

УДК 550.36(474.5)

Геннадий УРБАН

НОВЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛООВОГО ПОТОКА В ПРЕДЕЛАХ ТЕПЛОВОЙ АНОМАЛИИ БАЛТИЙСКОЙ СИНЕКЛИЗЫ

Геотермические исследования, проводимые на континентах, показывают, что наиболее низкие тепловые потоки (от 34 до 50 мВт/м²) наблюдаются на древних платформах (Кутас, 1978). Для Восточно-Европейской платформы средняя его величина составляет 46 мВт/м² (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/м², 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.

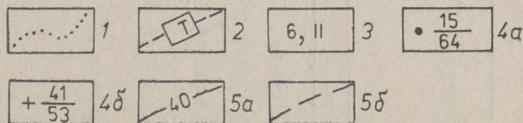
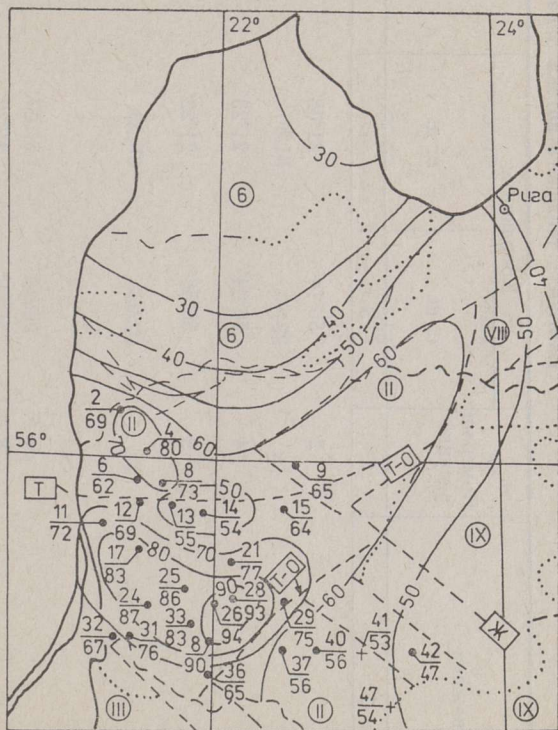
Все рассматриваемые скважины, в которых проводились измерения температур и изучение теплофизических свойств горных пород, достигают кристаллического фундамента. Это позволило определять тепловой поток в нижней части разреза, сложенного силурийскими, ордовикскими и кембрийскими породами. Для вычисления 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 λ -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/м², 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/м² (см. рисунок), но преобладает уровень 60—70 мВт/м². На этом фоне в южной части массива выделяются аномально высокие потоки с максимальной величиной 94 мВт/м² (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/м³.

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 складчатая зона, 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/м²: а — определенные впервые, б — опубликованные ранее; 5 — изолинии теплового потока, мВт/м²: а — достоверные, б — предполагаемые.



Плотность теплового потока Западно-Литовского массива

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

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

	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
Маллунай		29	55°26'	22°31'	1343—1416 1416—1450 1464—1547 1559—1607 1607—1708 1712—1774 1806—1872 1296—1646	43,8 30,0 36,8 40,0 53,7 37,6 25,4 59,4	1,99 2,23 1,82 1,57 1,57 2,13 2,67 1,50	"	87 67 63 84 80 68 89	75
Гараняй		30	55°24'	21°54'	1693—1760 1760—1793 1808—1893 1928—1997 1334—1479 1480—1630 1700—1770 1771—1816 1833—1907 1913—1983 1995—2056	48,8 48,2 43,9 48,7 45,8 36,7 46,2 39,7 38,0 37,0	2,03 1,90 1,85 1,88 1,50 1,60 2,02 1,72 2,03 2,08 2,22	"	82 92 89 83 73 73 74 80 81 79 82	88
Жальгирай		31	55°17'	21°18'				"		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
Дукштуляй	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/м². Например, в Гаргждайской зоне поднятий тепловыделение составляет 2 мкВт/м³, хотя плотность потока практически неизменна — 83 мВт/м².

Анализируя распределение теплового потока в целом для Западно-Литовского массива, можно видеть полосу пониженных значений (от 54 до 72 мВт/м²), 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/м²), так как только должившимся разломом, сохранившим 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/м². В районе этой скважины горные породы, слагающие кристаллический фундамент, обладают повышенной теплогенерацией (от 2,5 до 5,0 мкВт/м³), 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/м³, 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/м². Следовательно, остальная часть потока порядка 30 мВт/м² 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 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 PIRES

On esitatud Balti sünekliisi keskosa geotermiline iseloomustus ning selgitatud, et aluskorra Lääne-Leedu massiivi piires on soojusvoog kõrgem tavalisest ja moodustab 54—94 mWt/m². Keskmise väärtuse (65 mWt/m²) 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 vahetähtselt 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/m². 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.