

Đá biến chất

Phan Trường Thị. Khoa Địa chất,
 Trường Đại học Khoa học Tự nhiên (ĐHQGHN).

Giới thiệu

Đá biến chất được phân loại theo nguồn trước khi bị biến chất bởi vì chủ yếu chúng là hoạt động biến chất đẳng hóa. Trong trường hợp biến chất trao đổi, có sự thay đổi thành phần hóa học được xếp riêng.

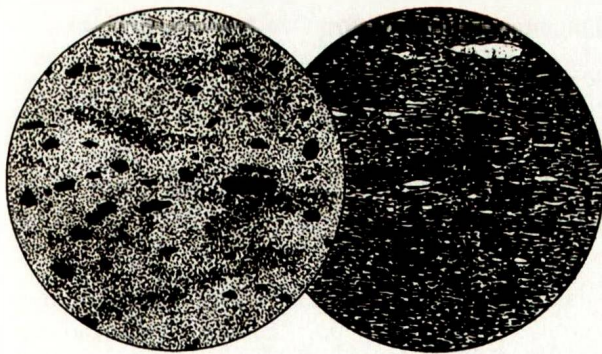
Đá sét biến chất

Đá sét biến chất áp suất thấp (biến chất nhiệt)

Đá phiến đốm vết, đá phiến đốm sần

Trong đá phiến đốm vết, nổi trên nền các khoáng vật sét li ti là các khoáng vật biến chất sẫm màu hơn như mica, chlorit, albit, v.v... với kích thước hiển vi khó nhận biết [H.1].

Trong đá phiến đốm sần, trên nền khoáng vật sét li ti xuất hiện các vết sần kích thước 1 - 2 mm, thành phần là các khoáng vật biến chất như cordierit, andalusit, chloritoid. Trong nền vi tinh, khoáng vật sét biến đổi thành sericit, chlorit, albit, thạch anh. Ngoài andalusit điển hình cho biến chất áp suất thấp, các khoáng vật cordierit, chloritoid, v.v... có hàm lượng FeO rất cao.



Hình 1. Đá phiến đốm vết - đốm sần.

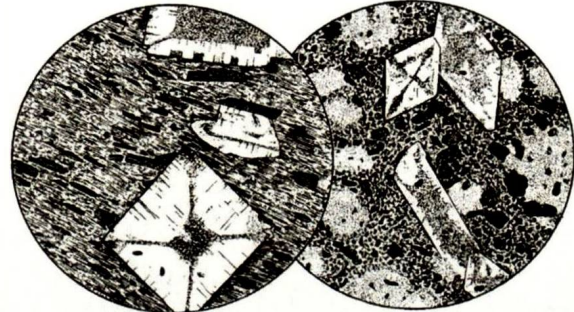
Đá sừng

Đá sừng là loại đá nếu nhìn bằng mắt thường có màu đen sẫm, đen xám, hạt mịn, rắn chắc, dạng khối không rõ tính phân lớp [H.2].

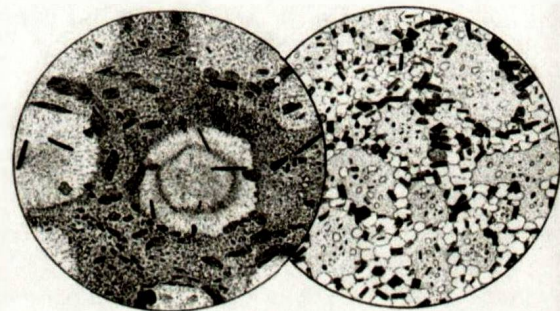
Thành phần khoáng vật gồm andalusit, cordierit, almandin (một loại granat giàu sắt). Những khoáng vật này tạo nên những ban biến tinh kích thước từ 1 - 3mm trên nền vi tinh gồm có mica (biotit, muscovit), albit, chlorit, thạch anh [H.3].

Đá sét biến chất áp suất trung bình

Đây là loại đá sét biến chất ở nhiệt độ trong khoảng từ 300°C đến 900°C.



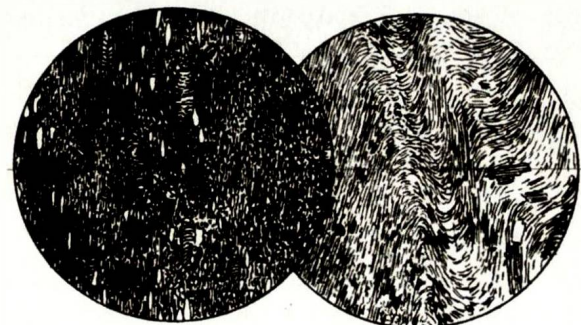
Hình 2. Đá sừng: a. Biotit - andalusit, b. đá sừng biotit - cordierit - andalusit.x25. (theo Harker, 1932).



Hình 3. Đá sừng biotit - cordierit. x 25. Kiến trúc ban biến tinh (theo Harker, 1932).

Phylit

Đá phylit có cấu tạo phân phiến, vi uốn nếp, màu đen (khi có graphit) hoặc màu vàng sáng, mặt phân phiến bóng loáng (do các vảy sericit). Dưới kính hiển vi thấy rõ các vảy mica hay chlorit xếp song song trên nền các hạt thạch anh rất nhỏ (0,2 - 0,5mm) tha hình. Nền kiểu này được gọi là có kiến trúc vảy hạt biến tinh. Trên nền, phát triển các tinh thể granat hoặc chloritoid với kích thước có thể trên 2 - 3mm. Do đó, nhìn cả phiến đá, phylit có kiến trúc ban biến tinh [H.4].



Hình 4. Phylit cấu tạo song song và vi uốn nếp. x 25. (theo Harker, 1932).

Đá phiến thạch anh hai mica có granat, staurolit, kyanit

Đá có cấu tạo phân phiến song song do sự sắp xếp các tấm mica theo những mặt phẳng song song. Dưới kính hiển vi có thể phân biệt thạch anh thành hình bện chặt với các tấm mica tạo nên nền với kiến trúc vảy hạt biến tinh [H.5]. Nếu chỉ có các khoáng vật như trên thì gọi là đá phiến hai mica.



Hình 5. Đá phiến mica chlorit có granat phát triển giả hình theo chlorit. d = 2,7mm. Theo Harker (1933).

Trong trường hợp đá sét nguyên thủy giàu Al, thành phần đá có thêm các khoáng vật như granat, kyanit, storolit xuất hiện dưới dạng ban biến tinh kích thước từ hiển vi đến nhiều cm.

Đá phiến thạch anh biotit silimanit

Đá phiến không chứa lượng lớn feldpat, chủ yếu gồm thạch anh, biotit tạo nên nền vảy hạt biến tinh. Silimanit là khoáng vật tiêu biểu có mặt không theo tỷ lệ nhất định tùy thuộc lượng Al trong đá sét nguyên thủy, cùng với biotit tạo nên cặp khoáng vật đặc trưng cho đới biến chất silimanit. Ngoài ra, có thể gặp kyanit, granat dưới dạng biến tinh.

Gneis biotit - silimanit

Tên gọi đá gneis dùng để chỉ loại đá có thành phần gần giống granit (thạch anh 25 - 30%; feldpat 50 - 60%; biotit 5 - 8%), nhưng có kiến trúc hạt biến tinh và chứa những khoáng vật biến chất như granat, silimanit. Biotit - silimanit là cặp khoáng vật đặc trưng cho tương biến chất này. Khi plagioclas chiếm ưu thế trong thành phần thì gọi là đá plagiogneis. Nếu thành phần feldpat kali chiếm ưu thế thì gọi là gneis. Khoáng vật tiêu biểu của đá này là sự ổn định của tổ hợp thạch anh - feldpat - biotit - silimanit với sự có mặt không thường xuyên của granat (không có cordierit), hoặc của cordierit (không có granat), kyanit khi áp suất cao.

Tương gneis granat - cordierit (phân áp suất trung bình của tương granulit theo đá mafic biến chất)

Các đá biến chất trong tương này rất phổ biến tổ hợp khoáng vật cộng sinh biotit, silimanit, granat, cordierit.

Về phương diện hóa học, loại đá này có thành phần hoàn toàn tương tự các đá sét. Nhưng về khoáng vật học, sự xuất hiện cordierit - Mg cùng với granat giàu Mg là biểu tượng cho tương biến chất này.

Dưới kính hiển vi, thấy rõ thạch anh + plagioclas tạo thành nền hạt biến tinh. Trên nền đó, những tinh thể granat bị ôm quanh bởi cordierit, về phần mình cordierit bị thay thế bởi talc, serpentin. Biotit vẫn tồn tại như một khoáng vật cộng sinh.

Cần lưu ý, trong gneis granat cordierit thường quan sát thấy hiện tượng ghép đôi của thạch anh - spinel, đặc trưng cho điều kiện nhiệt độ cao (trên 800°C).

Gneis hypersthen - silimanit

Gneis hypersthen - silimanit là đá tiêu biểu cho tương biến chất có độ sâu thành tạo và nhiệt độ cao nhất trong loạt tương áp suất trung bình. Thành phần khoáng vật có thạch anh, feldpat kali và plagioclas, giàu silimanit và granat, hypersthen cặp đôi với silimanit. Ngoài ra rất phổ biến cordierit giàu Mg. Hầu như không gặp biotit, nếu có mica thì chúng là sản phẩm biến chất công muộn hơn.

Kiến trúc hạt biến tinh hay que biến tinh với sự định hướng song song của silimanit và những tinh thể hình trụ hypersthen, cấu tạo song song.

Đá gneis saphirin - cordierit

Rất hiếm khi gặp loại đá saphirin - cordierit. Ở khối nhô Kon Tum, vùng Kan Nak, trong diện phân bố đá biến chất tương granulit, gặp loại đá này dưới dạng những thể màu sẫm, chủ yếu gồm có những khoáng vật như saphirin, saphir, cordierit spinel, biotit, phlogopit, v.v...

Đá biến chất áp suất cao

Đá phiến trắng

Đá có màu trắng, phiến hóa mạnh, cấu tạo song song, hạt rất mịn. Thành phần khoáng vật gồm thạch anh, talc, phengit, kyanit. Kiến trúc vảy hạt biến tinh.

Đá sét nóng chảy từng phần - migmatit (siêu biến chất của đá metapelit)

Trong thiên nhiên, các đá sét biến chất ở tương amphibolit thường bị nóng chảy từng phần tạo nên những thể magma thành phần granit sáng màu, hạt trung bình đến thô được gọi là pegmatoid. Kết quả là tạo nên một loại đá gồm hai phần - phần cũ là đá sét biến chất chưa bị nóng chảy như gneis, đá phiến mica màu tương đối sẫm hơn; phần mới là các thể pegmatoid màu trắng, hạt thô có bề dày từ vài mm đến hàng dm hoặc lớn hơn. Chúng phân bố dọc theo mặt phân phiến hoặc xuyên cắt ngang nhứt đá biến chất. Đá đan xen như vậy được gọi là migmatit.

Các kiểu migmatit

Migmatit theo lớp: cấu tạo dạng dài song song, phần mới sáng màu xếp thành từng dải xen theo thớ phiến của phần cũ. Ranh giới giữa phần cũ và phần mới rõ ràng. Chiều dày của các lớp thay đổi từ một vài mm đến dm. Migmatit theo lớp bị biến dạng tạo thành migmatit uốn nếp, migmatit thấu kính.

Migmatit ruột (ptigmatit) gồm có phần mới dạng ruột gà uốn khúc, ngoằn ngoèo cắt qua thớ phiến của phần cũ. Phần mới có dạng phân nhánh, phân mạng.

Agmatit đặc trưng ở chỗ là lượng phần mới tương đối ưu thế gắn kết phần cũ nằm dưới dạng những mảnh rậm.

Nebulit là một dạng migmatit đặc biệt, phần cũ bị granit hóa mạnh mẽ làm cho thành phần gần giống phần mới. Ranh giới giữa phần cũ và phần mới không rõ ràng, phần cũ còn lại trong phần mới dưới dạng những vết loang lỗ rời rạc. Nebulit đặc trưng cho cường độ mạnh nhất của quá trình migmatit hóa.

Các kiểu migmatit mô tả trên rất phổ biến trong các trường đá biến chất tương amphibolit và granulit.

Đá mafic biến chất (metamafic)

Đá magma thành phần mafic (gabro – xâm nhập; basalt – phun trào), về phương diện hóa học – thuộc hệ hóa học SiO₂ - Al₂O₃ - MgO - FeO - CaO - Na₂O, khi bị biến chất thành các đá tiêu biểu cho các tương biến chất.

Đá metamafic – tương zeolit

Trong tương này thể hiện sự cộng sinh của các cặp khoáng vật lomontit + thạch anh; losonit + thạch anh; wairakit + thạch anh. Trong đó, lomomtit có nhiệt độ thấp hơn wairakit, còn losonit có áp suất cao hơn, nó còn có thể tồn tại đến tương đá phiến glaucophan. Trong tương biến chất này các đá mafic chưa hoàn toàn biến đổi, các khoáng vật nguyên sinh hầu như nguyên vẹn. Các khoáng vật nêu trên chỉ gặp trong các khe nứt, các lỗ rỗng của đá basalt.

Metamafic tương prenit - pumpelyit

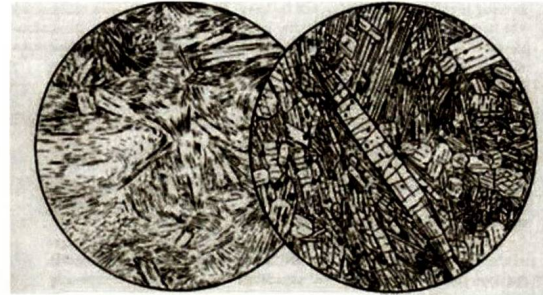
Đá lục (đá phiến albit prenit pumpelyit chlorit). Thành phần khoáng vật chủ yếu gồm albit, chlorit, prenit và pumpelyit. Chúng thay thế chưa trọn vẹn các khoáng vật nguyên sinh nên vẫn có thể phát hiện tàn dư của pyroxen, olivin, plagioclas. Kiến trúc nguyên sinh tàn dư nguyên vẹn. Tính phân phiến chưa rõ ràng. Đá màu lục.

Đá phiến lục

Trong thiên nhiên các đá magma thành phần basalt phổ biến rộng rãi chừng nào thì đá phiến lục do basalt biến chất trong điều kiện nhiệt độ thấp và áp suất trung bình cũng phổ biến chừng ấy. Các thể đá xâm nhập thành phần gabro cũng biến chất thành đá phiến lục trong điều kiện tương tự.

Bằng mắt thường, đá có màu lục, cấu tạo phân phiến song song. Thành phần khoáng vật chủ yếu

gồm thạch anh, albit, zoisit, epidot, chlorit, actinolit. Dưới kính hiển vi đá có kiến trúc que hạt biến tinh, hạt biến tinh [H.6]. Thành phần hóa học hoàn toàn tương tự basalt.



Hình 6. Đá phiến a) tremolit; b) antophylit. d = 2,7mm (theo Harker, 1930).

Amphibolit

Bằng mắt thường, amphibolit màu xám đen, hạt trung đến thô tính phân phiến không rõ, dạng khối, tạo nên những thấu kính kẹp giữa các đá biến chất khác chiều dày từ vài dm đến hàng chục mét.

Thành phần khoáng vật chủ yếu gồm plagioclas, hornblend, đôi khi có granat và tất nhiên là có epidot.

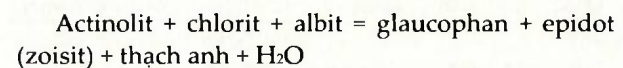
Kiến trúc que hạt biến tinh hay hạt biến tinh [H.7]. Thành phần hóa học tương tự như đá basalt hay gabro.



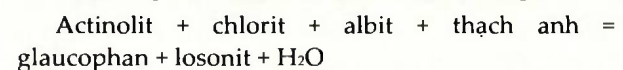
Hình 7. Amphibolit. Que hạt biến tinh, x 23 (theo Harker, 1932).

Đá phiến glaucophan (đá phiến xanh)

Trong điều kiện áp suất cao từ tương đá phiến lục chuyển sang đá phiến xanh theo phản ứng biến chất sau:



Hay với phản ứng nhiệt độ tương đối thấp hơn:



Bằng mắt thường đá phiến có màu xanh lơ, phiến hóa mạnh. Thành phần khoáng vật gồm albit, thạch anh, glaucophan, granat, losonit. Kiến trúc que, sợi biến tinh. Thành phần hóa học không khác basalt. Đá rất hiếm gặp trong thiên nhiên.

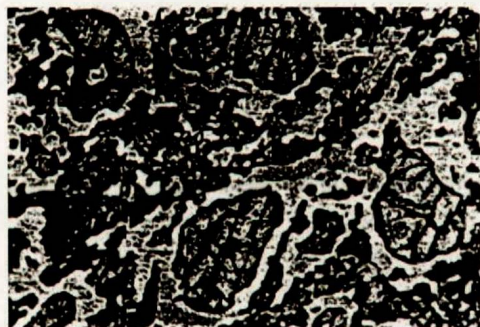
Đá jadeitit

Trong tương đá phiến xanh rất hiếm gặp đá jadeitit, chủ yếu là đá đơn khoáng, chỉ gồm jadeit, khoáng vật thuộc nhóm pyroxen, là sản phẩm của phản ứng: albit = jadeit + thạch anh

Jadeit nằm dưới dạng ô, mạch, màu xanh hoa lý, xanh lơ rất đẹp, ghi nhận điều kiện biến chất độc đáo với chế độ áp suất trên 30 kbar, đôi khi trong granat của đá có chứa bao thể coesit (SiO_2 – là một biến thể của thạch anh trong điều kiện áp suất trên 30 kbar). Jadeit hiện chưa tìm thấy ở Việt Nam.

Granulit

Metamafit nằm trong tương granulit đặc trưng ở sự xuất hiện orthopyroxen (pyroxen thoi: hypersthen) để tạo nên tập hợp khoáng vật cộng sinh tiêu biểu – pyroxen thoi, pyroxen xiên – plagioclas, granat, hornblend, biotit, thạch anh. Trong trường hợp này, đá có tên gọi granulit hay đá phiến hai pyroxen. Bằng mắt thường, đá tương tự như amphibolit – màu đen sẫm phớt lục, kiến trúc hạt kết tinh trung bình đến thô, đôi khi có cấu tạo song song. Granulit có kiến trúc ban biến tinh, nền hạt biến tinh [H.8].



Hình 8. Granulit plagioclas - granat - pyroxen. d=3mm.

Eclogit

Eclogit là đá biến chất thành phần tương tự đá mafic và chủ yếu gồm hai khoáng vật – omphacit – pyroxen xiên màu xanh lục và granat màu đỏ hoặc đỏ nâu. Trong khi đó, hầu như không gặp plagioclas. Thoạt đầu, Eskola xếp đá này thành một tương biến chất độc lập có áp suất cao – tương eclogit. Tuy nhiên, eclogit xuất hiện trong nhiều tương biến chất khác nhau dưới dạng những thấu kính hay những dải song song với đá vây quanh. Đôi khi eclogit còn được gặp trong các ống nổ kimberlit.

Omphacit là khoáng vật có thành phần phức tạp gồm các hợp phần jadeit ($\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$), diopsid ($\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$), hedenbergit ($\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$), tschermakit và acmit.

Granat của eclogit là dung dịch cứng của pyrop, almandin và grosula.

Như vậy, eclogit là sản phẩm biến chất áp suất cao với tỷ trọng $3,5 \text{ g/cm}^3$ so với $3,0 \text{ g/cm}^3$ của gabro.

Ngoài ra, trong eclogit còn gặp kim cương cộng sinh cùng với peridotit trong các ống nổ kimberlit.

Đá siêu mafic biến chất và đá cordierit-anthophyllit**Đá phiến serpentinit**

Đá phiến serpentinit có cấu tạo phân phiến rất mạnh, nhiều trường hợp vỏ nhàu uốn nếp, màu xám xanh. Thành phần gồm những sợi, que serpentinit, những vảy talc và những hạt magnetit, chromit (tàn dư), spinel. Biến thể của serpentinit trong đá phiến là antigorit – đá phiến antigorit, đá phiến antigorit - talc - magnetit. Đá có cấu trúc sợi biến tinh và que biến tinh.

Đá phiến talc

Đá phiến talc màu trắng, mềm, sờ tay có độ nhòn do các vảy talc rất nhỏ. Đá có cấu tạo phân phiến rất mỏng. Thành phần chủ yếu là talc, antigorit, brucit, periclas, magnesit. Khoáng vật phụ là magnetit, chromit (tàn dư), spinel (picotit). Kiến trúc vảy biến tinh, vảy - sợi biến tinh.

Các đá carbonat biến chất**Các đá carbonat biến chất thấp - tương đá phiến lục**

Nếu carbonat thuần vôi thì hầu như không thể phân biệt trình độ biến chất dựa vào tổ hợp cộng sinh khoáng vật. Lúc đó phải gián tiếp dựa vào các metapelit hay metamafit xen kẽ với đá carbonat biến chất để xác định trình độ biến chất của chúng. Thường thì những đá trầm tích vôi – dolomit có thạch anh hay silic rất nhạy cảm với sự biến thiên điều kiện vật lý của hoạt động biến chất.

Trong tương đá phiến lục, sự tồn tại của tổ hợp khoáng vật tremolit, dolomit, thạch anh, calcit, talc là ranh giới trên cùng về nhiệt độ (khoảng 550°C). Dưới ranh giới đó có thể gặp các tổ hợp khoáng vật khác nhau. Trong tương biến chất này thường gặp đá hoa có tremolit – đá có màu trắng tuyền, hạt kết tinh rõ. Thành phần khoáng vật gồm chủ yếu calcit, dolomit, tremolit, trong đó đáng lưu ý là cộng sinh dolomit + thạch anh đặc trưng cho tương biến chất này. Khi nhiệt độ cao hơn 500°C , dolomit phản ứng với thạch anh tạo nên tremolit, calcit, diopsid. Nhưng nếu trong chất lưu giàu XCO_2 thì dolomit + thạch anh có thể bền vững cho đến trên 550°C .

Khi chuyển từ tương đá phiến lục sang tương amphibolit vẫn còn gặp tổ hợp cộng sinh khoáng vật diopsid + tremolit + calcit + thạch anh.

Các đá carbonat biến chất cao – tương amphibolit, granulit

Trong tương biến chất thuộc các tương này, nhờ các phản ứng biến chất nên xuất hiện enstatit,

diopsid, forsterit, wollastonit, v.v... là các khoáng vật nhiệt độ cao. Tuy vậy, ranh giới nhiệt độ không thể xác định chính xác do vai trò của chất lưu (XCO₂).

Nếu đá carbonat trầm tích không thuần vôi và dolomit mà còn có một lượng FeO, Al₂O₃ thì có thể gặp những cộng sinh khoáng vật như forsterit + calcit + dolomit + clinochlor, ngoài ra còn có thể xuất hiện spinel cùng với brucit, humit, v.v...

Biến chất trao đổi

Biến chất trao đổi (metasomatism) là hoạt động biến chất dưới tác dụng của nhiệt và các chất bốc (thành phần chủ yếu là các chất khí như H₂O, CO₂, SO₂, v.v... các chất lỏng bão hòa muối Na, K và những kim loại như Cu, Au, Ag, v.v...) thoát ra từ các lò magma gây nên sự biến đổi thành phần hóa học của các đá bị biến chất. Chất bốc không tham gia trực tiếp vào sự biến đổi thành phần hóa học của đá biến chất trao đổi mà chúng chỉ có vai trò như phương tiện vận tải mang đến và mang đi các nguyên tố hóa học. Phân loại theo bản chất hóa học của các nguyên tố được trao đổi, đá biến chất trao đổi được phân loại như sau.

Trao đổi biến chất Ca - Fe - Mg – Đá skarn

Đá skarn được hình thành trong đới tiếp xúc của các đá vôi và dolomit với các thể magma xâm nhập thành phần acid - trung tính, kiềm hoặc á kiềm. Khoáng vật chủ yếu là silicat Fe - Ca - Mg và các alumosilicat. Theo vai trò khoáng vật biểu thị bản chất trao đổi thì đá này được chia thành hai loại:

- *Skarn magie*. Không nhất thiết phải nằm tại đới tiếp xúc với dolomit. Thành phần khoáng vật chính – forsterit, spinel, pyroxen, phlogopit, v.v... Thông thường đá này được thành tạo ở nhiệt độ cao trong giai đoạn magma ở độ sâu không lớn (xâm nhập nông, tối đa sâu 5km).

- *Skarn vôi*. Tổ hợp khoáng vật tiêu biểu là granat (andradit - grosula) + pyroxen xiên (diopsid - hedenbergit). Khoáng vật phụ thường gặp – wollastonit, tremolit, chondroit, v.v... Khoáng vật quặng rất phong phú – Au, Fe, Cu, Zn, W, Mo, Sn – là cơ sở tìm ra các mỏ quặng.

Đá greisen

Greisen là đá trao đổi biến chất, thành phần gồm thạch anh, muscovit, lepidolit, tourmalin, topaz, fluorit, apatit, v.v... Đá có màu sáng, kích thước hạt mịn đến thô, cấu tạo dạng khối đặc sít. Quá trình greisen hóa và sự thành tạo đá greisen từ đá vây quanh khối magma granit có thành phần thạch anh, felspat như đá granit, phun trào trung tính và acid, cát kết arkos. Cơ chế hình thành như sau – felspat (KAlSi₃O₈) bị phân hủy thành muscovit (KAl₃Si₃O₁₀[OH]₂) và thạch anh. Trong thành phần nhiệt dịch nếu có thêm B, thì thành tạo tourmalin,

nếu có F thành tạo apatit, fluorit... Theo các tài liệu địa chất quan sát được thì đá greisen được hình thành ở độ sâu 1 - 3km, nhiệt độ biến thiên từ 400 - 350°C, đặc trưng cho giai đoạn khí thành của quá trình nhiệt dịch.

Beresit, quartzit thứ sinh

Trong điều kiện quá trình trao đổi biến chất do nhiệt dịch thoát ra granit đạt đến bề mặt Trái Đất hay độ sâu khoảng 1km, thì bản chất không thay đổi nhưng tạo nên các tập hợp khoáng vật khác với greisen. Phân biệt hai dạng đá trao đổi biến chất giai đoạn nhiệt dịch (35 - 50°C):

- *Beresit* – thành phần gồm có thạch anh, sericit, chlorit, carbonat (chủ yếu là siderit và ankerit).

- *Quartzit thứ sinh* – thành phần khoáng vật gần giống với beresit nhưng có thêm những khoáng vật đặc thù của chế độ nhiệt dịch giàu khí SO₄, SO₂ gồm thạch anh, sericit, alunit, anhydrit, dickit, pyrophyllit, kaolinit, diaspor, v.v...

Đá prophyllit, listovenit, jade

Các đá magma thành phần trung tính, mafic và siêu mafic dưới tác dụng của nhiệt dịch phát sinh từ khối xâm nhập thành phần granitoid, trong điều kiện nhiệt độ thấp hơn 350°C và ở những độ sâu rất nhỏ ngay trên bề mặt Trái Đất, bị trao đổi biến chất phức tạp tạo nên một loạt các đá rất khác nhau.

Prophyllit – còn gọi là đá phiến lục do tính phân bố quy mô hẹp, cấu tạo dạng khối. Thành phần khoáng vật – chlorit, epidot, actinolit, albit; chúng phát triển theo hình thức thay thế các khoáng vật nguyên sinh của các đá phun trào thành phần trung tính (andesit) và basalt.

Listovenit – phát triển trên đá xâm nhập thành phần siêu mafic đã bị serpentin hóa từ trước. Với sự mang đến khí CO₂ trong nhiệt dịch, serpentin bị biến đổi thành tập hợp talc + magnesit, thạch anh, dolomit, ankerit, v.v...

Jadedit – là những thể đá gần như đơn khoáng pyroxen (jadeit hoặc diopsid) có màu xanh thiên lý rất đẹp. Chúng là những thể biến chất trao đổi mang tính khu vực với điều kiện nhiệt độ thấp, áp suất cao và trung bình.

Tài liệu tham khảo

- Miyashiro A., 1973. Metamorphism and Metamorphic Belts. *Ruskin House, Museum Street.* 472 pgs.
- Bruce W.D. Yardley, 1995. An Introduction to Metamorphic Petrology. *Longman Singapore Publishers.* 264 pgs.
- Frank S. Spear, 1993. Metamorphic Phase Equilibria and Pressure - Temperature - Time Paths, *Book Cratter, Inc. Chelsea, Michigan, USA.* 799 pgs.
- Phan Trường Thi, 2005. Thạch học các đá biến chất. *NXB Đại học Quốc gia Hà Nội.* 97 tr.