

УДК 550.836

## НОВЫЕ ДАННЫЕ О ТЕПЛОМ ПОТОКЕ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА

© 2004 г. В. Н. Глазнев, И. Т. Кукконен, А. Б. Раевский, Я. Ёркинен

Представлено академиком В.Н. Страховым 27.11.2003 г.

Поступило 19.12.2003 г.

Изменение величины теплового потока по вертикали часто наблюдается при геотермических исследованиях в глубоких скважинах различных геологических регионов [1–3]. Обычно характерно возрастание теплового потока с глубиной, и причиной этого принято считать палеоклиматические процессы, а также эффекты конвекции флюидов в земной коре. Работы последних лет на Балтийском щите [4] показали, что для восточной части щита характерны крайне низкие тепловые потоки (менее  $10 \text{ мВт/м}^2$ ), однако это было установлено по скважинам глубиной не более 700 м, в которых невозможно четко выявить вертикальную вариацию теплового потока.

В нашем исследовании описаны новые прецизионные данные по ряду скважин глубиной до 1.5–2.1 км, расположенных в центральной части Кольского п-ова на северо-востоке Балтийского щита (рис. 1). В геологическом отношении район расположен в зоне сочленения позднеархейского Центрально-Кольского составного террейна (ЦКТ) и раннепротерозойской рифтогенной Имандра-Варзугской зоны (ИВЗ). К области контакта этих крупных структурных единиц земной коры приурочены расслоенные интрузии основного состава: Федорова-Тундра (Ф) и Пана (П), несущие медно-никелевую и платинометалльную минерализацию, изучавшуюся разведочными скважинами.

Температурные измерения проведены в 15 почти вертикальных скважинах с использованием цифрового термометра, обладающего абсолютной точностью выше 0.1 К. Измерения теплопроводности ( $\lambda$ ) и теплогенерации ( $A$ ) пород выполнялись в Геологической службе Финляндии для образцов, взятых через 10–20 м по стволу скважин. Точность теплофизических измерений составля-

ет 4%. Усредненные значения теплофизических характеристик пород региона приведены в табл. 1.

Выполненные температурные измерения показали, что для скважин с глубиной менее 1 км характерен низкий температурный градиент в 6.0–10.0 мК/м. Такие значения градиента дают значение теплового потока в диапазоне от 11 до 23 мВт/м<sup>2</sup>. Столь низкие величины потока не могут быть репрезентативными для термических условий земной коры региона, поскольку, даже при минимальных величинах теплогенерации архейских пород (см. табл. 1), верхний 20-километровый слой коры, представленный породами архейского фундамента [5], порождает сопоставимые величины теплового потока. Температурные измерения по стволу структурной скважины С-1, пробуренной к северу от Панской интрузии и достигшей глубины 2.15 км, выявили аналогичный ход градиента до глубины примерно 1 км, однако на больших глубинах он начинает резко возрастать. Общие закономерности изменения температуры и теплового потока показаны на рис. 2. Наиболее примечательным здесь является резкое

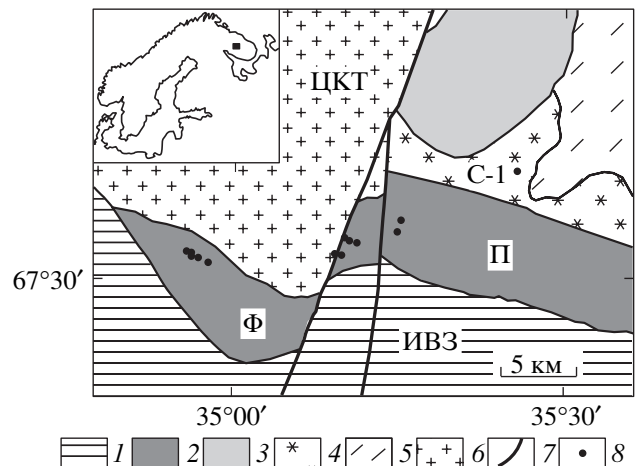


Рис. 1. Положение района исследований и его геологическая схема. 1 – основные вулканиты; 2 – габбро расслоенных интрузий; 3 – габбро; 4 – щелочные граниты; 5 – диориты; 6 – гнейсы; 7 – тектонические нарушения; 8 – скважины.

Геологический институт  
Кольского научного центра  
Российской Академии наук,  
Апатиты Мурманской обл.

Геологическая служба Финляндии,  
Эспо, Финляндия

**Таблица 1.** Усредненные значения теплофизических характеристик пород

Породы	Число обр.	$\lambda$ , Вт · м · К <sup>-1</sup>	Число обр.	A, мкВт · м <sup>-3</sup>
И м а н д р а - В а р з у г с к а я   з о н а				
Основные вулканыты	107	2.40 ± 0.25	40	0.80 ± 0.60
Габбро расслоенных интрузий	70	2.42 ± 0.19	70	0.41 ± 0.35
А р х е й с к и й   ф у н д а м е н т				
Гнейсы	19	3.24 ± 0.16	19	1.53 ± 0.84
Щелочные граниты	12	3.10 ± 0.29	12	2.47 ± 1.68
Гранодиориты	38	2.49 ± 0.14	38	1.48 ± 0.53
Монциты, диориты	57	1.97 ± 0.24	58	0.56 ± 0.42
Габбро	2	2.40	4	0.50 ± 0.24

возрастание потока от 12–15 до 30 мВт/м<sup>2</sup> в интервале от 1000 до 1800 м.

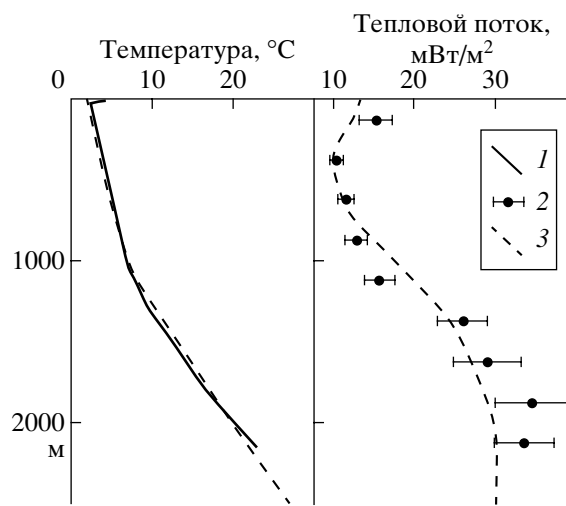
Аномальное поведение температуры по скв. С-1 подтверждено повторными наблюдениями, выполненными с интервалом в один год, которые показали, что скважина, пробуренная в 1991 г., в настоящее время находится в стационарном термическом состоянии. Следовательно, вопрос о природе аномального температурного профиля верхней части коры нашего региона можно рассматривать в трех аспектах: конвективная теплопередача флюидами, влияние топографического или структурного фактора на теплоперенос, переходные палеоклиматические возмущения.

Анализ имеющейся геологической и геотермической информации не выявил в разрезе скв. С-1 проницаемые трещиноватые зоны, которые могли бы обуславливать закономерные искажения температурного режима за счет циркуляции растворов. Возможный топографический эффект (скважина расположена в долине с относительным перепадом высот около 400 м) не вносит значимых искажений в наблюдаемое распределение температуры. Структурный фактор также не оказывает существенного влияния в силу слабой дифференцированности пород по теплопроводности и наличию преимущественно субгоризонтальных границ раздела в верхней коре района исследований [6]. Таким образом, в качестве наиболее вероятной причины аномального поведения температурного профиля по скв. С-1 можно предполагать климатический фактор.

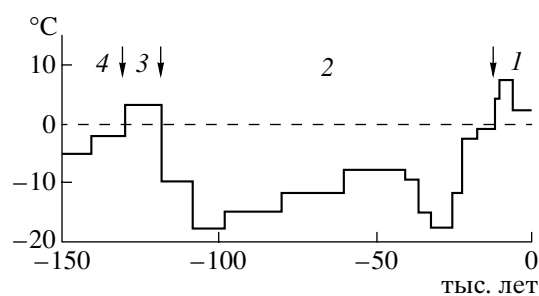
Глобальные климатические изменения, порождающие столь значительные по амплитуде и глубине проникновения вариации теплового потока (рис. 2), должны отвечать характерным временам 10<sup>4</sup>–10<sup>5</sup> лет. Обычно предполагается [7], что на Кольском п-ове в период последнего гляциального максимума 20–22 тыс. лет назад мощность ледникового щита достигала 2500 м. Однако для интерстадиальных периодов относительного потепления установлено [8] частичное отступление

ледника и уменьшение его общей мощности. Наряду с этим данные по радиоуглеродным датировкам остатков мамонтов [9] показывают, что эти животные обитали в восточной и центральной Финляндии, к югу от широты верховьев Ботнического залива, в период 24.5–34 тыс. лет назад. То есть значительная часть территории востока Фенноскандии могла быть свободна от мощного ледяного покрова в средневалдайское время.

В предположении, что территория Кольского п-ова характеризовалась сходным сценарием развития, было выполнено моделирование температурного профиля верхней части коры, с учетом данных о теплопроводности и теплогенерации пород региона, при заданном глубинном тепловом потоке и изменяющейся во времени температуре на поверхности среды. Результаты моделирования, согласованные с наблюдаемым температурным профилем и оценками теплового потока по скв. С-1 (рис. 2), демонстрируют более холод-



**Рис. 2.** Температура и тепловой поток по скв. С-1. 1 – измеренная температура; 2 – оценка теплового потока; 3 – модельное значение этих величин.



**Рис. 3.** Палеотемпературный режим земной поверхности. Хронологические ярусы: 1 – голоценовый, 2 – валдайский, 3 – микулинский, 4 – московский.

ный режим земной поверхности в течение среднего и части позднего валдая (рис. 3), чем это обычно предполагается при допущении [7] о наличии мощного ледникового покрова. Полученные оценки палеотемператур земной поверхности свидетельствуют о реальности “минимальной модели” ледникового щита [10, 11] для всего валдайского этапа, во время которого, предположительно, восточная часть Фенноскандии не была покрыта сплошным ледником. В этих условиях развивалось существенное переохлаждение поверхностных пород региона, что и подтверждается аномальным распределением температуры по скв. С-1.

В целом геотермические исследования в центральной части Кольского п-ова выявили существование аномально низких тепловых потоков в диапазоне глубин от поверхности до 1 км. Природа такого аномального поведения температуры в верхней части земной коры региона обусловлена

палеоклиматическим воздействием валдайского оледенения, в рамках которого, вероятно, существовали длительные интервалы отсутствия мощного ледникового покрова.

Исследования поддержаны РФФИ (грант 03-05-64740) и Академией Финляндии (грант 35063).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Clauser C., Giese P., Huenges E. et al. // *J. Geophys. Res.* 1997. V. 102. P. 18417–18441.
2. Kukkonen I.T., Golovanova I.V., Khachay Y.V. et al. // *Tectonophysics.* 1997. V. 276. P. 63–85.
3. Dorofeeva R.P., Shen P.Y., Shapova M.V. // *Earth and Planet. Sci. Let.* 2002. V. 203. P. 1059–1071.
4. Kukkonen I.T., Gosnold W.D., Safanda J. // *Tectonophysics.* 1998. V. 291. P. 235–249.
5. Прогнозная модель глубинного строения района заложения геофизического профиля на востоке Кольского полуострова / Под. ред. Ф.П. Митрофанова. Апатиты: Геол. ин-т КНЦ РАН, 2000. 49 с.
6. Седых Ю.Н., Ступак В.М., Изотко В.М. Федорово-Панское малосульфидное месторождение – крупнейший объект производства платиновых металлов. М.: Геоинформмарк, 2000. 76 с.
7. Larsen E., Lysa A., Demidov I. et al. // *Boreas.* 1999. V. 28. P. 115–132.
8. Евзеров В.Я. // *ДАН.* 1996. Т. 348. № 5. С. 681–682.
9. Ukkonen P., Lunkka J.P., Jungner H., Donner J. // *J. Quatern. Sci.* 1999. V. 14. P. 711–714.
10. Siegert M.J., Dowdeswell J.A., Hald M., Svendsen J.-I. // *Global and Planet. Change.* 2001. V. 31. P. 367–385.
11. Krinner G., Mangerud J., Jakobsson M. et al. // *Nature.* 2004. V. 427. P. 429–432.