

О. В. Усенко

Умови метаморфізму та гранітизації порід Українського щита

(Представлено академіком НАН України В. І. Старостенком)

Розглянуто умови метаморфізму докембрійських порід Українського щита. Зроблено висновок, що інтенсивність перетворень залежить від тиску, температури, кількості та складу привнесеної речовини. Усі ці параметри безпосередньо пов'язані з відстанню до астеносфери, кривля якої розміщується на глибині 20 км. Розплави корової астеносфери можуть виникнути виключно за рахунок надходження речовини з мантії.

Розгляд умов метаморфізму та гранітизації докембрійських порід є важливим за кількох причин. По-перше, широко поширена думка, що палеогеотермічний градієнт в докембрії істотно відрізнявся від фанерозойського та сучасного. Вважається, що саме підвищений геотермічний градієнт є причиною появи гранітоїдів внаслідок анатектичного плавлення. По-друге, до останнього часу поширена точка зору, що ступінь метаморфізму та вік утворення порід є параметрами, пов'язаними між собою: чим вищий ступінь метаморфізму — тим старші породи.

Регіональний метаморфізм — змінення під впливом тиску та температури при зануренні шару порід на глибину. На сьогодні визначено PT -умови перетворення для багатьох зразків порід УЩ [1]. Температури метаморфізованих порід до глибини 18 км розміщено вздовж прямої, глибше діапазон температур досягає 150 °С на одному рівні (рис. 1). Значно вищі температури на глибині 0–20 км фіксують тільки гідротермальні утворення, що відкладаються з флюїдів, які відокремлюються від корової астеносфери та інтрузій. На глибині 20 км середні температури перевищують температуру солідусу порід амфіболітової фації (600 °С), тому породи, що за складом відповідають граніту — андезиту, плавляться. Для плавлення ультраосновних та основних порід потрібні значно вищі температури (1050 °С

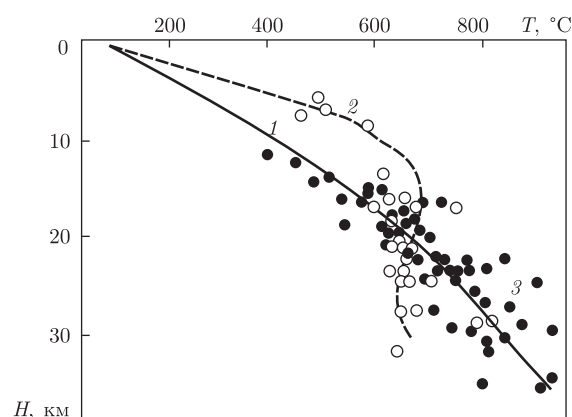


Рис. 1. PT -умови регіонального метаморфізму в корі УЩ (1), розрахунок температур при гідротермальній активності (2) та встановлені для Приазовського масиву (3) [1, 4]

і більше) у діапазоні корових глибин. Тому вони частково зберігаються навіть у коровому осередку у вигляді ксенолітів, розмір яких може варіювати від кількох сантиметрів до кількох кілометрів. Температури метаморфічних перетворень подібних порід УЩ можуть перевищувати 800 °С. Глибше 20 км — діапазон температур метаморфічних перетворень значно ширший, що пояснюється впливом на частину зразків високотемпературних ($T > 1000$ °С) мантійних розплавів. Зразки, які подібного впливу не відчували, демонструють відносно низькі температури перетворень при високому тиску.

Існують петрологічні моделі, які пояснюють утворення тоналіт-трондьємітових асоціацій внаслідок плавлення за рахунок високого палеогеотермічного градієнта в археї [2]. Для утворення розплаву, що за складом відповідає тоналіту, необхідні температури близько 1100–1200 °С при тиску 0,6–0,8 ГПа. Реалізація подібного розподілу температур призвела б до перевищення температури солідусу аж до поверхні, тобто тотального плавлення кори. Більш вірогідним є припущення, що розігріта речовина надходить під кору та в кору, де охолоджується. Ця гіпотеза пояснює як високі температури архейських магм, так і існування “твердої” кори вище 20 км.

Розподіл температур з глибиною демонструє, що метаморфічні перетворення відбуваються в періоди існування корової астеносфери. Тоді регіональний метаморфізм для порід, розташованих на глибині, що перевищує 15 км, скоріше відповідає плутонометаморфізму. Різницею є розміри плутону, за який виступає корова астеносфера, а також посилення впливу речовини, що від неї відокремлюється, на мінерали літосфери за рахунок високої температури та тиску. Наявність близько розташованої корової астеносфери призводить до того, що у міру занурення до метаморфічної додається метасоматична складова — зміна складу мінералів та порід, що супроводжується привнесенням речовини. За *PT*-умов високої амфіболітової фації та участі флюїду породи можуть бути частково розплавлені та замінені — формуються мігматити, а при підвищенні до притаманних гранулітової фації — розплавлені з утворенням гранітоїдів. Інтенсивність перетворень залежить від основності порід — вмісту кремнезему та глинозему.

Для багатьох геоблоків щита породи були перетворені кілька разів. Між перетвореннями відбувалися вертикальні рухи. Якщо після впливу метасоматизуючого флюїду за високих *PT*-умов порода була виведена на поверхню внаслідок висхідних рухів та більше не підлягала впливу розігрітої речовини, вона зберегла наслідки впливу *PT*-умов одного етапу, наприклад, на Середньопридніпровському мегаблоці Українського щита. Якщо після подальшого відбулися зміни за менших *PT*-умов, вона може зберігати інформацію про кілька моментів їхнього впливу. В цьому разі проявлений також регресивний етап метаморфізму. Якщо відбувалося кількаразове занурення, породи раз за разом підлягали впливу більших температури та тиску, вони представлені мігматитами, що утворилися поблизу астеносфери, або палінгенними гранітами, що сформувалися безпосередньо в шарі плавлення. Серед палінгенних гранітів зберігаються різного розміру ксеноліти ультраосновних порід, що мають старший вік (наприклад, ультрабазити капітанівського комплексу в Голованівській шовній зоні). Доказом наявності кількох етапів перетворень може слугувати різний абсолютний вік утворення ядра циркону та його краю. Подібні циркони розповсюджені на Побужжі.

Таким чином, вік породи та ступінь її перетворення — характеристики, що не мають між собою причинного зв'язку. Відмінність будови докембрійських щитів від фанерозойських активних регіонів обумовлена високим ступенем метаморфізму порід, що виходять на денну поверхню внаслідок значного рівня ерозійного зрізу. Масштаби гранітизації спричи-

нено значно більшою тривалістю існування корої астеносфери, кількістю та агресивністю мантіїного флюїду.

Під час архейської гранітизації астеносфера в мантії та корі існує перманентно до 2,8 млрд років. Це викликано істотно іншим складом речовини, що складає мантіїні глибини. В архей та протерозої глибинам, на яких розташована сучасна мантія, притаманне збагачення базальтоїдною складовою: кремнеземом, глиноземом, залізом, кальцієм, лугами та галогенами. Розплави містять воду та вуглекислоту, сполуки азоту, мають високий окисний потенціал. Речовина подібного складу не може кристалізуватися за існуючих *PT*-умов. По-перше, температури в мантії перевищують температури солідусу водного та карбонатованого лерцоліту, які дорівнюють ~ 1300 °C при тиску 3–7 ГПа [3]. Мантіїні розплави, що в архей утворюють коматіїти, мають температури до 1700 °C, базальтові магми в протерозої — не менше 1300 °C [2]. Тому потрібно виконання двох умов: позбавлення легкоплавкої базальтоїдної складової, води, вуглекислоти, вуглеводнів та інших компонентів, які для лерцоліту є надлишковими, та падіння температур. Найкращим способом виконання цих умов є конвективне винесення речовини до поверхні магматичними розплавами, збагаченими флюїдом. Розтрата теплової енергії у цьому процесі максимальна. Додатний внесок відбувається за рахунок хімічних реакцій та фазових переходів, а також утворення газової атмосфери та гідросфери.

Постійне винесення розігрітої речовини зумовлює існування шару розплаву безпосередньо в корі. Однак, за виключенням розломних зон, по яких відбувається переміщення розплавів та флюїдів, верхні надастеносферні шари кори мають температури, що близькі до температур у сучасних активних регіонах. Глибинне тепло швидко витрачається на роботу по перенесенню розігрітих розплавів та флюїдів до поверхні. Відзначимо, що регіональний палеогеотермічний градієнт протерозою близький для фанерозою та докембрію. За розрахунками В. В. Гордієнко [4], в середньому дорівнює 35 °C/км (див. рис. 1).

Загалом після першого етапу гранітизації (3,0–2,8 млрд років тому), що супроводжувала формування зеленокам'яних структур, у верхніх шарах кори (~ 15 –30 км, вище — вулканогенно-осадова товща, нижче — плагіоклазові грануліти) переважають плагіоклазові породи, які мають значний вміст кальцію. За складом можуть відповідати габро-тоналіту. Головною флюїдною складовою, що супроводжувала весь архейський етап розвитку, є водний флюїд. Він містить натрій і хлор. Карбонатний флюїд в умовах високого окисного потенціалу на диференціацію силікатних розплавів не впливає. Магматичні породи, що збагачені магнієм, кальцій концентрується в силікатах. Для архейських розплавів притаманна майже повна відсутність калію і титану, які з'являються у міру зниження окисного потенціалу (води в мантіїних осередках) та підвищення лужності в протерозої [4]. Істотно мікроклінові граніти з'являються $\sim 2,8$ –2,6 млрд років тому (наприклад, інтрузивні мокромосковський та токовський комплекси). Серед метасоматичних перетворень найбільш поширена мікроклінізація. Гранітизація, яка відбувається 2,0 млрд років тому, призводить до поширення порід з високим вмістом калію — біотитових та мікроклінових гранітів. У багатьох випадках мікроклін є метасоматично накладеним на ранішні плагіоклазові породи, як у випадку з саксаганськими та інгулецькими різновидами, що присутні в обрамленні Криворізько-Кременчуцької зони. Подібні метасоматичні перетворення можуть відбутися при істотному збільшенні відношення $КСі/НСі$ у глибинному водно-силікатному флюїді [4].

1. *Метаморфизм* Украинского щита / Отв. ред. И. С. Усенко. – Киев: Наук. думка, 1982. – 307 с.
2. *Шинкарев И. Ф., Иванников В. В.* Физико-химическая петрология изверженных пород. – Ленинград: Недра, 1983. – 271 с.

3. *Walter M. J. Melt Extraction and Compositionel Variability in Mantle Lithospere.* – The Mantle and Core / Ed. by R. W. Carlson. – Oxford: Elsevier, 2005. – P. 363–394.
4. *Украинский щит (геофизика, глубинные процессы)* / Под ред. В. В. Гордиенко. – Киев: Корвін пресс, 2005. – 210 с.

*Институт геофізики ім. С. І. Субботіна
НАН України, Київ*

Надійшло до редакції 21.11.2011

О. В. Усенко

Условия метаморфизма и гранитизации пород Украинского щита

Рассмотрены условия метаморфизма докембрийских пород Украинского щита. Показано, что интенсивность преобразований зависит от давления, температуры, количества и состава принесенного вещества. Все эти параметры непосредственно связаны с расстоянием от астеносферы, кровля которой размещается на глубине 20 км. Слой плавления в коре может возникнуть исключительно за счет поступления вещества из мантии.

O. V. Usenko

The conditions of metamorphism and granitization of rocks of the Ukrainian shield

The paper deals with the conditions of metamorphism of the Precambrian rocks of the Ukrainian shield. It is shown that the intensity of a metasomatic transformation depends on the pressure, temperature, amount, and composition of an introduced matter. All these options are directly related to the distance from the asthenosphere, the roof of which is located at a depth of 20 km. A layer of melting in the crust can occur solely by revenue agents from the mantle.