

# A geotermikus kutatások néhány szovjetunióbeli eredménye

F. V. FIRSZOV

Földfizikai Intézet, Moszkva

A szerző a hőárammérések elvi alapjainak ismertetése után a Szovjetunióban végzett mérések néhány eredményét mutatja be.

Ezek szerint a Szovjetunió területét hőáram szempontjából 10 övezetre lehet felosztani: négy területen magas a földi hőáram  $1,8 - 2,8 \cdot 10^{-6}$  kal/cm<sup>2</sup> sec (Bajkál, a Kárpátok, a Középázsiai hegyvidék, a Középkaukázusi előtér); két terület kis hőáramú  $0,7 - 1,0 \cdot 10^{-6}$  kal/cm<sup>2</sup> sec (Kola-félsziget és az Ukrajna-i tábla); néhány pedig normális középértékű  $1,0 - 1,7 \cdot 10^{-6}$  kal/cm<sup>2</sup> sec (az Orosz tábla, Kazahsztán, az Ázsiai hegylánc, Indo-Kubán és a Bajkálon túl).

После изложения принципиальных основ измерения тепловых потоков, автор приводит некоторые результаты работы, проведенных в СССР.

По этим данным территория СССР разделяется на 10 зон: четыре района характеризуются высокими величинами земного теплового потока, равными  $1,8 - 2,8 \cdot 10^{-6}$  кал/см<sup>2</sup>сек (Байкал, Карпаты, горные сооружения Средней Азии, Среднее Предкавказье); две зоны отличаются низкими значениями теплового потока, равными  $0,7 - 1,0 \cdot 10^{-6}$  кал/см<sup>2</sup>сек (Кольский полуостров, Украинский щит); а для некоторых зон характерны нормальные средние величины теплового потока около  $1,0 - 1,7 \cdot 10^{-6}$  кал/см<sup>2</sup>сек (Русская платформа, Казахстан, горные цепи Азии, Индо-Кубан и Забайкалье).

Nach einer Besprechung der prinzipiellen Grundlagen der Wärmeflussmessungen werden einige Ergebnisse der in der Sowjetunion durchgeführten Messungen mitgeteilt.

Laut den gegebenen Daten können wir das Gebiet der Sowjetunion aus dem Gesichtspunkte des Wärmeflusses in zehn Zonen aufteilen. In vier Gebieten finden wir einen hohen Wert des Wärmeflusses, und zwar:  $1,8 - 2,8 \cdot 10^{-6}$  cal/cm<sup>2</sup>sec (Baikal, die Karpaten, Mittelasiatische Gebirgsgegend, Mittelkaukasisches Vorland). Zweie der Gebiete haben niedrige Werte des Wärmeflusses, und zwar:  $0,7 - 1,0 \cdot 10^{-6}$  cal/cm<sup>2</sup>sec (Kola-Halbinsel und Ukrainische Tafel). Die weiteren Gebiete weisen einen einigermassen normalen, mittelhohen Wert auf (Russische Tafel, Kazakstan, Asiatische Gebirgsketten, Indo-Kuban und die Gegend über dem Baikal).

Az elmúlt évek során jelentősen megnőtt az érdeklődés a geotermikus kutatások iránt. A földi hőháztartás elméletének, valamint a kőzetek hőfizikai sajátosságaihoz alkalmazott laboratóriumi kutatások fejlődése következtében a geotermika a geofizika meglévő alapfejezeteinek egyikévé nőtt, amely már nemcsak alkalmazott jellegű feladatokból áll. A geotermika más geofizikai módszerekkel együtt alkalmas a Föld belső folyamataival kapcsolatos feladatok megoldására.

A Föld hőmennyiségének gyakorlati felhasználásával kapcsolatban felmerül, hogy szükséges ismerni a hőforrások eredetét és eloszlását a földgolyóban. A tudomány legújabb feladatai szerint a földi hőt közvetlenül a belső folyamatokból vezethetjük le. A hő hőforrásaiként az urán, tórium, kálium izotópok bomlási folyamatait, az áramlási súrlódásokat, a rugalmas feszültségek feloldódását, a gravitációs mozgásokat, kémiai reakciókat és másokat ismerjük el elsősorban. Az ismertetettek közül számunkra — a tudósok abszolút többségű véleménye szerint — a radioaktív hőforrások elsődlegesek. Ezért feltételezhetjük, hogy a földkéreg hőháztartását a radioaktív bomlások hője határozza meg alapjaiban. A radioaktív elemek koncentrációja különböző mélységekben változó és a mélységgel csökken. A felületi földi hőáram tápláló zónája a Föld

mélyébe száz kilométerre terjed ki. A felszínen meghatározott földi hőáram mélységi eredettel bír és elvben tájékoztatásokat ad a felső rész mélyebb szintjeinek anyagi összetételéről.

A belső folyamatok észlelhetők tektonikus, szeizmikus, hidrotermális működésben és földi hőáramban. Más geológiai jelenségek között a földi hőáram, amely a mélyből a felszín felé áramlik, energetikai szempontból igen jelentős. Elegendő számításba venni, hogy összehasonlítva az egységnyi időre eső energiát, a földi hőáram energiája 10–100-szor nagyobb, mint az összes energia, mely a földrengéseknél felszabadul. Annak ellenére, hogy a Napból a Föld felületére eső energia 1000-szer nagyobb, mint a földi hőáram, mégsem képes a földgolyó hőösszetételét egészében meghatározni. A hőmérséklet napi és évszakos változásai, amelyeket a Nap a Föld felületén okoz, már nem érzékelhetők néhány méter mélységen túl.

A hő a Föld belsejében a geológiai folyamatok egyik főforrása. A Föld hővesztése a felületén, durván meghatározva  $1,5 \cdot 10^{-6}$  kal/cm<sup>2</sup> sec. Egy évben az egész Földön ez összesen  $2 \cdot 10^{20}$  erg.

### *A földi hőáram meghatározása*

A hőáramot, mint ismeretes, a következő rendkívül egyszerű formula határozza meg:

$$Q = \lambda \text{ grad } T$$

ahol *grad T* – a hőmérsékleti gradiens

$\lambda$  – a kőzetösszetétel hővezetőképessége. Mégis a földi hőáram nagyságának meghatározásánál a gyakorlatban igen sok nehézség jelentkezik. A hőmérséklet mérését a fúrólukban zavartalan hőmérsékleti mező mellett kell végezni. Ezért a hőmérsékletméréseket régi fúrólukokban kell végrehajtani, ahol a fúrólukat kitöltő folyadék már átvette a környező kőzetek hőmérsékletét. Bányák és alagutak már kevésbé alkalmasak a földi hőáram meghatározását célzó hőmérsékletmérésekre; az ott mért hőmérséklet ugyanis nem az eredeti kőzethőmérséklet, mivel az azokban cirkuláló levegő erősen befolyásolja a kőzetek hőmérsékleti rendszerét. Ez a hatás továbbterjed a bányászokos határan túl jelentős távolságra.

A hővezetőképesség meghatározása nehéz azoknál a kőzeteknél is, amelyeket a fúrások harántoltak. A tapasztalat mutatja, hogy egy és ugyanazon kőzetnél erősen függenek a hővezetési sajátosságok a rétegződéstől, a földtani kortól, a folyadéktartalomtól, a repedezettségtől és más geológiai faktoroktól. Más szóval a fúrólukakból származó minták hővezetési tulajdonságainak vizsgálatánál speciális vizsgálatokat kell végezni, amelyek megfelelnek a geológiai szerkezetnek és a geotermikus gradiens alakulásának.

Figyelembe véve azt, hogy a Föld kérge különböző vastagságú és hővezetőképességű rétegekből áll, a hőmérsékletnövekedés a mélységgel nem lehet egyenletes mindenütt.

Egynemű rétegeken keresztül történő hőáramlásnál, amely rétegek párhuzamosak a Föld felszínével, a geoizotermák párhuzamosak lesznek egymással és a földi hőáram merőleges a felszínre. Legyen  $Q$  hőmennyiség, amely keresztül megy az összes vízszintes rétegen, amelyek mind homogének, ki lehet számítani a hőmérsékletet az összes rétegben a következő törvényszerűséggel

$$T = T_0 + Q \approx D/\lambda,$$

ahol  $D$  – az a mélység, ahol a hővezetőképességet mértük

$T_0$  – a felszínre extrapolált hőmérséklet.

Ismert  $T$ ,  $D$  és  $\lambda$ -nál a legkisebb négyzetek módszerével meghatározható  $Q$  és  $T_0$  [1]\*. Állandó gradiensű  $D$  mélységintervallumokban a hővezetőképesség középértékét kiszámíthatjuk a mérésekhez  $\lambda_1$ ;  $\lambda_2$ ;  $\lambda_3 \dots$  tartozó kis  $d_1$ ;  $d_2$ ;  $d_3 \dots$  intervallumokkal:

$$\lambda = \frac{\Delta D}{d_1/\lambda_1 + d_2/\lambda_2 + \dots + d_n/\lambda_n}$$

### 1. A földi hőáram a Kola-félszigeten

A megfigyelési pontokat szeizmikus mérések alapján jelölték ki. A megfigyelt adatok a hővezetőképesség és hőmérsékleti gradiens értékekből a földi hőáram értékét meghatároztuk 6 db 1000 méteres fúrólukban és 6 db 500 m-es lyukban. A lyukkiepítés után eltelt az első 6 lyuknál néhány év, a második hat lyuk esetében néhány hónap telt el. Az idők a hőegyensúly eléréséhez elegendők voltak.

A hőmérsékleti gradiens kiszámításánál javítást alkalmaztunk a lyukferdeségekre. Kiszámítva a legkisebb négyzetek módszerével, a gradiensek 10-től 14 C°/km intervallumban változnak. Kétszáz piroxén, peridotit, diabáz, gabbró, fillit, tuffit, gránit, migmatit minta hővezetőképességi adata alapján határoztuk meg a földi hőáramot, majdnem az egész mélységintervallumban, ahol a hőmérséklet értékeket mértük. Ezekből az adatokból középértékként kaptuk a  $Q$  értékét. A földi hőáram középértéke a Kola-félszigeti területen:  $Q = (0,86 \pm 0,04) \cdot 10^{-6}$  kal/cm<sup>2</sup> sec, a hőmérsékleti nyomás és domborzati korrekcióval  $Q = 0,96 \cdot 10^{-6}$  kal/cm<sup>2</sup> sec. Ez bizonyítja a földi hőáram csökkentett értékét a Balti táblán, amely földi hőáram nagyságra egyezik a Kanadai és Ukrajnai táblákra kapott hőáram nagysággal  $(0,8 - 0,9) \cdot 10^{-6}$  kal/cm<sup>2</sup> sec.

### 2. A földi hőáram a Szovjetunió dél-európai részén

a) Az ukrajnai táblán a földi hőáramot különböző sebességű mozgó zónákban határoztuk meg: Krivoj – Rog, a kievi és cserkeszki területeken. Az ukrajnai tábla térségében a  $Q$  értéke középértékben  $0,7 \cdot 10^{-6}$  kal/cm<sup>2</sup> sec  $\pm 7\%$ . A földi hőáram 18%-kal nagyobb az emelkedő földkérgen Krivoj – Rogban, ahol a jelenlegi mozgás sebessége +10 mm/év, mint a kievi területen, amely negatív mozgású. Így a földi hőáram bizonyos korrelációt mutat a jelenlegi vertikális földmozgásokkal.

Az orosz táblán, az ukrajnai táblán kívül (Poltava, Szumi, Bjelgorod, Jagotin) a földi hőáram  $(1,0 - 1,4) \cdot 10^{-6}$  kal/cm<sup>2</sup> sec. A Kárpáton-túli területen a földi hőáram  $2,6 \cdot 10^{-6}$  kal/cm<sup>2</sup> sec.

b) A Kaukázus középső előterében a kutatási terület Sztavronole, Pé-

\* Sok, de legalább két mérésből (a ford. megjegyzése).

terszkovo – Blagodanenszkaja, Cskalovszko, Prikumszkaja és Mineralnije-vodi térsége volt. A gradiens eloszlásának meghatározására a Szovjetunió Akadémiájának Földfizikai Intézete expedíciót vezetett. *Sz. P. Vlaszovoj, J. Taranyika* majkon, szarmata, csokrak korú kőzetek hővezetőképességét határozta meg a hőáram számításához. Az átlagos-regionális érték a Kaukázus előterében a javításokkal  $1,9 \cdot 10^{-6} \pm 10\%$  kal/cm<sup>2</sup> sec.

c) Az Indo – Kubán-i területet (Krasznodorsz vidéke, a Keres-i földszoros) és az ÉNy-i Krim-félszigetet tekintve, a földi hőáram értéke itt  $(1,1 - 1,5) \cdot 10^{-6}$  kal/cm<sup>2</sup> sec, azaz középértékben  $(1,3 \cdot 10^{-6} \pm 11\%)$  kal/cm<sup>2</sup> sec. Figyelembe véve a Fekete-tengeri fürdők hatásának korrekcióját a tengerparti vidéken, Jaltában a földi hőáram  $1,6 \cdot 10^{-6}$  kal/cm<sup>2</sup> sec.

3. Közép-Ázsia területén a földi hőáram néhány pontban ismert (Alma-Ata, Szerafimovka, Przsevalek, Csatirkul, Karazsal). A kazahsztáni platform normális földi hőárammal jellemzett:  $(1,1 - 1,3) \cdot 10^{-6}$  kal/cm<sup>2</sup> sec. A Przsevalszka-i részen a földi hőáram egyenlő  $(1,8 \pm 0,5) \cdot 10^{-6}$  kal/cm<sup>2</sup> sec.

4. A Szovjetunió Akadémiájának Földfizikai Intézete 1965-ben expedíciót indított a Bajkálra is. Az óceánográfiai módszerek segítségével tizenegy állomáson meghatározták a fenék alatt a földi hőáramot. *H. A. Ljubimova* megvizsgálta a hideg víztömeg, a domborzati egyenlőtenség, az üledék jelenlétének és a jegesedés korrekcióját. A földi hőáram a Bajkál alatt  $2,8 \cdot 10^{-6}$  kal/cm<sup>2</sup> sec  $\pm 7\%$ , a Bajkálon túl, az Irkutszki amfiteátrumban (Atovszkaja, Ahinszkaja)  $0,95 \cdot 10^{-6}$  kal/cm<sup>2</sup> sec  $\pm 4\%$ . Ezekkel az adatokkal a tábla a Bajkálon túli területen könnyen elválasztható a geoszinklinális területtől. A hőáram maximum a Bajkál alatt megfelel a magas szeizmikusságnak és hirtelen emelkedő elektromos vezetőképességnek, amely kapcsolatban van a hőmérséklet emelkedésével.

(A Szovjetunió Akadémiájának Szibériai Osztálya által végzett elektromos mélyszondázások alapján.)

A Szovjetunió 84 pontján kapott alapadatokat tíz tipikus területre lehet osztani a földi hőáram szempontjából: *négy területen magas a földi hőáram*  $(1,8 - 2,8) \cdot 10^{-6}$  kal/cm<sup>2</sup> sec (Bajkál, a Kárpátok, a Közép-ázsiai hegyvidék, a Közép-kaukázusi előtér); *két terület kis hőáramú*  $(0,7 - 1,0) \cdot 10^{-6}$  kal/cm<sup>2</sup> sec (Kola-félsziget és az Ukrajna-i tábla); *néhány pedig normális középértékű*  $(1,0 - 1,7) \cdot 10^{-6}$  kal/cm<sup>2</sup> sec (az Orosz tábla, Kazahsztán, az Ázsiai hegylánc, Indo-Kubán és a Bajkálon-túl).

A földi hőáram szovjetunióbeli vizsgálataiból kitűnik, hogy a földi hőáram értékek kapcsolatban vannak a tektonikus zónákkal.

A korreláció megállapítása a földi hőmező, a tektonizmus, a szeizmicitás, a gravitációs jelenségek között ahhoz a szükségszerűséghez vezet, hogy a geotermikus kutatásokat komplexen alkalmazzuk más geofizikai módszerekkel.

#### IRODALOM

- [1] *Ljubimova, Ljuszova, Firssov, Sztaricskova, Supanov*: Geotermicseszkije isszledoványija. Izdatyelsztvo „Nauka” Moszkva, 1964.