

УДК 550.361

## НОВЫЕ ДАННЫЕ О ТЕПЛОВОМ ПОТОКЕ СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ

© 2012 г. В. Р. Ахмедзянов, А. В. Ермаков, М. Д. Хуторской

Представлено академиком Ю.Г. Леоновым 20.07.2011 г.

Поступило 24.08.2011 г.

На основе новых измерений теплового потока выполнено численное моделирование теплопереноса в литосфере Северной Атлантики, которое позволило оценить глубинные температуры в этой части океана и сделать заключение о современной геодинамической активности в районе хребта Книповича.

В рамках научной программы РАН “Геологическая история и литосфера полярных районов” проведены геотермические исследования окраины Арктического шельфа, континентального склона и смежных акваторий Северной Атлантики западнее архипелага Шпицберген. Основными задачами этих работ были получение новых данных о тепловом потоке, расчет глубинных температур в океанической литосфере и изучение тектоно-термической эволюции на новейшем этапе развития региона.

Геотермические исследования по этой программе начались в 2007 г. с 25-го рейса нис “Академик Николай Страхов”, когда было установлено существование зон современной деструкции на краю Свальбардской плиты [1]. Обнаружение аномально высокого теплового потока в трогe Орла (Стурё) и повышенного в трогe Франц-Виктории, а также ряд других геологических фактов (современная гидротермальная деятельность на Шпицбергене, высокая концентрация эпицентров землетрясений) доказывают высокую современную геодинамическую активность всего региона, включающего архипелаг и окружающие акватории.

Работы были продолжены в 26-м (2008 г.) и 27-м (2010 г.) рейсах, которые проходили по системе профилей, простиравшихся от архипелага в сторону хребтов Книповича и Мона в Северной Атлантике.

Район хр. Книповича многие годы служит полигоном комплексных и особых исследований интернациональных экспедиций научно-исследовательских судов. Повышенный интерес уче-

ных всего мира к этому региону не случаен: архипелаг Шпицберген и прилегающий Норвежско-Гренландский океанический бассейн являются ключевыми структурами для понимания тектоники и эволюции западного сектора Арктического региона и развития структурных связей между Северной Атлантикой и Северным Ледовитым океаном в позднем кайнозое. Большинство исследователей признается спрединговая природа хр. Книповича в Норвежско-Гренландском бассейне. Наличие отлично выраженной приподнятой рифтовой равнины, современная сейсмичность в районе хребта, знакопеременное магнитное поле разрешают относить его к обычному звену мировой системы срединно-океанических хребтов. В то же время многие “аномальные” черты строения данной морфоструктуры не укладываются в рамки обычных концепций и требуют объяснения.

В ходе экспедиционных работ было получено 41 новое измерение теплового потока (табл. 1), а также материалы сейсмического профилирования и многолучевого эхолотирования, которые использованы нами для построения геотермических моделей, в частности, для задания морфологии дна и строения верхней части осадочного чехла. Измерения выполнялись телеметрическим многоканальным зондом ГЕОС-М, который нами применялся и в предыдущих экспедициях [1].

Тепловой поток в регионе в целом характеризуется высокими значениями. Следует прокомментировать несколько измерений, которые или пространственно выпадают из общей схемы измерений, или показывают мощное влияние экзогенных факторов, нарушающих глубинный кондуктивный тепловой поток.

Четыре контрольных измерения в трогe Орла (Стурё), расположенном восточнее Северо-Восточной Земли Шпицбергена, выполнены в 27-м рейсе для подтверждения существования аномалии, установленной в 25-м рейсе (станции 2701–2704). Максимально измеренное из них значение  $376 \text{ мВт/м}^2$  приурочено к кольцевой структуре на поверхности дна на глубине около 360 м. Таким образом, установлена полная сходимостъ геотер-

Таблица 1. Измерения теплового потока в 26-м и 27-м рейсах

Номер станции	Дата	Координаты		Глубина моря, м	Градиент температуры, мК/м	Теплопроводность, Вт/(м·К)	Средний тепловой поток, мВт/м <sup>2</sup>
		с.ш.	в.д.				
2603	09.01.2009	75.000°	15.533°	703	-174	1.00	-174
2604	09.01.2009	75.150	15.050	614	-302	1.00	-302
2604_2	09.01.2009	75.167	15.000	645	-212	1.00	-212
2605	10.01.2009	75.217	13.433	1535	66	0.80	53
2606	12.01.2009	75.983	17.027	324	-401	1.00	-401
2607	13.01.2009	75.667	14.067	550	-179	1.04	-186
2608	13.01.2009	75.552	12.985	1480	69	0.80	55
2609	13.01.2009	75.433	12.067	1993	64	1.00	64
2610	13.01.2009	75.300	11.000	2360	86	1.04	89
2611	13.01.2009	75.133	9.850	2511	120	0.98	118
2612	14.01.2009	74.900	8.400	3450	288	0.80	230
2614	16.01.2009	74.733	9.867	2548	113	1.05	119
2615	16.01.2009	74.883	11.317	2431	92	0.90	83
2616	17.01.2009	75.017	12.500	2147	66	1.00	66
2617	20.01.2009	75.800	12.850	1505	61	0.80	49
2618	20.01.2009	75.778	13.232	1247	53	1.00	53
2619	21.01.2009	75.769	13.374	1207	57	0.88	50
2620	21.01.2009	75.753	13.575	997	45	1.15	52
2621	21.01.2009	75.737	13.725	873	28	1.14	32
2622	21.01.2009	75.729	13.854	774	16	1.02	16
2701	24.08.2010	80.470	29.853	390	170	1.00	170
2702	24.08.2010	80.470	29.875	438	216	0.94	203
2703	24.08.2010	80.466	29.878	440	205	0.95	195
2704	24.08.2010	80.443	29.536	357	327	1.15	376
2705	26.08.2010	77.185	11.517	573	162	1.25	202
2706	26.08.2010	77.284	10.955	1093	103	1.03	106
2707	26.08.2010	77.400	10.391	1422	124	0.88	109
2708	26.08.2010	77.515	9.609	1750	163	0.81	132
2709	26.08.2010	77.616	8.843	2066	203	0.93	189
2710	26.08.2010	77.719	8.312	2190	183	1.04	190
2711	26.08.2010	77.766	8.059	2620	204	1.00	204
2712	27.08.2010	78.254	2.597	2615	65	1.08	70
2713	27.08.2010	78.241	2.986	2690	77	0.98	75
2714	28.08.2010	78.218	3.242	2772	66	1.04	69
2715	28.08.2010	77.799	7.796	3320	401	0.75	301
2716	02.09.2010	78.789	5.155	2640	152	0.96	146
2717	04.09.2010	78.189	3.881	1270	111	1.4	156
2718	04.09.2010	78.164	4.315	1975	93	1.12	104
2719	04.09.2010	78.128	4.628	1550	49	1.21	59
2720	04.09.2010	78.077	5.144	2670	102	0.94	96
2721	04.09.2010	78.047	5.593	2584	128	1.03	132

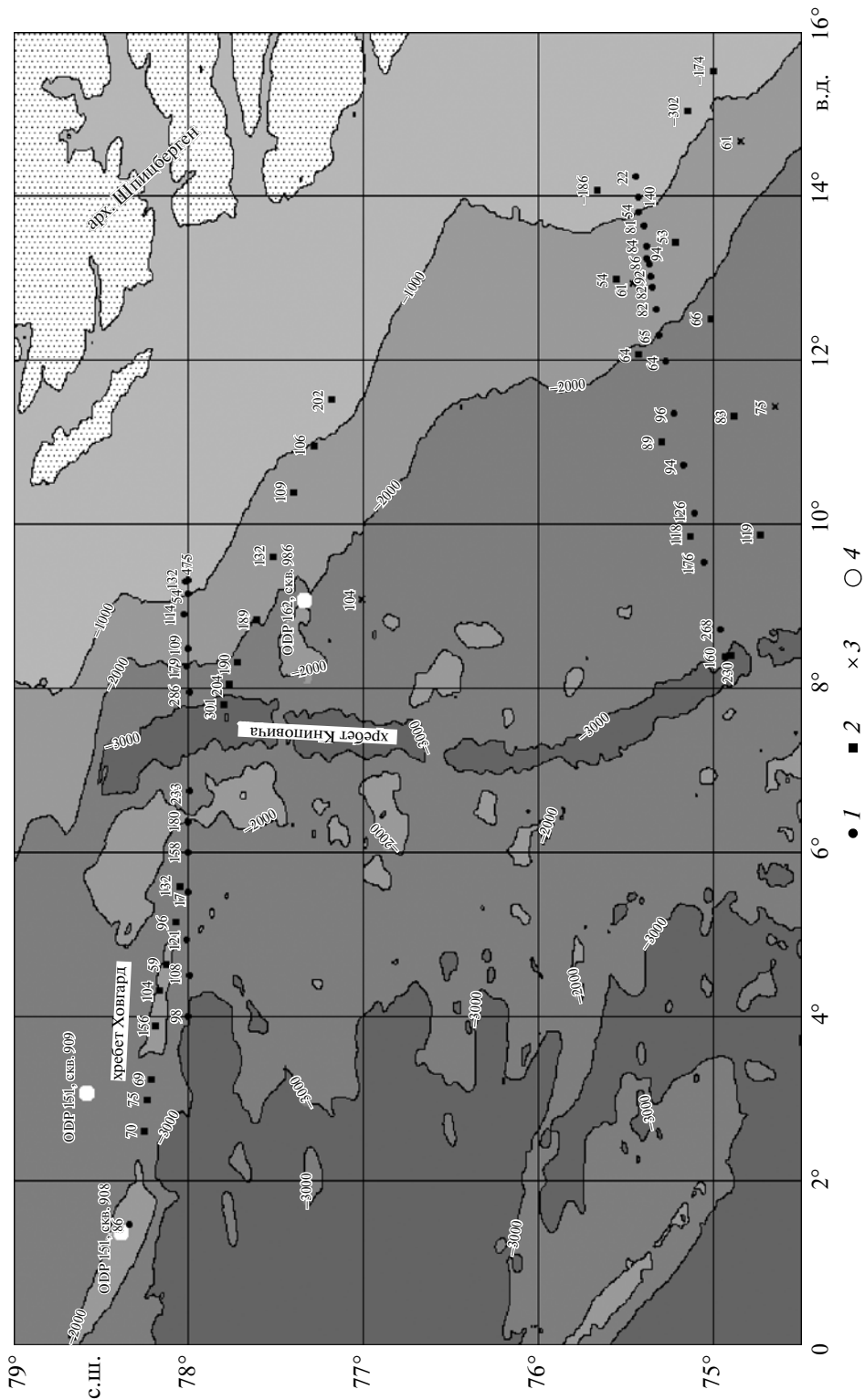
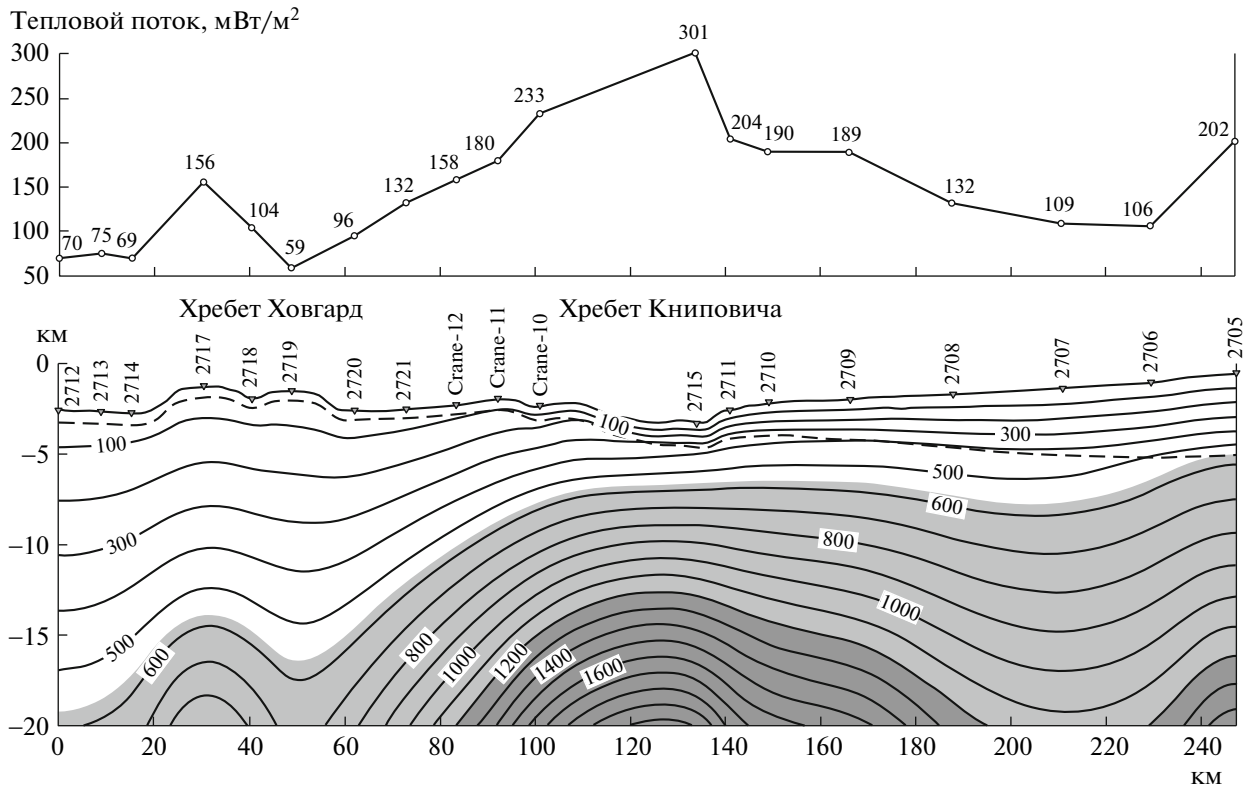


Рис. 1. Распределение измерений теплового потока ( $mW/m^2$ ) западнее Шпицбергена. Измерения: 1 – 26-го и 27-го рейсов, 2 – [2], 3 – [3], 4 – скважины ОДР.



**Рис. 2.** Измерения теплового потока и геотермическая модель, °С (27-й рейс). Здесь и на рис. 3 светло-серым цветом показана область температур Кюри (свыше 570°С), темно-серым – область плавления базальтов (свыше 1200°С), штриховой линией – граница акустического фундамента.

мических данных, измеренных с разницей в три года.

Четыре измерения на континентальном склоне юго-западнее Шпицбергена продемонстрировали отрицательные значения геотермического градиента (см. табл. 1). Эти станции были расположены на траектории течения Гольфстрим (при глубине моря до 400 м), что объясняло повышение придонной температуры и формирование отрицательного градиента температур. Так как эти отрицательные градиенты связаны с экзогенным искажением теплового поля, то в дальнейшем при моделировании глубинных температур они не учитывались. Побочным нам было установлено, что интервал глубин теплого течения распространяется до 500 и более метров.

Максимальные значения теплового потока 230 и 301 мВт/м<sup>2</sup> зафиксированы в осевой зоне хр. Книповича.

Теплопроводность донных грунтов показала практически однородные значения на всех станциях измерения теплового потока. Значения лежат в диапазоне  $1.02 \pm 0.06$  Вт/(м · К).

Значения теплового потока, измеренные зондовым методом и в скважинах ODP\* (№ 908, 909 и

986), хорошо коррелируются друг с другом. Например, в скв. 986 (ODP 162) рассчитанный тепловой поток составил 154 мВт/м<sup>2</sup>, а измеренный на ближайшей от нее станции 2708—132 мВт/м<sup>2</sup>. Расстояние между скважиной и станцией около 22.5 км. В скв. 908 (ODP 151) и 909 (ODP 151) значения тепловых потоков составили 70 и 87 мВт/м<sup>2</sup> соответственно. Измеренный тепловой поток на ближайшей к этим скважинам станции 2712—70 мВт/м<sup>2</sup>. Расстояние от этих скважин до станции 31 и 38 км. Данное соответствие тепловых потоков на разных глубинах может говорить о корректной оценке теплового потока в районе исследования, по крайней мере до глубин 100 м в донных осадках.

При моделировании вдоль геотермических профилей кроме данных, полученных в ходе рейсов, использовались также значения теплового потока из зарубежных публикаций. В основном это измерения К. Crane [2] и О. Eldholm [3] (рис. 1). В результате синтеза данных сформированы несколько профилей, вдоль которых были проведены расчеты.

Результаты численного моделирования глубинных температур подтвердили утверждение о высокой геодинамической активности литосферы Северной Атлантики западнее архипелага

\* Ocean Drilling Program – международная Программа по океанскому бурению 1983–2003 гг.

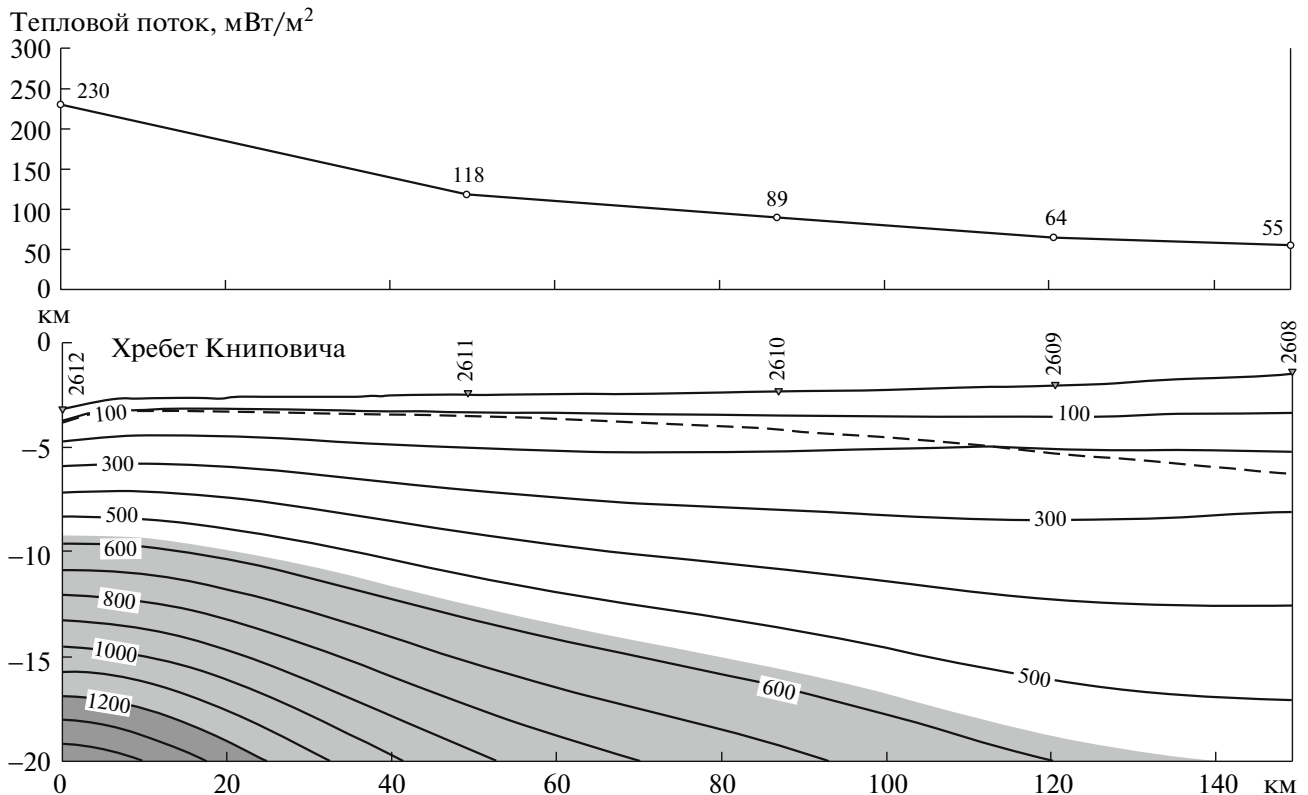


Рис. 3. Измерения теплового потока и геотермическая модель, °С (26-й рейс).

Шпицберген в районе хр. Книповича (рис. 2, 3). Изотерма солидуса мантийного вещества\* (~1200°С) находится на глубине около 15 км. Средняя мощность океанской литосферы для океанических плит на удалении от срединных хребтов составляет 70–80 км [4], а вблизи срединно-океанических хребтов и действующих подводных вулканов уменьшается до 10–15 км [5]. Именно это мы наблюдаем под хребтом Книповича. Можно уверенно говорить о природе этого хребта как сегмента активного продолжения Срединно-Атлантического хребта [6, 7]. Но структурно к настоящему времени хребет не оформился как типичный спрединговый хребет с центральной рифтовой долиной.

При удалении от оси хр. Книповича на восток, в сторону Шпицбергена, мощность термической ли-

\* Эта изотерма, как известно [8, 9], ассоциируется с подошвой “термической литосферы”. Как показали многие исследования, посвященные расчетам мощности литосферы на континентах и в океанах по сейсмологическим, магнитотеллурическим и геотермическим данным, статистически значимых различий в значениях этой величины не наблюдается. Тем не менее, для того чтобы подчеркнуть метод расчета глубины подошвы литосферы, мы будем иметь в виду мощность именно “термической литосферы”, т.е. рассчитывать глубину нахождения изотермы 1200°С.

тосферы резко увеличивается и к подножью континентального склона составляет уже 45–50 км, что, тем не менее, свидетельствует об активности всего блока океанической коры.

Локализация океанического рифта хр. Книповича в восточной части котловины Норвежско-Гренландского бассейна, в непосредственной близости от Западно-Шпицбергенской окраины, произошла в миоценовое время. Этот вывод сделан на базе анализа сейсмических разрезов, имеющих стратиграфическую привязку по фаунистически охарактеризованным разрезам скважин глубоководного океанического бурения.

Сказанное выше свидетельствует об особенностях строения хр. Книповича, не традиционных для обычных срединно-океанических хребтов. Хребет Книповича представляется, скорее, как юный океанический рифт, существующий с миоцена, активность которого постоянно поддерживается на протяжении последних 20 млн лет за счет близости и активности астеносферы.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 11–05–00047) и ФЦП “Научные и научно-педагогические кадры инновационной России” (проект 14.740.11.0194).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хуторской М.Д., Леонов Ю.Г., Ермаков А.В., Ахмедзянов В.Р. // ДАН. 2009. Т. 424. № 2. С. 318–323.
2. Crane K., Sundor E., Foucher J.-P., et al. // Mar. Geophys. Res. 1988. № 9. P. 165–194.
3. Eldholm O., Sundvor E., Vogt P. R., et al. // Geo-Mar. Lett. 1999. V. 19. P. 29–37.
4. Asada T., Shimamura H. In: Geophysics of the Pacific Ocean Basin and Its Margin. Monogr. Wash., 1976. V. 19. P. 187–203.
5. Watts A.B., Buhl P., Borchert T.M. // Nature. 1985. V. 315. P. 105–111.
6. Аветисов Г.П. Сейсмоактивные зоны Арктики. СПб.: ВНИИОкеангеология, 1996. 185 с.
7. Аветисов Г.П. В сб.: Геолого-геофизические свойства литосферы Арктического региона. М., 1998. В. 2. С. 46–57
8. White R., McKenzie D.P. // J. Geophys. Res. 1989. V. 94. P. 7685–7729.
9. Watson S., McKenzie D. // J. Petrol. 1991. V. 32. P. 501–537.