.284130	10.954982	1093	103	1.03	106
S2707	26.08.2010	12:10	77.399610	10.391253	1422	124	0.88	109
S2708	26.08.2010	14:25	77.514667	9.609100	1750	163	0.81	132
S2709	26.08.2010	16:45	77.615903	8.843482	2066	203	0.93	189
S2710	26.08.2010	18:45	77.719012	8.312362	2190	183	1.04	190
S2711	26.08.2010	20:50	77.766315	8.059135	2620	204	1.00	204
S2712	27.08.2010	20:17	78.254367	2.597370	2615	65	1.08	70
S2713	27.08.2010	23:15	78.241467	2.985917	2690	77	0.98	75
S2714	28.08.2010	1:18	78.218217	3.241550	2772	66	1.04	69
S2715	28.08.2010	13:00	77.798517	7.795950	3320	401	0.75	301
S2716	02.09.2010	8:00	78.788667	5.155250	2640	152	0.96	146
S2717	04.09.2010	12:00	78.189233	3.881211	1270	111	1.4	156
S2718	04.09.2010	14:25	78.164383	4.314533	1975	93	1.12	104
S2719	04.09.2010	16:00	78.127517	4.627633	1550	49	1.21	59
S2720	04.09.2010	19:10	78.076733	5.143500	2670	102	0.94	96
S2721	04.09.2010	21:00	78.047300	5.592800	2584	128	1.03	132

очень интенсивной энергией отражения и наклонные зоны осветления, которые могут быть связаны с оперением вертикальной разломной структуры, находящейся на продолжении оси хр. Книповича.

Вдоль хр. Вестнеса наблюдаются также и взбросовые нарушения, свидетельствующие о сложной картине разгрузки напряжений в районе зоны разлома Моллой. Эти нарушения начинаются проявляться вдоль приразломной депрессии, имеющей глубину до 2986 м и расположенной гипсометрически ниже разломного трога и приразломного вала.

На профилях вблизи впадины Моллой наблюдаются ступенчатые оползневые тела с перепадом высот от одного тела к другому до 400 м.

Тепловой поток. В 27-м рейсе почти все полученные измерения оказались кондиционными, форма термограмм в грунте — линейная по большинству станций. Значение теплового потока (ТП) по станции S2716 в разломной зоне Моллой коррелирует с измерениями, выполненными норвежскими исследователями [8]. ТП закономерно возрастает по мере приближения к рифтовой долине хр. Книповича с юго-востока, что обусловливается уменьшением возраста коры по ме-

ре приближения к оси спрединга; максимальное значение зафиксировано в самой долине в точке S2715 (табл. 1). На западном фланге хр. Книповича значения ТП уменьшаются по мере удаления от него и выходят на уровень 60–80 мВт/м², что соответствует фоновым значениям для абиссальных котловин Мирового океана.

Измерения теплового потока проводили также на северо-западе Баренцева моря, в троге Орли. Термограммы станций (S2701–S2705) демонстрируют изгибание в верхней части, связанное, по-видимому, с непостоянством температуры на границе раздела вода–грунт. По этим термограммам расчет теплового потока (ТП) проводился по нижним базам.

Измерения в точках S2701–S2703 в пределах кольцевой структуры юго-восточной части трога Орли и в точке S2704 в южной части трога подтвердили вывод [7] об обусловленности чрезвычайно высоких значений ТП современной деформацией континентальной коры этого региона.

Таким образом, данные батиметрической съемки показывают наличие приразломной депрессии к северо-востоку от разлома Моллой с большими глубинами, чем в самом разломном троге. Северный склон этой депрессии нарушен

многочисленными оползневыми телами. Сочленение разлома с хр. Книповича имеет форму “конского хвоста”.

Данные высокочастотного профилирования показывают, что район обладает повышенной подвижностью как на юге в котловине Борей, так и на севере на склоне плато Шпицберген. Выявляются структуры типа грабенов, конседиментационных прогибов, сбросов и флексур.

Сейсмоакустические данные также показывают повышенную подвижность района работ, которая хорошо видна по нарушениям неконсолидированных осадков на подвижном субстрате. К югу от разлома Моллой обнаружен псевдодонный рефлексор. К северу он сильно раздроблен и имеет место утечка флюида через разрывы рефлексора.

Полученные геотермические данные подтверждают аномальную природу трога Орли, связанную с деструкцией континентальной окраины, и наличие нормальной закономерности возрастания теплового потока к оси хр. Книповича с убыванием значений на западном фланге до фоновых океанических.

Авторы выражают благодарность экипажу нис “Академик Николай Страхов”, осуществившему

нелегкую навигацию судна в штормовых условиях и вблизи кромки ледовых полей.

Работа выполнена при финансовой поддержке программ Президиума РАН № 20 и Норвежского нефтяного директора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусев Е.А., Шкарубо С.И. // *Rus. J. Earth Sci.* 2001. V. 3. № 2. P. 145–161.
2. Klenke M., Schenke H.W. // *Mar. Geophys. Res.* 2002. V. 23. P. 367–378.
3. Ritzmann O., Jokat W., Czuba W., et al. // *Geophys. J. Int.* 2005. V. 157. P. 683–702.
4. Зайончек А.В., Брекке Х., Соколов С.Ю. и др. В кн.: *Строение и история развития литосферы. Вклад России в Международный Полярный Год.* М.: Paulsen, 2010. Т. 4. С. 111–157.
5. Vanneste M., Guidard S., Mienert J. // *Terra Nova.* 2005. V. 17. P. 1–7.
6. Myhre A.M., Thiede J., Firth J.V., et al. // *Proc. Ocean Drilling Program. Init. Repts.* 1995. V. 151. P. 5–26.
7. Хуторской М.Д., Леонов Ю.Г., Ермаков А.В., Ахмедзянов В.Р. // *ДАН.* 2009. Т. 424. № 2. С. 227–233.
8. Eldholm O., Sundvor E., Myhre A.M., Faleide J.I. In: *Petroleum Geology of the North European Margin.* L.: Norwegian Petroleum Soc.; Graham and Trotman, 1984. P. 3–18.