

УДК 550.36(474.5)

Геннадий УРБАН

## НОВЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОВОГО ПОТОКА В ПРЕДЕЛАХ ТЕПЛОВОЙ АНОМАЛИИ БАЛТИЙСКОЙ СИНЕКЛИЗЫ

Геотермические исследования, проводимые на континентах, показывают, что наиболее низкие тепловые потоки (от 34 до 50 мВт/м<sup>2</sup>) наблюдаются на древних платформах (Кутас, 1978). Для Восточно-Европейской платформы средняя его величина составляет 46 мВт/м<sup>2</sup> (Комплексное геофизическое изучение..., 1983). Однако и здесь существуют значительные пространства, соответствующие синеклизам, с аномально повышенным тепловым полем. К ним относится, как показывают исследования последних лет, и Балтийская синеклиза, где плотность потока в центральной части достигает 70 мВт/м<sup>2</sup>, а в отдельных местах превышает и эти значения (Карта теплового потока..., 1987; Цыбуля, Урбан, 1988). Указанная аномалия установлена на основании измерений теплового потока лишь в нескольких пунктах, и поэтому, чтобы изучить структуру ее поля, а также уточнить положение границ, необходимы были дальнейшие работы.

Все рассматриваемые скважины, в которых проводились измерения температур и изучение теплофизических свойств горных пород, достигают кристаллического фундамента. Это позволило определять тепловой поток в нижней части разреза, сложенного силурийскими, ордовикскими и кембрийскими породами. Для вычисления потока наиболее приемлемы силурийские отложения, поскольку они имеют повсеместное распространение, большую мощность и относительно однородный литологический состав. При бурении скважин керн этих пород, как правило, не отбирался, поэтому их теплофизические свойства определялись по образцам из верхней и нижней частей толщи. Лишь в одной скважине (Гаргждай 8) наиболее детально изучена теплопроводность всего комплекса силурийских образований. Измерение этого параметра осуществлялось стационарным методом на установке  $\lambda$ -400, а теплофизические характеристики ордовикских и кембрийских пород — зондовым методом (Любимова и др., 1964). Для вычисления средневзвешенной теплопроводности указанных выше стратиграфических подразделений было изучено 150 образцов. Исследования показали, что опубликованные ранее значения теплопроводности силурийских и ордовикских отложений завышены (максимальная погрешность составляет  $-0,34$  Вт/м·К). Эта ошибка, особенно при высоких градиентах, привела к завышению теплового потока до 16 мВт/м<sup>2</sup>, поэтому в скважинах Гаргждай 8, Шилале и Клайпеда его величины пересмотрены (Зуй и др., 1985; Цыбуля, Урбан, 1988). В таблице приведены исправленные и новые результаты вычисления потока, а также их класс точности (Смирнов и др., 1974).

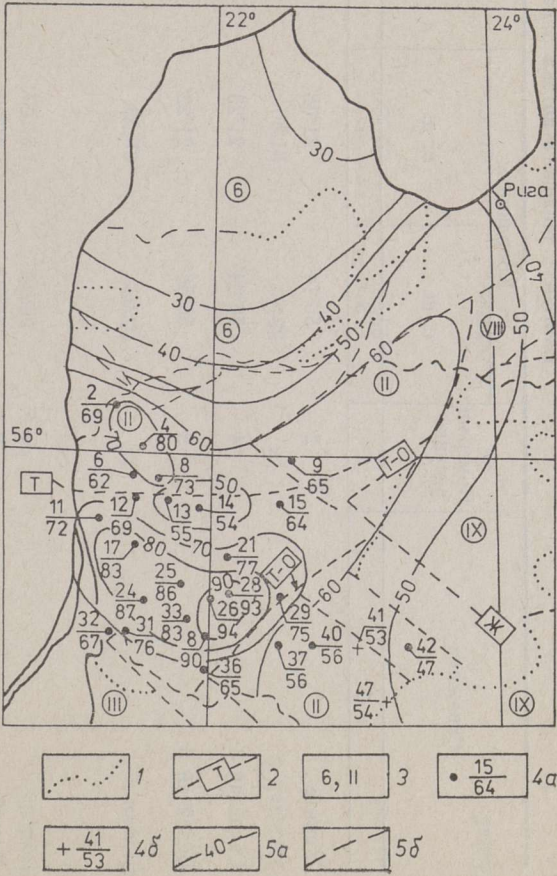
Распределение теплового потока в центральной части Балтийской синеклизы представлено на рисунке, который выполнен на основе тектонической схемы кристаллического фундамента Прибалтики (Пуура и др., 1984). Для Западно-Литовского складчатого массива характерны высокие потоки, а для обрамляющих его геологических структур (Рижского плутона, Инчукалнской и Восточно-Литовской складчатых зон) — низкие. Этот массив сложен метаморфическими и магматическими породами, сформировавшимися в архейское время (Пуура и др., 1980). К древнейшим интрузивным породам относятся метаморфизованные габбро



и габбро-нориты, а к метаморфическим — высокоглиноземистые гнейсы, двупироксеновые гнейсы и кристаллические сланцы. Центральная часть массива представлена в основном глиноземистыми гнейсами, а по мере продвижения к его периферическим частям наблюдается их чередование с биотит-амфибол-двупироксеновыми гнейсами и кристаллическими сланцами. По геофизическим данным, в пределах массива выделяется ряд аномалий: мозаичные гравитационные разного знака и полосовые магнитные. Полагают, что древним гранулит-чарнокитовым блокам соответствуют положительные аномалии силы тяжести, а участкам, которые сложены гранито-гнейсами, — отрицательные (Пуура и др., 1984). Тепловой поток здесь изменяется от 54 до 94 мВт/м<sup>2</sup> (см. рисунок), но преобладает уровень 60—70 мВт/м<sup>2</sup>. На этом фоне в южной части массива выделяются аномально высокие потоки с максимальной величиной 94 мВт/м<sup>2</sup> (скв. Паюрис). К северо-западу располагаются еще две небольшие по площади аномалии: одна из них относительно низких потоков, другая — повышенных. На севере массива, по имеющимся в настоящее время одиночным определениям, значительных отклонений потока от приведенного уровня не установлено.

Ранее отмечалось (Цыбуля, Урбан, 1988), что высокие тепловые потоки наблюдаются там, где в горных породах кристаллического фундамента преобладают глиноземистые гнейсы. Измерения содержания радиоактивных элементов в этих породах показали повышенную их концентрацию, особенно тория. На основе полученных результатов проведена оценка теплогенерации, которая в южной части Западно-Литовского массива составляет 4 мкВт/м<sup>3</sup>.

Тепловой поток центральной части Балтийской синеклизы. 1 — геологические границы структурных элементов кристаллического фундамента (тектоническая схема нанесена согласно работе Пуура и др., 1984); 2 — основные разломы и зоны разломов: Т — Тельшайский разлом, Т-О — Таурагско-Огрская зона; Ж — Жемайтйская зона; 3 — структурные элементы кристаллического фундамента: II — Западно-Литовский архейский массив, III — Калининградский блок, VIII — Инчукалнская складчатая зона, IX — Восточно-Литовская складчатая зона, 6 — Рижский плутон: а — граниты-рапакиви, б — габбро-нориты и анортозиты; 4 — местоположение скважин: в числителе — номер скважины, в знаменателе — плотность теплового потока, мВт/м<sup>2</sup>: а — определенные впервые, б — опубликованные ранее; 5 — изолинии теплового потока, мВт/м<sup>2</sup>: а — достоверные, б — предполагаемые.





Плотность теплового потока Западно-Литовского массива

Скважина	Номер на рисунке	Координаты		Интервал глубин, м	Геотерми- ческий градиент, мК/м	Коэффи- циент теплопро- водности, Вт/м · К	Класс точности	Тепловой поток, мВт/м <sup>2</sup>	
		с. ш.	в. д.					по- интер- вальный	средний
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Жемите	2	56°14'	21°08'	1617—1669 1674—1742 1770—1846	45,0 37,7 16,6	1,55 1,80 4,00	2a	70 68 66	69
Салантай 3	4	56°04'	21°23'	1375—1509 1774—1950	53,0 42,6	1,55 1,80	"	82 77	80
Велайчий 3	6	55°56'	21°22'	1112—1192 1195—1353 1373—1424 1424—1549 1571—1593 1593—1636 1692—1738 1794—1827	32,5 36,6 47,1 32,8 31,4 38,4 37,0 33,3	1,83 1,66 1,49 1,77 2,04 1,61 1,71 2,11	"	59 61 70 58 64 62 63 70	62
Мамай	8	55°55'	21°32'	1286—1341 1341—1417 1498—1566 1569—1695 1740—1788 1788—1830	40,9 49,3 39,4 39,0 43,8 30,2	1,66 1,62 1,77 1,86 1,86 2,20	"	68 76 70 73 81 66	72
Пабальве	9	55°59'	22°33'	1135—1250 1254—1306 1310—1376 1376—1429 1433—1515	32,6 33,3 35,6 41,5 43,9	1,88 1,78 1,74 1,61 1,76	"	61 59 62 67 77	65
Клайпеда	11	55°46'	21°13'	1470—1518 1523—1709 1729—1810 1905—1957 1963—2070 2070—2149	47,1 46,8 40,0 38,1 38,8 32,9	1,55 1,59 1,81 1,85 1,77 2,22	"	73 74 72 70 69 73	72

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Жутаутай	12	55°50'	21°26'	1391—1437 1437—1750 1894—1938 1943—1966 1965—2007 2010—2098 2116—2167	32,6 41,5 40,9 45,6 33,3 44,3 42,2	1,89 1,61 1,74 1,51 1,89 1,79 1,84	”	62 67 71 69 63 79 77	69
Кулай	13	55°40'	21°37'	1383—1430 1430—1496 1505—1591 1709—1743 1748—1782 1814—1910 1928—2031	33,0 32,6 33,7 30,9 30,9 26,0 36,4	1,95 1,73 1,58 1,51 1,77 1,78 1,70	”	64 56 53 47 55 46 62	
Лаужай	14	55°39'	21°53'	1319—1421 1720—1765 1879—1924 2064—2087	23,5 31,8 26,9 22,2	1,84 1,80 1,92 2,08	”	43 57 52 46	54
Шатрия	15	55°39'	22°29'	1371—1440 1447—1598 1600—1629 1640—1711 1711—1740 1750—1804	35,2 33,2 42,1 35,8 49,7 59,1	1,88 1,83 1,50 1,87 1,50 1,97	”	66 61 63 67 74 59	64
Гаргждай 8	17	55°40'	21°20'	1195—1400 1400—1600 1600—1720 1720—1795	52,2 53,0 51,7 40,0	1,63 1,55 1,66 1,86	1a	85 82 86 74	83
Баубляй	21	55°35'	22°06'	1460—1515 1530—1594 1600—1638 1823—1916	42,2 44,1 45,5 33,3	1,93 1,86 1,72 2,14	2a	81 82 78 71	77
Поцяй	24	55°26'	21°27'	1233—1614 1637—1870 1918—2019	55,0 45,4 43,0	1,55 1,95 2,10	”	85 88 90	87



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Шилале	25	55°30'	21°45'	1275—1375 1375—1465 1467—1605 1610—1740 1740—1800	49,0 55,6 53,6 50,0 41,7	1,80 1,57 1,56 1,77 1,93	1a	88 87 84 88 80	86
Паюрис	26	55°26'	21°01'	1289—1483 1486—1549 1549—1596 1596—1630 1649—1766 1771—1803 1860—1901	61,1 58,1 61,7 44,4 50,3 55,6 40,0	1,50 1,66 1,67 2,18 1,84 1,87 2,19	2a	92 96 103 97 92 104 88	94
Жвиляй	28	55°27'	22°09'	1301—1435 1445—1519 1554—1624 1643—1674 1684—1743 1763—1811 1812—1839	58,2 62,3 43,9 60,6 49,2 55,8 66,7	1,60 1,54 2,01 1,59 1,79 1,76 1,51	"	93 96 88 96 88 98 101	93
Малдунай	29	55°26'	22°31'	1343—1416 1416—1450 1464—1547 1559—1607 1607—1708 1712—1774 1806—1872	43,8 30,0 36,8 40,0 53,7 37,6 25,4	1,99 2,23 1,82 1,57 1,57 2,13 2,67	"	87 67 67 63 84 80 68	75
Гараняй	30	55°24'	21°54'	1296—1646 1693—1760 1760—1793 1808—1893 1928—1997	59,4 40,3 48,8 48,2 43,9	1,50 2,03 1,90 1,85 1,88	"	89 82 92 89 83	88
Жальгирай	31	55°17'	21°18'	1334—1479 1480—1630 1700—1770 1771—1816 1833—1907 1913—1983 1995—2056	48,7 45,8 36,7 46,2 39,7 38,0 37,0	1,50 1,60 2,02 1,72 2,03 2,08 2,22	"	73 73 74 80 81 79 82	76

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Русне	32	55°17'	21°12'	1262—1340 1500—1635 1847—1950	33,6 39,4 31,7	1,90 1,75 2,10	"	64 69 67	67
Вайнутас	33	55°19'	21°52'	1635—1752 1763—1853	39,0 46,9	2,13 1,77	"	83 83	83
Аукштуляй	34	55°16'	21°58'	1515—1560 1610—1730 1730—1798 1825—1873 1892—1937	45,1 44,2 57,4 43,8 39,8	2,10 1,90 1,64 2,26 2,12	"	95 84 94 99 84	90
Лауксаргй	36	55°09'	21°57'	1388—1430 1435—1499 1500—1592 1592—1669 1689—1728	38,6 30,3 34,8 37,9 32,0	1,89 1,93 1,73 1,71 2,32	"	73 58 60 65 74	65
Пашалтуонис 94	37	55°12'	22°31'	1098—1395	28,4	1,96	"	56	56
Бебирва III	40	55°11'	22°49'	1042—1176	26,9	2,08	"	56	56
Гелува 99	42	55°12'	23°29'	692—830 830—867 867—909 913—980	20,6 29,7 32,6 35,4	2,01 1,75 1,58 1,48	"	42 52 52 52	47



Если считать, что верхняя часть кристаллического фундамента на юге массива сложена, главным образом, гранитами и гранито-гнейсами (что подтверждается присутствием здесь отрицательной гравитационной аномалии) с высоким торий-урановым отношением, то аномальное увеличение потока обусловлено здесь интенсивным тепловыделением из приповерхностного слоя земной коры. Мощность его, по-видимому, незначительна, так как теплогенерация в обрамляющих аномалию породах уже уменьшается более чем в два раза, а тепловой поток ниже только на 10—20 мВт/м<sup>2</sup>. Например, в Гаргждайской зоне поднятий тепловыделение составляет 2 мкВт/м<sup>3</sup>, хотя плотность потока практически неизменна — 83 мВт/м<sup>2</sup>.

Анализируя распределение теплового потока в целом для Западно-Литовского массива, можно видеть полосу пониженных значений (от 54 до 72 мВт/м<sup>2</sup>), простирающуюся с запада на восток и совпадающую с Тельшайской разломной зоной. Минимального значения поток достигает в центре полосы, где выделяется небольшая по площади аномалия.

Существует мнение, что Тельшайская разломная зона возникла за очень короткое время в результате позднекаледонских движений (Стирпейка, 1977). Следовательно, она должна характеризоваться потоками, не отличающимися от средней величины (65 мВт/м<sup>2</sup>), так как только долгоживущим разломам, сохранявшим свою активность и в кайнозое, свойственно повышенное тепловое поле. В действительности тепловые потоки в рассматриваемой разломной зоне несколько ниже среднего значения, особенно в центральной части (скв. Куляй и Лаужай). Это уменьшение, видимо, вызвано динамикой подземных вод в зоне тектонических нарушений (Брангулис и др., 1978). Вертикальные перетоки вод из нижних водоносных горизонтов в верхние ведут к перераспределению тепла и «сглаживанию» геотермического градиента.

В северо-западном направлении величина теплового потока вновь возрастает, однако она практически не превосходит принятого среднего уровня, за исключением скв. Салантай 3, где плотность потока достигает 80 мВт/м<sup>2</sup>. В районе этой скважины горные породы, слагающие кристаллический фундамент, обладают повышенной теплогенерацией (от 2,5 до 5,0 мкВт/м<sup>3</sup>), чем и обусловлено увеличение плотности потока.

Таким образом, в пределах Западно-Литовского массива существует прямая связь между величиной теплового потока и радиогенной генерацией тепла. Однако фоновое значение теплового поля, принятое для этой структуры, остается довольно высоким, а концентрация радиоактивных элементов недостаточна, чтобы можно было ею компенсировать тепловыделение, поступающее из земной коры. Содержание урана и тория в породах массива, за исключением аномальных участков, близко к кларковому. Это эквивалентно теплогенерации 0,7—2,8 мкВт/м<sup>3</sup>, что соответствует породам, образовавшимся в условиях гранулитовой и амфиболитовой фаций (Смыслов и др., 1979). Сопоставляя приведенные данные с данными по другим районам западной части Восточно-Европейской платформы и учитывая имеющиеся представления о распределении радиоактивных элементов в земной коре (Кутас, 1978), можно предположить, что вклад радиогенной составляющей в общий тепловой баланс равен примерно 30—40 мВт/м<sup>2</sup>. Следовательно, остальная часть потока порядка 30 мВт/м<sup>2</sup> поступает из мантии Земли.

Анализ фактического материала показывает, что площадные вариации теплового потока в пределах Западно-Литовского массива вызваны следующими причинами:

- 1) аномально высокие значения — повышенной концентрацией радиоактивных элементов в верхней части фундамента;



2) полоса пониженного потока, ориентированная в широтном направлении и совпадающая с Тельшайской разломной зоной, — гидрогеологическими условиями данного района;

3) высокий фоновый тепловой поток, превосходящий в полтора-два раза его величины для обрамляющих структур, — существенным привносом тепла из мантии.

Рассматриваемая тепловая аномалия простирается на юго-запад и охватывает Калининградский блок архейских пород. Здесь величина потока возрастает до  $97 \text{ мВт/м}^2$  (Цыбуля и др., 1984), а среднее значение равно  $69 \pm 13 \text{ мВт/м}^2$  (Геофизическая модель..., 1987). В акваториальной части Балтийской синеклизы до настоящего времени нет определений теплового потока. С учетом того, что повышенное тепловое поле наблюдается на северо-западном побережье Польши (Майорович, Плева, 1982) и юго-востоке Швеции (Эрикссон, Мальмквист, 1982), предполагается здесь наличие поля высоких тепловых потоков (Урбан, Козел, 1990).

Считается, что положительная аномалия тепловых потоков, расположенная на территории Германии, продолжается в южные районы Швеции (Чермак, 1982; Геофизическая модель..., 1987). Тогда в этом регионе возможно существование единой зоны повышенных потоков, происхождение которой обусловлено интенсивным поступлением тепла из мантии Земли. На активизацию земных недр в пределах акватории Балтийского моря указывает ряд геолого-геофизических исследований. Таким образом, можно думать, что определяющую роль в формировании поля тепловых потоков исследуемой части Балтийской синеклизы играет современная активность тектонических процессов, сходных, возможно, с процессами, протекающими на северо-востоке Германии.

## ЛИТЕРАТУРА

- Брангулис А. П., Брио Х. С., Бендруп Л. Н., Фрейманис А. А., Мурниекс А. Э., Струме Я. А. Влияние тектоники на размещение полезных ископаемых в осадочном чехле Латвии. — В кн.: Тектоника и полезные ископаемые Белоруссии и Прибалтики. Калининград, 1978, 75—83.
- Геофизическая модель тектоносферы Европы. Киев, 1987.
- Зуй В. И., Урбан Г. И., Веселко А. В., Жук М. С. Геотермические исследования в скважинах Калининградской области и Литовской ССР. — В кн.: Сейсмологические и геотермические исследования в Белоруссии. Минск, 1985, 88—94.
- Карта теплового потока Европейской части СССР. Масштаб 1 : 5000000. Л., 1987.
- Комплексное геофизическое изучение тектоносферы континентов. Киев, 1983.
- Кутас Р. И. Поле тепловых потоков и термическая модель земной коры. Киев, 1978.
- Любимова Е. А., Старикова Р. Н., Шушпанов А. П. Теплофизические исследования горных пород. — В кн.: Геотермические исследования. М., 1964, 115—174.
- Майорович Я., Плева С. Изучение теплового потока в Польше и решение тектонофизических задач. — В кн.: Тепловое поле Европы. М., 1982, 261—276.
- Пуура В. А., Биркис А. П., Мотуза Г. Б. Геологическая карта кристаллического фундамента республик Советской Прибалтики. Объяснительная записка. Л., 1980.
- Пуура В. А., Биркис А. П., Мотуза Г. Б. Тектоника кристаллического фундамента Прибалтийского региона. — В кн.: Тектонические исследования запада Восточно-Европейской платформы. Минск, 1984, 43—56.
- Смирнов Я. Б., Безроднов В. Д., Волобуев Г. Л. и др. Глубинный тепловой поток в северной и центральной частях Восточно-Европейской платформы. — В кн.: Глубинный тепловой поток Европейской части СССР. Киев, 1974, 7—46.
- Смыслов А. А., Моисеенко У. И., Чадович Т. З. Тепловой режим и радиоактивность Земли. Л., 1979.
- Стирпейка А. Д. Тектоническое развитие и районирование Балтийской синеклизы в пределах Литвы. — В кн.: Региональная тектоника Белоруссии и Прибалтики. Минск, 1977, 35—41.
- Урбан Г. И., Козел В. П. Геотермические условия северной части Западно-Литовского массива и его обрамления. — В кн.: Сейсмические и геотермические исследования западной части СССР. Минск, 1991, (в печати).



- Цыбуля Л. А., Люсева Л. Н., Смирнова Е. В. Тепловой поток в Припятском прогибе и Балтийской синеклизе (Калининградская область). — В кн.: Методика и результаты геолого-геофизических нефтепоисковых исследований в Припятском прогибе. Минск, 1984, 102—110.
- Цыбуля Л. А., Урбан Г. И. Тепловое поле Балтийской синеклизы и некоторые аспекты его связи с глубинным строением земной коры. — В кн.: Комплексные исследования глубинного строения территории Белоруссии и смежных областей. Минск, 1988, 28—34.
- Чермак В. Карта теплового поля Европы. — В кн.: Тепловое поле Европы. М., 1982, 11—54.
- Эрикссон К. Г., Мальмквист Д. Обзор прошлых и современных исследований теплового потока в Швеции. — В кн.: Тепловое поле Европы. М., 1982, 353—365.

Институт геохимии и геофизики  
Академии наук Белорусской ССР

Поступила в редакцию  
31/X 1989

Gennadi URBAN

## UUSI SOOJUSVOO MÄÄRANGUID BALTI SÜNEKLIISI SOOJUSANOMAALIA PIIRES

On esitatud Balti sünekliisi keskosa geotermiline iseloomustus ning selgitatud, et aluskorra Lääne-Leedu massiivi piires on soojusvoog kõrgem tavalisest ja moodustab 54—94 mWt/m<sup>2</sup>. Keskmise väärtuse (65 mWt/m<sup>2</sup>) taustal eristub mitmeid väikese pindalaga anomaaliaid, mida võib seostada mõnede aluskorrakivimite võimega genereerida rohkem radiogeenset soojust, aga ka piirkonna hüdrogeoloogiliste iseärasustega. On oletatud, et Lääne-Leedu ja Kaliningradi oblasti alal esinev soojusanomaalia levib ka Läänemere põhjakivimites ning on sealtkaudu ühenduses Saksamaa aladel teadaoleva positiivse soojusanomaaliaga. Väidetavalt on sellise ulatusliku anomaalia põhjustanud Maa vahetvõõst eralduv anomaalne soojusvoog.

Gennadi URBAN

## NEW EVIDENCE IN MEASURING HEAT FLOW IN THE REGION OF HEAT ANOMALY OF THE BALTIC SYNECLINE

A geotermic characterization of the central part of the Baltic syncline is presented. It appears that in the basement of the massif of West Lithuania, heat flow is higher than normal, namely 54 to 94 mWt/m<sup>2</sup>. There occur several small-size anomalies in this region which may be explained by the ability of the basement rock to generate more radiogenic heat, and also by the hydrogeological peculiarities of the region. It is presumed that the heat anomaly occurring in West Lithuania and the Kaliningrad Region extends to the basement rock of the Baltic Sea and is connected with the positive heat anomaly noted in Germany. It is suggested that such a wide spread of the anomaly may be the result of anomalous heat emission from the Earth's mantle.