Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова,
т. XCII, 1982 г.

УДК 550.361.4

О ГЕОЛОГО-ИСТОРИЧЕСКОМ АСПЕКТЕ ГЕОТЕРМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Г.А.ЧЕРЕМЕНСКИЙ

Восстановление геологической истории является одной из задач геофизики, возможность решения которой обусловлена геофизическими полями и свойствами горных пород [9].

Среди геофизических полей к таким полям относится тепловое поле, оно обладает инерционностью, и поэтому современные значения температуры горных пород связаны с информацией о процессах, протекавших задолго до времени наблюдения.

Геотермия находится под воздействием тектонических, геологических, гидрогеологических, климатических и прочих влияний, учет которых затруднен в связи с отсутствием достаточного объема и надежных фактических данных [12].

Геолого-исторический аспект геотермических исследований рассмотрим на примере Балтийского щита, район которого, расположенный в северо-западной части Кольского п-ова, где встречаются породы разные по возрасту, степени метаморфизма и структурного плана, наиболее изучен. Данная территория является достаточно представительной для Балтийского щита и остальных древних щитов [4, 9, 10].

Тектоническое развитие таких щитов характеризуется дифференциальными, в основном положительными (вертикальными) непрерывно-прерывистыми и отрицательными движениями блоков [9, 15].

На Балтийском щите наиболее геотермически изученной является Печенгская структура, имеющая сложное блоковое строение и выполненная эффузивно-осадочными образованиями печенгской серии [8].

Глубина залегания подошвы нижних горизонтов печенгской серии изменяется от нуля на северо-востоке до 8-10 км на юго-западе, где структура срезана Порьиташским разломом, за которым она эродирована [5, 8, 9].

Гидрогеологические особенности Балтийского щита воздействуют на температурное поле в основном в верхней части геологического разреза [12, 13]. Подземные трещино-жильные воды, приуроченные к субпластовым, радиальным и глубинным разломам, создают локальные аномалии [12, 13, 14].

Влияние гидрогеологических, современных климатических и прочих поверхностных воздействий уменьшается с глубиной, и на больших глубинах ими можно пренебречь [12].

Геотермия Балтийского щита, как и остальных древних щитов, характеризуется низкими значениями геотермического градиента и плотности теплового потока [2, 6, 7, 13, 14, 16].

Температурное поле Балтийского щита искажено до глубины 200-300 м [6, 12, 13] инфильтрацией вод в связи с экзогенной трещиноватостью, обеспечивающей региональный подземный сток. Далее наблюдается постоянство значений геотермического градиента, средние значения которого меняются в пределах $(0{,}8\text{-}1{,}0)10^{-2}$ °С/м [2, 3, 6, 13, 14]. Однако на глубинах, превышающих 2 км и более, отмечается увеличение значений геотермического градиента до $2\cdot10^{-2}$ °С/м [3]. Такое повышенное значение геотермического градиента получено при сравнительно малом времени простоя скважины в покое, когда стационарное поле, нарушенное технологией и техникой бурения, еще не восстановилось полностью. Однако можно предполагать, что на фоне неустановившегося стационарного термического режима замеренные значения температуры содержат сведения о естественном тепловом состоянии пород.

Увеличение температуры с глубиной при значении геотермического градиента, превышающем $1\cdot10^{-2}$ °С/м, можно было бы объяснить уменьшением теплопроводности горных пород и сравнительно недавним появлением дополнительных источников тепла, создающих нестационарное тепловое поле. Однако в условиях Кольского п-ова теплопроводность горных пород практически постоянна [11]. Влияние увеличения радиогенного тепла не таково, чтобы повысить настолько значение геотермического градиента, если учесть, что тепло, выделяемое в коре, значительно меньше поступающего из мантии [1]. Остальные возможные источники тепла, искажающие стационарное тепловое поле, создают локальные аномалии [12, 13].

На тепловое поле Балтийского щита воздействуют климатические условия ледникового периода и эрозия.

Ледниковые периоды вызвали охлаждение горных пород в верхней части геологического разреза, которое, распространяясь на глубины, превышающие 1 км [12], снижает плотность теплового потока по приближенным расчетам Е.А.Любимовой [6] примерно на 10 %.

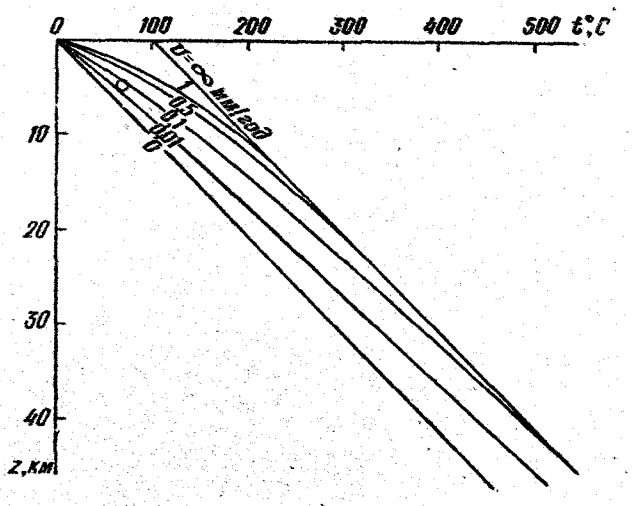
Влияние эрозии на тепловое поле зависит от скорости и длительности ее воздействия. Искажение теплового поля эрозией малых скоростей при незначительной длительности быстро затухает. Кратковременные катастрофические быстрые эрозии, как правило, локальны и не влияют существенно на тепловой режим щита в целом.

В настоящее время тепловое поле Балтийского щита зависит в основном от осредненной скорости эрозии длительного действия, влияние которой в первом приближении можно оценить, используя выражение [12]

$$t = \Gamma\left[z + h\left(1 - \frac{i\mathrm{erfc}\left(\frac{z}{h}+1\right)b}{i\mathrm{erfc}\, b}\right)\right],$$

где Γ - геотермический градиент, существовавший до эрозии; z - расстояние (глубина) от поверхности эрозии; h - мощность эрозионного среза; $\delta = 0{,}5\left(\frac{\nu h}{a}\right)^{0{,}5}$; ν - скорость эрозии; a - осредненная температуропроводность геологического разреза.

Для условий Балтийского щита рассчитаны термограммы, искаженные эрозией (см.рисунок), с использованием следующих данных: 1) осредненная температуропроводность принята равной $1 \cdot 10^{-6}$ м^2/с по данным многочисленных исследований горных пород Кольского п-ова [II]; 2) мощность эрозионного среза выбрана равной 10 км, так как на северо-востоке и юго-западе печенгская структура полностью эродирована.



Геотермограммы ($\Gamma = 1 \cdot 10^{-2}$ °С/м)
О - замер температуры в скважине [3]

Вычисленные геотермограммы подтверждают возможность получения в глубоких скважинах повышенных значений геотермического градиента, вызванных эрозией.

Осредненная скорость эрозии может быть оценена путем сопоставления теоретических геотермограмм, подобных приведенным на рисунке, с данными замеров температуры в сверхглубоких скважинах.

Так, по геотермическим данным можно восстановить историю геологических событий и на всех остальных древних щитах, так как влияние эрозии на таких щитах было значительным, что вызвало выход на дневную поверхность горных пород, содержащих антрацит, графит и графитоиды [IO], которые преобразованы из углеродистого вещества на больших глубинах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аршавская Н.И. Сравнение радиогенного теплового потока в земной коре Балтийского щита и Камчатки. - В кн.: Тепловые потоки из коры и верхней мантии / Отв.редакторы В.И.Влодовец, Е.А.Любимова. М., Наука, 1978. Вып. 12.

2. Владимиров О.К., Красковский С.А., Семенов А.С. Геотермические измерения в Мончетундре. - ДАН СССР, 1939, т. 23, № 4.

3. Глубинный тепловой поток Европейской части СССР / Отв. редакторы С.И.Субботин и Р.И.Кутас. Киев, Наукова думка, 1974.

4. Жемалетдинов А.А., Семенов А.С. Электронно-проводящие породы северной части Кольского полуострова. - Вопросы геофизики, вып. 27. Л., Изд-во ЛГУ, 1978.

Влияние гидрогеологических, современных климатических и прочих поверхностных воздействий уменьшается с глубиной, и на больших глубинах ими можно пренебречь [12].

Геотермия Балтийского щита, как и остальных древних щитов, характеризуется низкими значениями геотермического градиента и плотности теплового потока [2, 6, 7, 13, 14, 16].

Температурное поле Балтийского щита искажено до глубины 200-300 м [6, 12, 13] инфильтрацией вод в связи с экзогенной трещиноватостью, обеспечивающей региональный подземный сток. Далее наблюдается постоянство значений геотермического градиента, средние значения которого меняются в пределах $(0,8\text{-}1,0)10^{-2}$ °С/м [2, 3, 6, 13, 14]. Однако на глубинах, превышающих 2 км и более, отмечается увеличение значений геотермического градиента до $2\cdot10^{-2}$ °С/м [3]. Такое повышенное значение геотермического градиента получено при сравнительно малом времени простоя скважины в покое, когда стационарное поле, нарушенное технологией и техникой бурения, еще не восстановилось полностью. Однако можно предполагать, что на фоне неустановившегося стационарного термического режима замеренные значения температуры содержат сведения о естественном тепловом состоянии пород.

Увеличение температуры с глубиной при значении геотермического градиента, превышающем $1\cdot10^{-2}$ °С/м, можно было бы объяснить уменьшением теплопроводности горных пород и сравнительно недавним появлением дополнительных источников тепла, создающих нестационарное тепловое поле. Однако в условиях Кольского п-ова теплопроводность горных пород практически постоянна [11]. Влияние увеличения радиогенного тепла не таково, чтобы повысить настолько значение геотермического градиента, если учесть, что тепло, выделяемое в коре, значительно меньше поступавшего из мантии [1]. Остальные возможные источники тепла, искажающие стационарное тепловое поле, создают локальные аномалии [12, 13].

На тепловое поле Балтийского щита воздействуют климатические условия ледникового периода и эрозия.

Ледниковые периоды вызвали охлаждение горных пород в верхней части геологического разреза, которое, распространяясь на глубины, превышающие 1 км [12], снижает плотность теплового потока по приближенным расчетам Е.А.Любимовой [6] примерно на 10 %.

Влияние эрозии на тепловое поле зависит от скорости и длительности ее воздействия. Искажение теплового поля эрозией малых скоростей при незначительной длительности быстро затухает. Кратковременные катастрофические быстрые эрозии, как правило, локальны и не влияют существенно на тепловой режим щита в целом.

В настоящее время тепловое поле Балтийского щита зависит в основном от осредненной скорости эрозии длительного действия, влияние которой в первом приближении можно оценить, используя выражение [12]

$$t = \Gamma\left[z + h\left(1 - \frac{ierfc\left(\frac{z}{h} + 1\right)b}{ierfc\, b}\right)\right],$$

5. Земная кора восточной части Балтийского щита / К.О.Кратц, В.А.Глебовский, Р.В.Былинский, В.Л.Дук, И.В.Литвиненко. Л., Наука, 1978.

6. Земной тепловой поток на докембрийских щитах СССР / Е.А.Любимова, Е.В.Карус, Ф.В.Фирсов и др. – Советская геология, 1972, № 8.

7. Красковский С.А. О тепловом поле щитов. – Известия АН СССР, сер. геофиз., 1961, № 3.

8. Литвиненко И.В., Ленина И.С. Некоторые результаты изучения сейсморазведкой глубинного строения Печенгской структуры. – В кн.: Геология и строение восточной части Балтийского щита / Под ред. К.О.Кратца. Л., Наука, 1968.

9. Семенов А.С. Геолого-исторический аспект геофизических исследований. – Вестник Ленинградского университета. 1980, № 18.

10. Сидоренко С.В., Сидоренко А.В. Органическое вещество в осадочных метаморфических породах докембрия. М., Наука, 1975.

11. Старикова Г.Н., Любимова Е.А. Тепловые свойства горных пород из скважин Кольского полуострова. – В кн.: Тепловые потоки из коры и верхней мантии Земли / Отв. редакторы В.И.Влодовец, Е.А.Любимова. М., Наука, 1973. Вып. 18.

12. Череменский Г.А. Геотермия. Л., Недра, 1972.

13. Череменский Г.А. Термические аномалии Балтийского щита. – ДАН СССР, 1970, т. 195, № 5.

14. Череменский Г.А. Геотермические измерения в скважинах Котсельваары. – ДАН СССР, 1969, т. 150, № 2.

15. Эйнор О.Л. К вопросу о развитии Русской платформы. В кн.: Структура земной коры и деформация горных пород / Отв. ред. А.В.Пейве. М., Наука, 1960.

16. Sass J.H. J.Geophys Res., 1964, v.69, N 2.