

УДК 550.361;551.24

<https://doi.org/10.30836/gbhgd.2024.54>

ГЕОТЕРМІЧНІ УМОВИ ЛІТОСФЕРИ УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА

Кутас Р. І.

Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАНУ, м. Київ, Україна, kutasroman@gmail.com

GEOTHERMAL CONDITIONS OF THE LITHOSPHERE OF UKRAINIAN SHIELD

Kutas R. I.

²S. Subbotin Institute of Geophysics NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine, kutasroman@gmail.com

In the present paper the surface heat flow pattern, the distribution of the radiogenic heat sources, and the calculated temperatures within the crust of the Ukrainian Shield are discussed. In the Ukrainian Shield the heat flow varies from 25 to 55 mWm⁻². The heat flow decreases in areas of a thick crust composed of the Archean high-grade metamorphic rocks and increases in areas of a thin crust built of granitoids. It is concluded that the decrease of heat generation with depth is exponential; at the crustal bottom its value is less than 0.2 μWm⁻³. The calculated Moho temperatures range from 360° to 540 °C. The geothermal lithosphere thickness varies from 180 km to 230 km.

Вступ. Головним джерелом інформації про геотермічні умови літосфери є потік тепла, який надходить із надр Землі і може бути визначений в приповерхневому шарі земної кори за результатами вимірювання температури в свердловинах. На території України існує досить густа сітка свердловин, в яких проводились вимірювання геотермічних параметрів. Досліджені всі головні геотектонічні зони. За результатами цих досліджень виявлено значні неоднорідності теплового поля. Густина теплового потоку змінюється від 25-30 до 100-120 мВт/м². Розподіл теплових потоків узгоджується з геотектонічним районуванням і корелюється з головними етапами формування і розвитку земної кори. Мінімальними значеннями теплового потоку виділяються докембрійські структури, максимальною неоднорідністю — мезо-кайнозойські.

Об'єкт і методи дослідження. В роботі наведено результати аналізу геотермічних досліджень в глибоких свердловинах на території Українського щита (УЩ) з використанням геолого-геофізичних і геохімічних даних та матеріалів математичного моделювання умов теплообміну в надрах Землі.

Результати дослідження. Теплові потоки в межах УЩ змінюються від 25 до 55 мВт/м² (рис.). Переважають значення 35-45 мВт/м². Чітко вимальовується смуга низьких значень (25-35 мВт/м²), яка простягається у вигляді окремих аномалій через центральну частину УЩ. Її розділяє на західну і східну частини зона підвищених значень (42-50 мВт/м²) Інгульського мегаблоку. На північному заході аномалія низьких значень охоплює практично всю площу Волинського і Подільського мегаблоків, проходить через центральну частину Росинсько-Тікичського мегаблоку, розділяючи його на північно-східний і південно-західний субблоки. На сході цього мегаблоку аномалія розгалужується на дві гілки: одна, затухаючи, продовжується у межах Корсунь-Новомиргородського плутону, друга продовжується у Голованівській шовній зоні.

У східній частині УЩ виділяється декілька субмеридіональних смуг з низькими і підвищеними значеннями теплового потоку. Низькі значення

характерні для західної частини Середньопридніпровського мегаблоку і західного Приазов'я, підвищені — для Оріхово-Павлоградської зони, тектонічного шва Донецьк-Брянськ, північної частини Приазовського масиву. Наведена загальна характеристика поля теплових потоків УЩ дозволяє зробити висновок про узгодженість розподілу теплових потоків з регіональним тектонічним районуванням. Спостерігається кореляція між густиною теплового потоку і товщиною земної кори. Зони з більш потужною корою характеризуються зниженням густини теплового потоку.

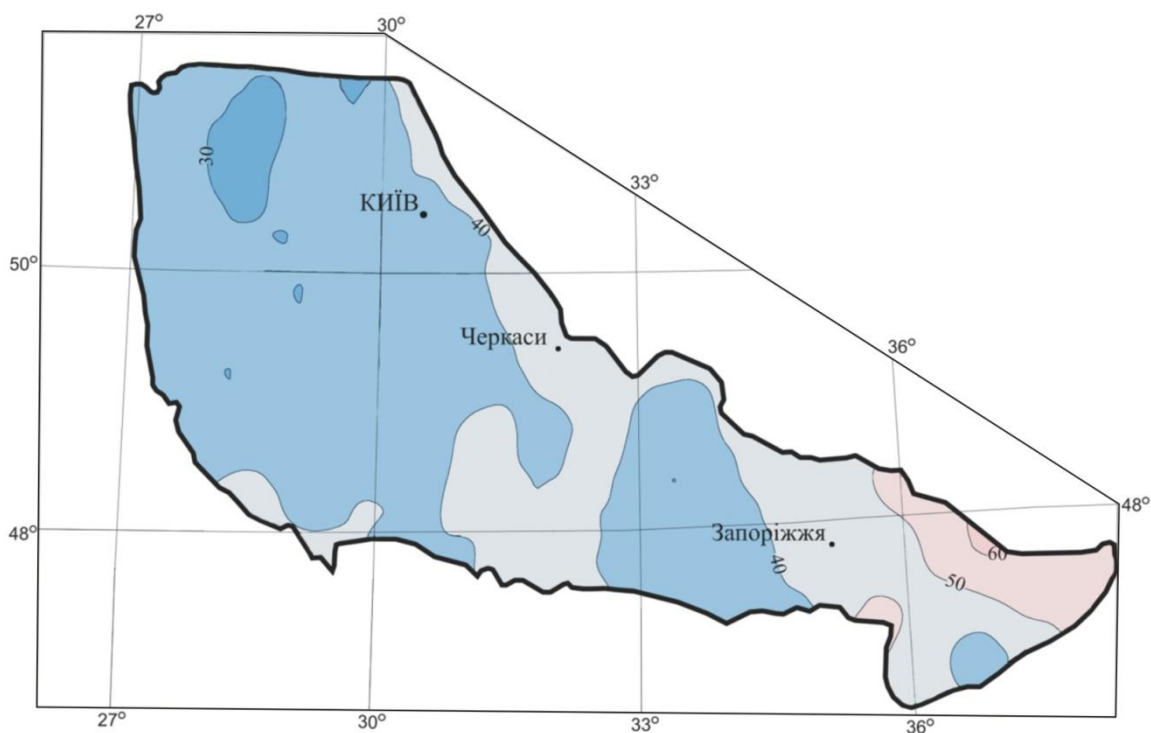


Рисунок – Схема розподілу теплового потоку Українського щита [3].

Головним джерелом теплової енергії в земній корі є розпад довгоживучих радіоактивних елементів (U, Th, K). На Українському щиті виконано великий об'єм геохімічних досліджень. На базі цих даних одержано узагальнюючі закономірності про розподіл радіоелементів і відповідно оцінено радіогенну теплогенерацію в гірських породах різного типу і генезису. В магматичних породах спостерігається багаторазове зменшення радіоактивних елементів від порід кислого складу до ультраосновного. В останніх генерація тепла не перевищує $0,1 \text{ мкВт/м}^3$. В основних породах вона складає $0,2-0,5 \text{ мкВт/м}^3$, в гранодіоритах, діоритах підвищується до $0,6-1,0 \text{ мкВт/м}^3$, а в гранітах — до $1,0-2,8 \text{ мкВт/м}^3$ і більше. Слаборадіоактивними є плагіограніти, високорадіоактивними — калієві граніти. В метаморфічних породах радіоактивність залежить від первинного складу порід і ступеня метаморфізму. Серед метаморфічних порід можна виділити породи слаборадіоактивні і з нормальною або підвищеною радіоактивністю. Першу групу утворюють мафічні породи, другу — кислі. Понижена радіоактивність може бути первинною, якщо метаморфізуються породи з первинним низьким вмістом радіоактивних

елементів, або вторинною, обумовленою високим ступенем (гранулітова фація) метаморфізму. Породи, що утворилися за рахунок ультраметаморфізму зберігають в розподілі радіоактивних елементів переважно закономірності субстрату. Більшу частину території УЩ складають структурно-формаційні комплекси двох рівнів радіогенного тепловиділення — підвищеного ($1,2-2,5$ мкВт/м³), який утворюють протерозойські гранітоїди, і низького ($0,2-1,4$ мкВт/м³), до якого належать метаморфізовані осадово-вулканогенні породи з великим вмістом основних ефузивів. Обмежені площі займають породи з надвисоким або низьким вмістом радіоактивних елементів. На базі цих даних можна зробити висновки про загальні закономірності в розподілі радіоактивних елементів в приповерхневому шарі і одночасно про суттєві варіації їх вмісту в одних і тих же комплексах в залежності від їх походження, умов утворення і залягання, геохімічних і гідрогеологічних обставин. Значну роль в перерозподілі радіоактивних елементів відіграють гіпергенні процеси, які призводять до їх накопичення в нижній частині кори вивітрювання та в масиві корінних порід безпосередньо під нею [1]. Особливо чутливі до зміни геохімічних умов уран і калій. Радіогенне тепловиділення в нижній частині приповерхневого шару часом в декілька разів може перевищувати його величину в масиві порід на більшій глибині.

Низькою генерацією радіогенного тепла ($0,1-0,5$ мкВт/м³) характеризуються архейські породи Середнього Придніпров'я і Побужжя. В високометаморфізованих породах Подільського мегаблоку, Гайворонського і Вінницького субблоків, Голованівської шовної зони генерація тепла не перевищує $0,4-0,7$ мкВт/м³. Приблизно стільки ж тепла виділяють породи консько-верховцівської, росинсько-тікичської серій, продукти гранітизації архейських комплексів Волинського, Росинсько-Тікичського мегаблоків. В амфіболітах, біотітових гнейсах, гранітоїдах генерація тепла збільшується до $0,7-1,6$ мкВт/м³, в гранітах рапаківі — до $1,9-2,5$ мкВт/м³. Наведені дані дозволяють зробити висновок, що на регіональному рівні між густиною теплового потоку і виділенням радіогенного тепла в приповерхневому шарі існує кореляційний зв'язок.

В окремих однорідних тектонічних блоках з подібними умовами розвитку (геохімічних провінціях) спостерігається лінійна залежність між густиною теплового потоку і радіогенною тепло генерацією в приповерхневому шарі, яку можна записати у такому виді:

$$q_0 = q_r + AD \quad , \quad (1)$$

де q_0 — густина теплового потоку в приповерхневому шарі земної кори, q_r — густина сумарного теплового потоку, що надходить з верхньої мантії і нижньої кори (редукований тепловий потік), A — радіогенна теплогенерація в приповерхневому активному шарі, D — параметр товщини (h) верхнього найбільш збагаченого радіоактивними елементами шару. Лінійне співвідношення (1) задовольняє як рівномірному розподілу джерел тепла в активному шарі земної кори, так і зменшенню їх концентрації з глибиною по лінійному або експоненційному закону. При рівномірній концентрації джерел тепла параметр D дорівнює товщині (h) активного шару, при зменшенні

тепловиділення по лінійному закону $D = 0,5 h$, а при експоненційному характеризує ступінь геохімічної диференціації активного шару з глибиною: $A_z = A_0 \exp(-h/D)$ (A_0 — генерація тепла на поверхні). З геохімічної точки зору саме експоненційний закон зменшення радіоактивності з глибиною є найбільш імовірним.

Експериментальні дані, що характеризують густину теплового потоку і радіогенну теплогенерацію на УЩ, чітко розділяються на дві групи. Одну групу утворюють дані, одержані в архейських і раньопротерозойських блоках, складених в різній степені метаморфізованими породами, другу — дані, одержані в межах масивів гранітоїдів.

Верхня частина земної кори УЩ за рахунок радіогенного тепла забезпечує 8-15 мВт/м² теплового потоку в архейських структурах і 12-25 мВт/м² в протерозойських. Цю різницю можна пояснити або ерозією, яка призвела до руйнування верхнього найбільш збагаченого радіоактивними елементами верхнього шару земної кори, або зміною умов розвитку літосфери на границі архею і протерозою, яка вплинула на її будову і склад. Останньому фактору слід віддати перевагу, враховуючи цілий ряд інших геологічних подій, які мали місце в цей же період [2, 3].

Аналіз одержаних залежностей дозволяє зробити деякі висновки: 1) спостерігається суттєва відмінність в розподілі радіоактивних елементів і теплових потоків в архейських і протерозойських блоках УЩ; 2) коливання теплового потоку на території УЩ від 30 до 50 мВт/м² зумовлене нерівномірним розподілом радіогенних джерел тепла у верхній частині земної кори; 3) мантійна складова теплового потоку на всій території УЩ, очевидно, змінюється дуже мало і дорівнює приблизно 22 ± 2 мВт/м²; 4) збільшення концентрації радіоактивних елементів в верхньому шарі земної кори супроводжується зменшенням товщини цього шару і земної кори в цілому. Навпаки, низький вміст радіоелементів в верхньому шарі компенсується за рахунок збільшення його товщини. Складається враження, що починаючи з архею розвиток літосфери йшов в напрямку її поступового розшарування при збереженні сумарної кількості радіогенних джерел тепла. В блоках середньої і пізньої протерозойської активізації земна кора більш чітко відділяється від верхньої мантії.

Побудова моделей розподілу радіогенних джерел тепла в земній корі повинна базуватися на комплексному аналізі різнобічної геолого-геофізичної і геохімічної інформації. В першу чергу, це експериментальні дані про вміст радіоактивних елементів в породах різних за складом, походженням, еволюцією і фізичними параметрами. Досить багатий геохімічний матеріал по УЩ дає можливість зробити деякі висновки про розподіл радіогенних джерел тепла і теплофізичні властивості гірських порід в різних шарах земної кори. Природно, що найбільш достовірними є дані про інтенсивність радіогенної теплогенерації в верхній частині гранітного шару. Вона змінюється від 1,6 до 0,7 мкВт/м³. З глибиною генерація тепла і діапазон її коливань зменшуються. В діоритовому шарі (в складі якого імовірно переважають діорити, андезити, амфіболіти, чарнокіти, ендербіти, кристалічні сланці) генерація тепла зменшується до 0,8-0,4 мкВт/м³. В базальтовому шарі, складеному основними і, можливо, частково

ультраосновними породами (базальти, габбро, норіти, основні грануліти, піроксенові гнейси, еклогіти, піроксеніти) генерація тепла складає 0,4-0,1 мВт/м³. В кожному конкретному регіоні неоднозначність у виборі моделі розподілу джерел тепла може бути суттєво зменшена при наявності експериментальних даних і залежності між густиною теплового потоку і кількістю виділеного радіогенного тепла. Зменшити неоднозначність у виборі моделі розподілу радіогенних джерел тепла допомагають кореляційні залежності між вмістом радіогенних джерел тепла і фізичними параметрами порід, зокрема швидкостями розповсюдження сейсмічних хвиль і густиною [3, 4]. Із збільшенням швидкості і густини генерація тепла зменшується по експоненційному закону.

В межах докембрійської платформи і УЩ сучасний розподіл теплових потоків в літосфері визначається інтенсивністю радіогенних джерел тепла, перерозподіл яких відбувся на етапі формування земної кори.

З густиною теплового потоку узгоджується розподіл температур в земній корі і верхній мантії. В основі земної кори температури змінюються від 360 °С до 540 °С, поверхня астеносфери виділяється на глибинах 180-230 км.

Висновки. Геотермічні умови континентальної літосфери характеризуються значною неоднорідністю. Високими значеннями теплового потоку (90 ± 30 мВт/м²) виділяються молоді мезокайнозойські структури, низькими (40 ± 15 мВт/м²) — докембрійські.

В межах УЩ мінімальні (34 ± 7 мВт/м²) теплові потоки зареєстровані в архейських блоках, підвищені (44 ± 8 мВт/м²) — в протерозойських. Радіогенний потік земної кори складає 8-15 мВт/м² в архейських блоках і 12-25 мВт/м² в протерозойських. Різниця в генерації тепла може бути обумовлена ерозією архейських блоків, або зміною геодинамічного режиму в протерозої, зокрема розвитком субдукційних процесів і надсубдукційного магматизму.

За геотермічними даними товщина літосфери під архейськими блоками складає 200-220 км, під протерозойськими — 200-230 км.

Література

1. Герасимов Ю.Г. Радиогеохимическая специализация тектонических блоков Украинского щита // Проблема геологического строения, петрологии и металлогении кристаллического фундамента Белоруссии и смежных регионов. Минск: Наука и техника. 1978. С. 103—109.
2. Taylor S.R., McLennan S.M. 1988. The continental crust: its composition and evolution. Canberra, Australia. Blackwell Scientific Publications. 384 p.
3. Kutas R.I. Heat flow, radiogenic heat and crustal thickness in southwest USSR // Tectonophysics. 1984. Т.103. P. 167—174.
4. Rybach L., Buntebrath G. 1982. Relationship between the petrophysical properties, density, seismic velocity heat generation and mineralogical constitution // Earth Planet. Sci., Lett. Т.57. P. 367—376.