

Khoáng vật biến chất

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

Giới thiệu

Một số khoáng vật biến chất cũng gặp trong các đá magma và đã được mô tả trong các đá magma. Ngoài ra các đá biến chất chứa một số khoáng vật chỉ đặc trưng cho sản phẩm của hoạt động biến chất, thành phần hóa học của chúng thay đổi theo điều kiện P - T và thành phần nguyên thủy của đá bị biến chất. Nghiên cứu khoáng vật biến chất không những dưới dạng các tổ hợp cộng sinh mà còn phân tích thành phần hóa học của chúng, quan trọng nhất là các khoáng vật thuộc những dung dịch cứng có đặc tính thay thế đồng hình giữa các nguyên tố hóa học tạo khoáng. Định lượng các tỷ số nguyên tố thay thế đồng hình trong từng khoáng vật và đối sánh trong từng cặp khoáng vật cộng sinh sẽ thu được những thông tin chính xác về các điều kiện biến chất trong vỏ Trái Đất.

Bảng số 1 trình bày những khoáng vật biến chất so sánh với độ phổ biến trong đá magma.

Các khoáng vật biến chất đặc trưng không tạo dung dịch cứng

Nhóm Al_2SiO_5

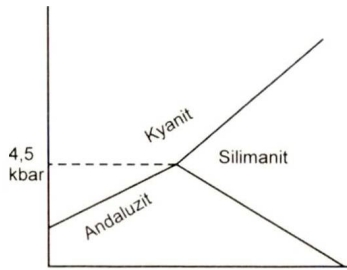
Ba biến thể của Al_2SiO_5 là silimanit, kyanit và andalusit rất đặc trưng cho các đá biến chất. Trên biểu đồ kết tinh mỗi một biến thể nằm trong một trường P - T rất khác nhau [H.1]. Điểm vô biến của 3 biến thể đó được xác định bằng tính toán nhiệt động học và thực nghiệm ($T = 500 \pm 50^\circ C$ và $P = 4 \pm 0,5$ kbar). Cấu trúc tinh thể của chúng rất khác nhau – kyanit thuộc hệ tinh thể ba nghiêng, còn hai biến thể kia – hệ trục thoi; do đó đặc điểm quang học cũng khác nhau. Chúng là sản phẩm biến chất của các đá sét, giàu Al.

Các biến thể của thạch anh (SiO_2)

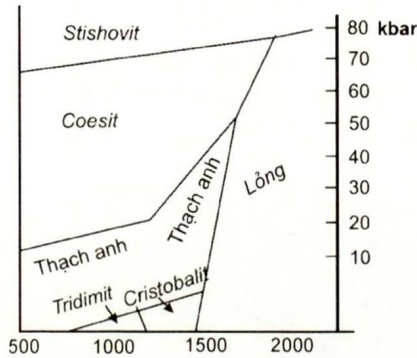
Stishovit, coesit, thạch anh α , thạch anh β , crystobalit, tridymit [H.2].

Bảng 1. Các khoáng vật đặc trưng cho đá biến chất.

Trong đá magma	Trong đá biến chất	Lưu ý
Olivin	(Olivin) - fosterit*, fayalit*, monticellit	* Trong đá biến chất thường gặp riêng ít khi tạo nên dung dịch cứng.
Pyroxen (augit, hedenbergit, hypersthen và các pyroxen kiềm)	Diopxit, hypersthen*, omphacit, Jadeit#, saphirin, wollastonit	* Gặp trong cả 2 # Rất đặc trưng cho đá biến chất.
Amphibol hornblend* và các amphibol kiềm	Tremolit, actinolit, gedrit, antophylit, cumingtonit, glaucophan	# Rất đặc trưng cho đá biến chất.
Mica	Mica và các dạng đặc biệt: sericit, felgit*	* Rất đặc trưng cho biến chất.
Felspat (plagioclas & felspat kali) felspatoid (leucit, nephelin..)	Albit*, nephelin đôi khi gặp trong đá trao đổi biến chất	* Albit thuần Na chỉ đặc trưng cho biến chất.
	Silimanit, kyanit, andalusit	
	Staurolit, chloritoid, cordierit	
	Nhóm granat	

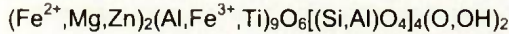


Hình 1. Biểu đồ P - T của Al₂SiO₅.

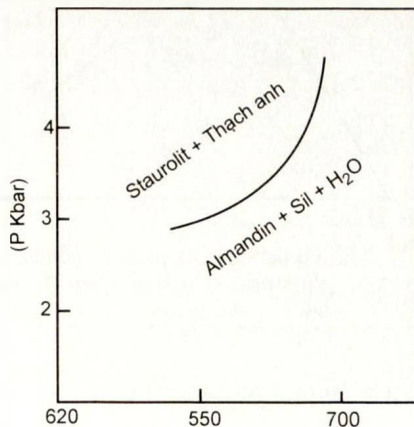


Hình 2. Biểu đồ P - T của SiO₂.

Staurolit



Staurolit thường gặp dưới dạng các tinh thể lăng trụ một nghiêng hoặc song tinh chữ thập, độ nổi cao (Ng = 1,748 - 1,761) và màu vàng trang kim rất đặc trưng dưới kính hiển vi. Về hóa học, staurolit là khoáng vật giàu Al (Al₂O₃ = 50 - 55%), biến chất từ đá sét trong điều kiện nhiệt độ trên 500°C và áp suất thay đổi trên 1,5 kbar. Trên hình 3 [H.3] thể hiện trường vững bền của tổ hợp thường gặp staurolit + thạch anh trong các đá phiến.

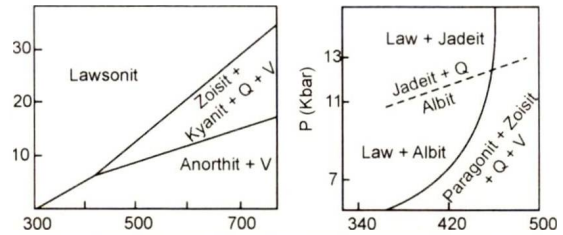


Hình 3. Trường vững bền của tổ hợp khoáng vật St + Q = Al + Sil + H₂O (Theo Dutrow B.L & Holdaway M.J., 1989).

Lawsonit CaAl₂[Si₂O₇](OH)₂.H₂O

Lawsonit là khoáng vật biến chất từ đá mafic trong những điều kiện địa chất giàu hơi nước, nhiệt độ thấp nhưng áp suất cao. Trên hình 4 [H.4] biểu

diễn những cân bằng hóa học của các tổ hợp khoáng vật chứa lawsonit.



Hình 4. Biểu đồ cân bằng của tổ hợp chứa lawsonit. (Theo Heinrich, W., & Althaus, E., 1988).

Dưới kính hiển vi lawsonit độ nổi khá giống zoisit (Ng = 1,682 - 1,686) nhưng lưỡng chiết suất cao hơn (0,019 - 0,021), tắt đứng (hệ trục thoi).

Pumpelyit Ca₂Al(Al, Fe³⁺, Fe²⁺, Mg)₁[Si₂(O, OH)₇][SiO₄](OH, O)₃

Pumpelyit là sản phẩm biến chất từ đá mafic trong điều kiện thành tạo ở nhiệt độ thấp, áp suất từ thấp đến cao. Tính chất quang học khá gần gũi với nhóm epidot - zoisit với độ nổi như prehnit (Ng = 1,683 - 1,726), nhưng lưỡng chiết suất cao hơn so với zoisit (0,010 - 0,020), có màu lục, nâu, vàng, v.v... giống như chlorit với tính đa sắc rõ.

Nhóm zeolit (Na₂K₂Ca, Ba) [(Al, Si)O₂]_n x H₂O

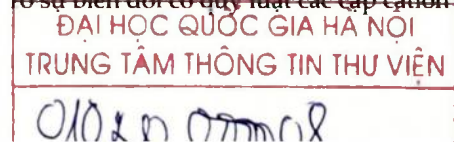
Nhóm zeolit gồm nhiều khoáng vật khác nhau về tỷ lệ số lượng của các cation tạo khoáng. Chúng là sản phẩm biến chất nhiệt độ rất thấp, thậm chí còn gặp trong vỏ phong hóa trên bề mặt Trái Đất. Đặc điểm chung về quang học là chiết suất rất thấp so với nhựa canada nên độ nổi âm (N = 1,460 - 1,510), lưỡng chiết suất rất thấp (0 - 0,015), phần lớn không màu. Các khoáng vật thường gặp được trình bày trên bảng 2 [Bảng 2].

Bảng 2. Khoáng vật thường gặp của nhóm zeolit.

Tên	Công thức	Hệ tinh thể	N _{min.}	N _{max.}
Natrolit	Na ₁₆ [Al ₁₆ Si ₂₄ O ₉₀]. 16H ₂ O	Trục thoi	1,479	1,491
Phillipsit	K ₂ (Ca _{0,5} , Na) ₄ [Al ₆ Si ₁₀ O ₃₂]. 12H ₂ O	Một nghiêng	1,476	1,503
Chabasit	Ca ₂ [Al ₄ Si ₆ O ₂₄]. 12H ₂ O	Ba phương	1,460	1,517
Laumontit	Ca ₄ [Al ₈ Si ₁₆ O ₄₈]. 16H ₂ O	Một nghiêng	1,510	1,524

Các khoáng vật biến chất đặc trưng tạo dung dịch cứng

Các dung dịch cứng là những hỗn hợp đồng hình của các cation K - Na, Ca - Mg - Fe tạo nên những khoáng vật biến chất được nghiên cứu chi tiết về phương diện nhiệt động học. Chúng được sử dụng như những áp kế, nhiệt kế địa chất tương đối chính xác, đặc biệt nhờ kỹ thuật phân tích microsond nhận



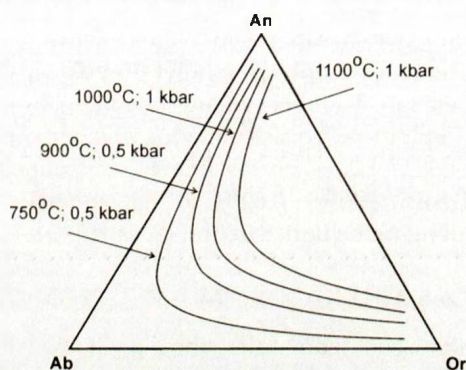
hình từ trung tâm một tinh thể đến phần rìa của chúng. Thường gặp các nhóm khoáng vật sau đây.

Nhóm felspat

Nhóm này rất phổ biến trong các đá biến chất dưới dạng dung dịch cứng của 3 hợp phần :

- Felspat kiềm (Or) (K,Na)[AlSi₃O₈]
- Plagioclas (Pl) Na[AlSi₃O₈] - Ca [Al₂Si₂O₈]
- Celsian Ba[Al₂Si₂O₈]

Plagioclas cũng là dung dịch cứng của albit (Ab) (Na[AlSi₃O₈]) và anorthit (An) (Ca[Al₂Si₂O₈]). Tỷ lệ số lượng giữa các hợp phần đó phụ thuộc rất chặt chẽ vào điều kiện áp suất và nhiệt độ, do đó có thể sử dụng tốt với mục đích nhiệt kế địa chất. Trong hình [H.5] biểu hiện mối quan hệ đó.



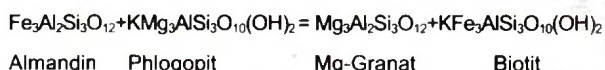
Hình 5. Các đường đẳng nhiệt của felspat gồm 3 hợp phần (Lindsley, 1988).

Nhóm granat

Nhóm Granat rất đặc trưng cho đá biến chất, là những dung dịch cứng với sự thay thế đồng hình của Ca - Mg - Fe - Mn tùy thuộc vào thành phần đá nguyên thủy và đặc biệt vào các điều kiện nhiệt độ và áp suất. Các khoáng vật thường gặp:

- Pyrop: Mg₃Al₂Si₃O₁₂
- Anmandin: Fe²⁺₃Al₂Si₃O₁₂
- Spesartin: Mn₃Al₂Si₃O₁₂
- Grosula: Ca₃Al₂Si₃O₁₂
- Andradit: Ca₃(Fe³⁺,Ti)₂Si₃O₁₂

Các khoáng vật thuộc nhóm andradit thường có trong các đá biến chất, các cộng sinh khoáng vật là những dung dịch cứng với sự thay thế đồng hình của các cation, sự phân bố đó trong từng cặp khoáng vật (cặp 2 hay 3) được khống chế bởi áp suất và nhiệt độ. Granat thường cặp đôi với biotit, cordierit, hypersthen, v.v... Tỷ lệ thay thế đồng hình của chúng là những nhiệt kế hay áp kế địa chất rất chính xác. Ví dụ, trong tổ hợp cộng sinh granat - phlogopit - biotit là sản phẩm cân bằng hóa học theo phản ứng sau:

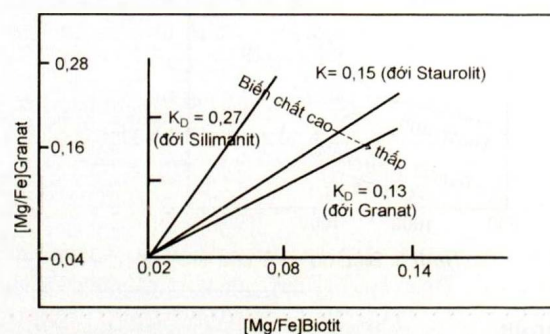


Trong phản ứng trên hằng số cân bằng K_D là tỷ số Fe hoặc Mg phân bố trong cặp khoáng vật đó:

$$K_D = [Mg: Fe]^{granat} / [Mg: Fe]^{biotit}$$

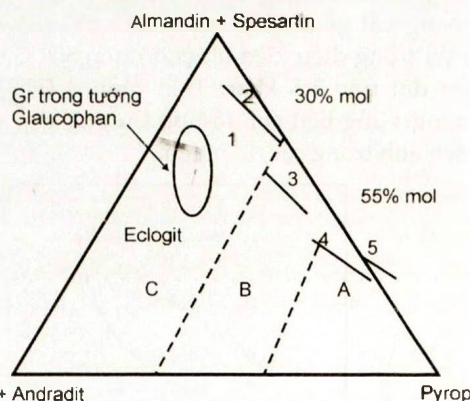
Trên hình 6 [H.6] thể hiện mối quan hệ của K_D giữa cặp granat-biotit trong tổ hợp cộng sinh almandin - phlogopit - biotit. Theo đó, thấy rõ tỷ số Mg/Fe trong granat càng lớn trình độ biến chất càng cao.

Thành phần hóa học của granat còn phụ thuộc vào thành phần nguyên thủy của đá biến chất. Grosula, andradit phát sinh từ đá vôi bị biến chất, trong khi đó almandin phát sinh từ các đá sét bị biến chất. Pyrop là loại granat đặc biệt rất giàu Mg, chi phân bố trong các đá thuộc tương biến chất eclogit có độ sâu thành tạo rất lớn (trên 40km).



Hình 6. Sự phân bố của Mg/Fe²⁺ trong cặp cộng sinh granat-biotit (Theo Baltazis, 1979).

Trên hình 7 [H.7] thể hiện tỷ lệ tương đối của các phân tử gốc trong granat tùy thuộc vào các nhóm đá trong các tương biến chất khác nhau.



Hình 7. Tỷ lệ tương đối của các phân tử gốc trong granat nằm trong các tương biến chất khác nhau. 1: amphibolit; 2: granulit; 3: eclogit; 4: eclogit trong ống nổ kim cương; 5: eclogit trong các đá dunit và peridotit.

Cordierit (Mg, Fe)₂[Si₅Al₄O₁₈].n H₂O

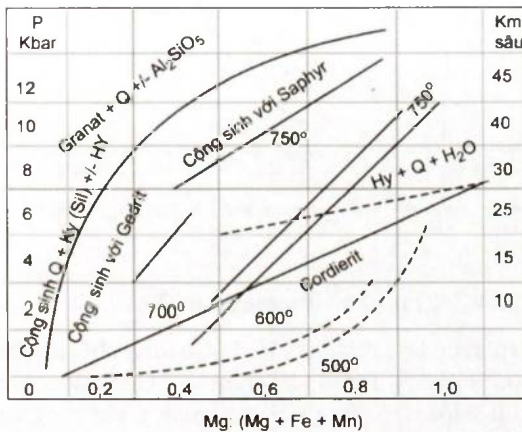
Cordierit là khoáng vật rất đặc trưng cho đá biến chất, hầu như rất hiếm mới gặp trong đá granit có liên quan đến hoạt động biến chất. Về mặt hóa học, sự thay thế đồng hình giữa hai cation Mg - Fe²⁺ được khống chế bởi nhiệt độ và áp suất và tùy thuộc vào các tổ hợp cộng sinh với nó trong các cặp song đôi hay song ba (granat - cordierit; cordierit - biotit; cordierit - hypersthen, v.v...). Những cặp khoáng vật

đó cũng được sử dụng với mục đích nhiệt và áp kế địa chất khá chính xác. Trên hình 8 [H.8] biểu diễn những cân bằng pha có cordierit tham gia.

Theo biểu đồ ở hình 8 có thể nhận rõ cordierit có độ Mg càng cao càng nằm trong các đá biến chất có áp suất thành tạo cao, tương ứng độ sâu lớn. Cordierit phát sinh từ đá sét bị biến chất, có thể gặp trong đá biến chất tiếp xúc, nhiệt độ cao, tương ứng độ sâu cao; trong các đá biến chất khu vực, độ Mg cao hơn.

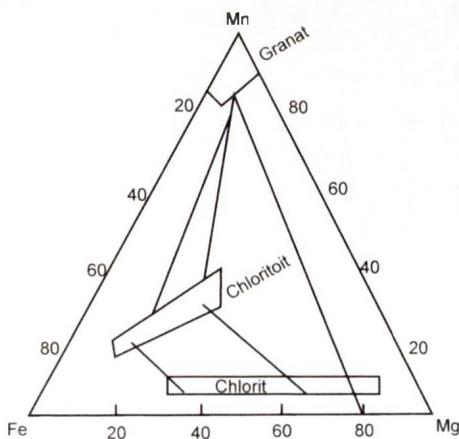
Chloritoid $(Fe^{2+}, Mg, Mn)_2(Al, Fe^{3+})(OH)_4Al_3O_2[SiO_4]_2$

Chloritoid là dung dịch cứng với sự thay thế đồng hình Mg - Fe - Mn phụ thuộc vào nhiệt độ và áp suất thành tạo, có nguồn gốc từ các đá sét hoặc đá mafic bị biến chất. Tương tự như cordierit, chúng thường gặp trong đá biến chất tiếp xúc nhiệt độ cao, áp suất thấp và cũng gặp trong đá biến chất khu vực sâu. Ngoài ra, độ Mg của nó rất nhạy bén với thay đổi áp suất, chloritoid - Mg gặp trong điều kiện nhiệt độ thấp nhưng áp suất khá cao (trên 10 kbar).

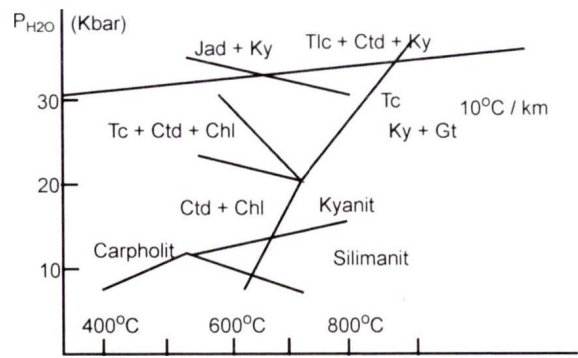


Hình 8. Biểu đồ cân bằng pha của cộng sinh khoáng vật chứa cordierit (Theo Perchuk, 1973).

Trên hình 9 [H.9] là biểu đồ quan hệ cộng sinh của chloritoid trong các đá biến chất với nhau. Hình 10 là biểu đồ P - T của các tổ hợp cộng sinh có chloritoid.



Hình 9. Biểu đồ cộng sinh của chloritoid - granat - chlorit trong tổ hợp đồng tương chloritoid - granat - phengit - paragonit - chlorit - thạch anh (Q) (Theo Kramm, 1973).



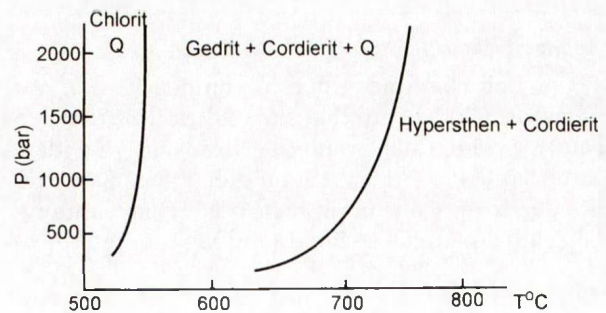
Hình 10. Trường vững bền của các tổ hợp cộng sinh khoáng vật có chloritoid (Theo Chopin, 1985).

Nhóm amphibol

Anthophylit $(Mg, Fe^{2+})_7[Si_8O_{22}](OH, F)_2$ và

Gedrit $(Mg, Fe^{2+})_5Al_2[Si_6Al_2O_{22}](OH, F)_2$.

Trong nhóm amphibol có một số khoáng vật chỉ đặc trưng cho đá magma, một số khác có thể gặp trong cả hai nhóm đá. Riêng các khoáng vật được mô tả sau đây chỉ đặc trưng cho hoạt động biến chất. Trước hết là cặp khoáng vật anthophylit - gedrit, chuyên đổi cho nhau do sự thay thế đồng hình của Mg - Fe và $(Mg, Fe^{2+})Si - AlAl$, đôi khi Si - (Na, Al). Cả hai đều kết tinh trong hệ thời nên tắt đứng. Hình 11 [H.11] thể hiện trường vững bền của chúng trong trường P - T, qua đó thấy rõ chúng thuộc tương amphibolit.



Hình 11. Biểu đồ P - T của trường vững bền của tổ hợp gedrit + thạch anh(Q) + cordierit (Theo Winkler, 1966).

Cummingtonit - Grunerit $(Mg, Fe, Mn)_7[Si_8O_{22}](OH)_2$

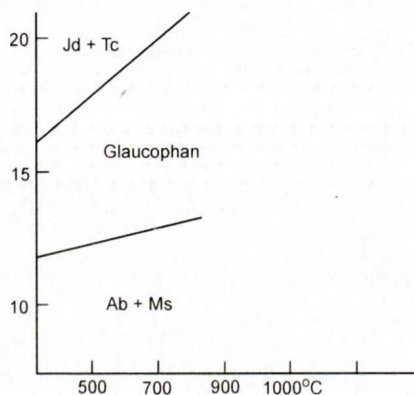
Kết tinh trong hệ đơn nghiêng, là dung dịch cứng với sự thay thế đồng hình của Mg - Fe - Mn, grunerit giàu Fe, dưới 1 nicol có màu vàng sẫm hay nâu. Cummingtonit đa sắc thay đổi từ không màu (Ng) đến lục sẫm (Np). Các khoáng vật này rất đặc trưng cho đá mafic biến chất thuộc tương amphibolit. Các tính chất khác được mô tả trong nhóm amphibol.

Tremolit - Actinolit $Ca_2(Mg, Fe^{2+})_5[Si_8O_{22}](OH)_2$

Kết tinh trong hệ đơn nghiêng, sản phẩm biến chất của đá mafic trong tương đá lục hay epidot amphibolit. Dưới 1 nicol tremolit không màu còn actinolit màu lục nhạt, mọi tính chất đều thuộc nhóm amphibol.

Glaucophan $Na_2Mg_3Al_2(Si_8O_{22})(OH)_2$

Trong nhóm amphibol, glaucophan là khoáng vật kiềm giàu Na rất đặc trưng cho đá biến chất từ đá mafic trong điều kiện nhiệt độ thấp nhưng áp suất rất cao [H.12]. Dưới 1 nicol có màu xanh da trời phớt tím rất đặc trưng.



Hình 12. Biểu đồ P - T của glaucophan so với talc (Tc), albit (Ab) và muscovit (Ms).

Nhóm pyroxen

Các khoáng vật thuộc nhóm pyroxen xuất hiện tương đối khác biệt trong các đá magma và biến chất. Ví dụ, augit, pigeonit và phần lớn các pyroxen kiềm chỉ gặp trong đá magma. Trong khi đó diopsid - hedenbergit, hypersthen có thể gặp trong cả hai. Còn các pyroxen như omphacit, jadeit chỉ đặc trưng cho đá biến chất.

Omphacit $(Ca, Na)(Mg, Fe^{2+}, Fe^{3+}, Al)[Si_2O_6]$

Các tính chất quang học của omphacit tương tự các pyroxen khác, duy chỉ có màu dưới 1 nicol thì có màu lục sẫm, màu xanh da trời sẫm đục đục. Omphacit là khoáng vật chỉ thị điều kiện áp suất rất cao, đặc trưng cho tương biến chất eclogit, thường cộng sinh với granat có hợp lượng Mg cao (pyrop).

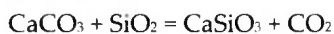
Jadeit $NaAl[Si_2O_6]$

Jadeit là khoáng vật rất độc đáo trong nhóm pyroxen không những vì bằng mắt thường có màu xanh lý rất đẹp nên được dùng làm vật trang sức, mà là khoáng vật chỉ thị cho hoạt động biến chất áp suất rất cao do phản ứng: albit = jadeit + thạch anh (Q).

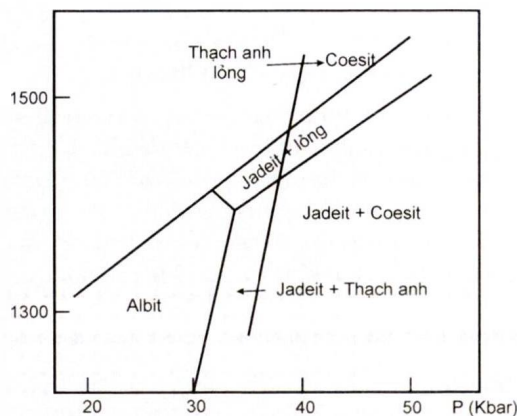
Qua biểu đồ thấy rõ jadeit + thạch anh bền vững trên 30 kbar, jadeit + coesit trên 35 kbar [H.13].

Wollastonit $Ca[SiO_3]$

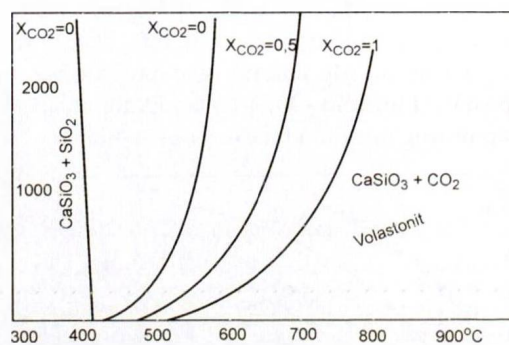
Wollastonit là khoáng vật biến chất từ đá vôi có silic, rất dễ nhầm với pyroxen (diopsid) nhưng khác tinh hệ (ba nghiêng, âm):



Phản ứng này phụ thuộc không những nhiệt độ mà còn $P_t = P_{CO_2}$ và được biểu diễn trên hình 14 [H.14].



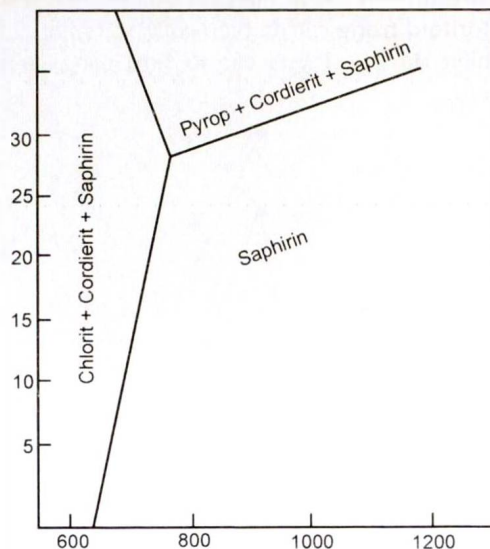
Hình 13. Trường vững bền của các khoáng vật cộng sinh với jadeit (Theo Bell & Roseboom, 1969).



Hình 14. Biểu đồ thành tạo wollastonit, phụ thuộc vào P - T và X_{CO_2} .

Saphirin $(Mg, Fe^{2+}, Fe^{3+}, Al)_3(Al, Si)_6O_{18}$

Saphirin là khoáng vật đặc trưng cho đá biến chất, rất hiếm gặp trong thiên nhiên. Điều kiện thành tạo cũng độc đáo cùng với các khoáng vật cộng sinh như cordierit, granat, v.v... Trên hình 15 [H.15] thể hiện điều kiện cân bằng của các tập hợp cân bằng với saphirin.

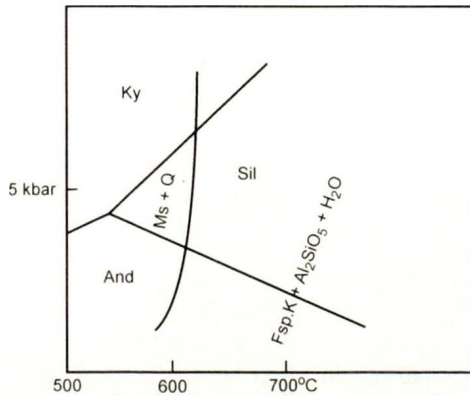


Hình 15. Biểu đồ cân bằng của các tổ hợp cân bằng có saphirin (Theo Akermann, 1975).

Nhóm mica

Muscovit $K_2Al_4[Si_6Al_2O_{20}](OH,F)_4$

Muscovit là khoáng vật rất phổ biến không những trong đá magma mà còn trong đá biến chất. Cộng sinh có muscovit phản ánh điều kiện biến chất. Trên hình 16 [H.16] thể hiện tổ hợp khoáng vật đặc trưng cho trường bền vững của muscovit.



Hình 16. Biểu đồ cân bằng của muscovit (Ms).

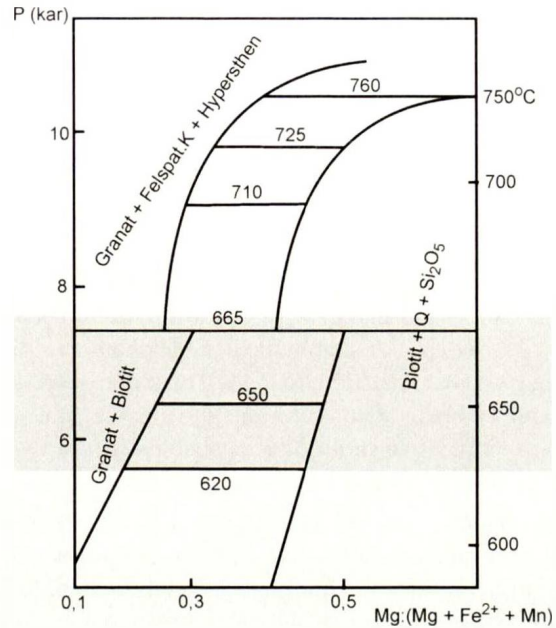
Phengit là muscovit có tỷ số Si:Al lớn hơn 3:1 kèm theo có sự thay thế của Mg, Fe²⁺ cho Al trong cấu trúc tinh thể, đồng thời cũng phản ánh điều kiện thành tạo áp suất cao. Phengit cộng sinh cùng với talc, kyanit, chloritoid trong các đá biến chất nhiệt độ thấp, áp suất cao.

Sericit là muscovit dạng vảy mịn thường thấy trong các đá biến chất nhiệt độ thấp.

Phlogopit - Biotit $K_2(Mg,Fe^{2+})_{6-4}(Fe^{3+},Al,Ti)_{0-2}[Si_{6-5}Al_{2-3}O_{20}](OH,F)_4$

Là khoáng vật phổ biến trong cả đá magma và biến chất, nhưng trong đá biến chất nó có vai trò đặc biệt khi nghiên cứu tỷ số Mg, Fe chứa trong khoáng vật cộng sinh cùng với nó. Ví dụ, cặp granat - biotit, biotit - pyroxen, sự thay thế đồng hình của Mg - Fe

là hàm số phụ thuộc chặt chẽ với sự biến thiên nhiệt độ và áp suất [H.17].



Hình 17. Tỷ số Mg (nhánh trái) của granat và của biotit (nhánh phải) trong tổ hợp cộng sinh felspat kali + Al₂SiO₅ + hypersthen và thạch anh + Al₂SiO₅ + muscovit +/- felspat kali (Theo Perchuk, 1973).

Tài liệu tham khảo

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. 799 pgs. Chelsea, Michigan. USA.
 Miyashiro A., 1973. Metamorphism and Metamorphic Belts. Ruskin House. 472 pgs. Museum Street.
 Phan Trường Thị, 2005. Thạch học các đá biến chất. NXB Đại học Quốc gia Hà Nội. 97 tr.