

## Mỏ nguồn gốc magma

Vũ Chí Hiếu. Khoa Địa chất,

Trường Đại học Khoa học Tự nhiên (ĐHQG Tp. HCM).

Nguyễn Quang Luật. Khoa Địa chất,

Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội.

### Giới thiệu

Các mỏ khoáng nguồn gốc magma có liên quan chặt chẽ với các hoạt động magma; chúng mang năng lượng cùng vật chất từ manti và những phần dưới sâu của vỏ Trái Đất tới. Sự hình thành của magma, sự xuyên của chúng lên phần trên của vỏ Trái Đất và sự kết tinh của chúng là những hoạt động có quan hệ với các dung dịch hình thành sau khi magma đã kết tinh, diễn ra rất phức tạp. Những hoạt động đó diễn ra trong điều kiện nhiệt độ và áp suất cao, ở độ sâu lớn, trong những thời đại địa chất khác nhau và gắn liền với chuyển động kiến tạo của vỏ Trái Đất.

Nguồn cung cấp vật chất để thành tạo các mỏ này chủ yếu là magma; quá trình magma và quá trình quặng hóa có quan hệ chặt chẽ với nhau.

### Magma và mối liên quan với quặng hóa

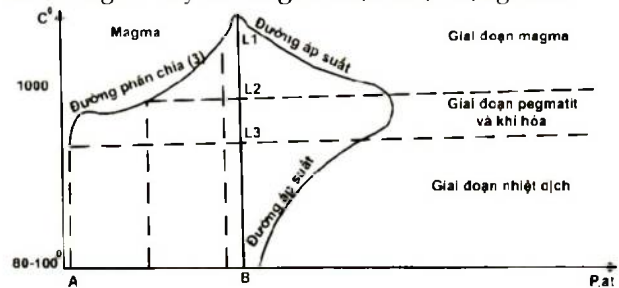
#### Khái quát về magma

Magma là khối dung thể nóng lỏng hình thành một cách cục bộ ở những miền nóng chảy từng phần của manti và phần sâu của vỏ Trái Đất – nơi đó gọi là *lò magma*. Dung thể có thành phần không đồng nhất, là hỗn hợp của các silicat, acid, silic, oxid, kim loại, các chất bốc, v.v... có nhiệt độ từ 600 - 700°C (magma granit) đến 1.000 - 1.200°C (magma basalt), khi nguội lạnh sẽ tạo nên các loại đá magma khác nhau. Về thành phần nguyên tố, dung thể magma cấu thành từ các tổ phần “dễ bốc” và “khó bốc” chủ yếu là Si, O, Al, Fe, Mg, Ca, Na, K, H, S, Cl, F, B và nhiều nguyên tố khác; các tổ phần có ích chỉ có hàm lượng nhỏ (thậm chí rất nhỏ), nhưng nếu gặp những điều kiện thuận lợi, chúng có khả năng tập trung lại, tạo thành các mỏ có giá trị.

#### Các giai đoạn của quá trình hoạt động magma

Tiến trình hoạt động magma gồm ba giai đoạn chính: 1). *Giai đoạn magma* (hay giai đoạn magma thực sự); 2). *Giai đoạn pegmatit*; 3). *Giai đoạn nhiệt dịch* hậu magma [H.1]. Mỗi giai đoạn đều tạo nên những sản phẩm đặc trưng (đá và quặng) ứng với các hoàn cảnh hóa - lý và hoàn cảnh địa chất diễn ra trong các giai đoạn đó. Trong mỗi giai đoạn, có thể hình thành những mỏ đặc trưng và được gọi bằng tên của giai đoạn (ví dụ – mỏ magma thực sự, mỏ pegmatit, mỏ nhiệt dịch).

Có nhiều yếu tố ảnh hưởng đến sự phát triển của quá trình magma, như 1). Độ sâu của lò magma; 2). Hàm lượng ban đầu, nhất là hàm lượng chất bốc có trong magma; 3). Mức kín - hở của hệ; 4). Độ thấm của đá vây quanh (điều kiện trầm tích và cấu trúc); 5). Hoạt động kiến tạo trước và trong quá trình magma. Do vậy, không phải bất kỳ một lò magma nào cũng có đầy đủ ba giai đoạn hoạt động trên.



**Hình 1.** Biểu đồ T - X (nhiệt độ - thành phần) và P - T (nhiệt độ - áp suất) với sự phân chia các giai đoạn magma, pegmatit, nhiệt dịch. A. Chất dễ bốc (nước); B. Chất khó bốc (silicat) [theo P. Niggli].

#### Mối liên quan giữa quặng hóa và magma

Nói chung các mỏ nguồn gốc magma đều có liên quan với các thể magma (với phức hệ magma, thậm chí với khối magma cụ thể). Nhưng không phải magma nào cũng có khả năng sinh quặng. Xác lập được mối liên quan này sẽ tạo tiền đề giúp cho việc định hướng công tác dự đoán, tìm kiếm mỏ – đó chính là “*tiền đề magma*”. Muốn tìm hiểu tiềm năng chứa quặng, khả năng tạo quặng của magma cần phải nghiên cứu “*tính chuyên hóa địa hóa*” và “*tính chuyên hóa sinh khoáng*” của magma. Các tiêu chuẩn xác lập mối quan hệ này gồm 1). Cấu trúc địa chất (tuổi, độ sâu thành tạo, mức độ biến chất, không gian phân bố); 2). Khoáng thạch (nhóm đá, khoáng vật phụ, khoáng vật quặng, khoáng vật chứa chất bốc); 3). Địa hóa (các nguyên tố chỉ thị của đá, của khoáng vật màu và khoáng vật phụ, thành phần đồng vị); 4). Thạch luận (kiểu đá theo nguồn gốc thành tạo, tổ hợp đá theo bối cảnh địa động lực thành tạo, đặc tính oxy hóa - khử của magma, đặc tính phân dị, phân đoạn của quá trình kết tinh magma, v.v...).

Có thể phân biệt 3 dạng quan hệ giữa magma và quặng hóa: 1). *Mối liên quan có tính chất nguồn gốc* (quan trọng nhất), các khối và phức hệ magma là nguồn trực tiếp của các mỏ quặng – quá trình quặng

hóa là một bộ phận của quá trình hóa lý chung xảy ra khi kết tinh magma. 2). *Mối liên quan có tinh chất cộng sinh* khi các khối và các phức hệ magma có quan hệ về không gian và thời gian với các mỏ quặng, nhưng không phải là nguồn cung cấp trực tiếp vật chất quặng. Chúng có thể là sản phẩm phân dị từng phần của một lò magma nằm ở sâu hơn mà ta chưa quan sát thấy. 3). *Mối liên quan về không gian cấu trúc* khi có sự phân bố của các thể magma và quặng trong cùng một cấu trúc địa chất nhưng không nhất thiết có quan hệ nguồn gốc với nhau.

Việc xác lập sự “*vô sinh*” tức là không có khả năng sinh quặng của một thể magma trong một khu vực nào đó cũng có ý nghĩa thực tiễn.

**Các nhóm mỏ nguồn gốc magma**

Dựa trên cơ sở nguồn gốc và điều kiện thành tạo, loạt mỏ nguồn gốc magma được chia ra các nhóm như magma thực sự, pegmatit, carbonatit, skarn, nhiệt dịch.

**Nhóm mỏ magma thực sự**

Mỏ magma thực sự được thành tạo trong quá trình phân dị và kết tinh trực tiếp từ dung thể magma siêu mafic và kiềm. Quặng và đá magma cùng thành tạo trong một quá trình chung. Thân khoáng có mối liên quan nguồn gốc chặt chẽ với magma về không gian, thời gian thành tạo và về thành phần vật chất. Các kiểu quặng – platin tự sinh; chromit (trong dunit, harzburgit); titanomagnetit (liên quan với đá gabro); sulfur Cu-Ni (trong những đá gabroid giàu magnesi); kim cương (trong kimberlit); apatit-magnetit (liên quan với các đá kiềm). Độ sâu thành tạo – từ độ sâu lớn (tương đương với trường bền vững của kim cương – 150km) đến độ sâu nhỏ (tương đương với độ sâu thành tạo các mỏ sulfur Cu - Ni – 1km). Nhiệt độ thành tạo – từ 1.500°C (ứng với nhiệt độ thành tạo của kim cương nhân tạo) đến 300°C (ứng với nhiệt độ thành tạo của một số sulfur). Phân biệt theo phương thức thành tạo – kiểu mỏ magma phân tụ và kiểu mỏ magma dung ly.

**Kiểu mỏ magma phân tụ**

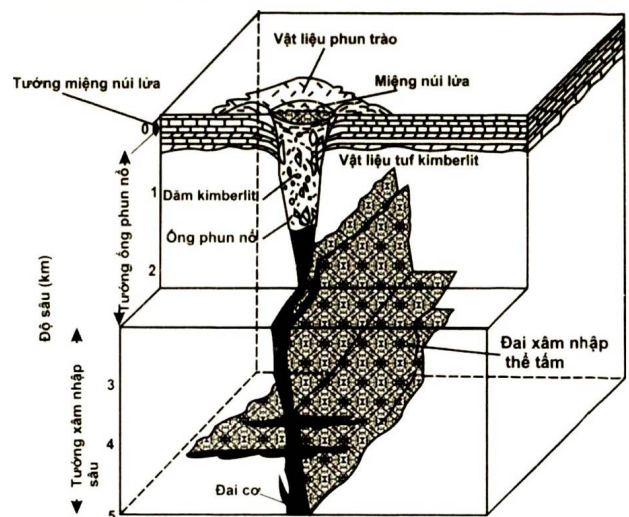
Mỏ magma phân tụ thành tạo do quá trình phân dị kết tinh (kết tinh phân đoạn) các magma siêu mafic. Các khoáng vật quặng được tách ra khá sớm trong quá trình nguội lạnh của magma, cộng sinh với các khoáng vật tạo đá, tạo thành *mỏ magma sớm*; nếu tách ra sau các khoáng vật tạo đá, gọi là *mỏ magma muộn*.

Đặc điểm chung của mỏ magma sớm là thân quặng có dạng vỉa bảm đáy, bườu, ống, thể dị ly (schlieren) kích thước nhỏ và không có ranh giới rõ ràng với đá vây quanh; quặng có cấu tạo xâm nhiễm, đốm và kiến trúc hạt tự hình.

Trong các mỏ magma muộn thân quặng thường có dạng thấu kính, vỉa, mạch. So với đá mẹ vây quanh, các thân quặng có liên quan đồng sinh (ranh giới thân quặng chuyển tiếp dần sang đá mẹ) và quan hệ hậu sinh (ranh giới thân quặng và đá mẹ phân biệt rõ ràng). Quặng có cấu tạo đặc sít, đậm xâm tán, kiến trúc hạt tha hình, điển hình là kiến trúc siderolit (khoáng vật quặng làm chất gắn kết các hạt khoáng vật tạo đá kết tinh trước).

Mỏ magma phân tụ được thành tạo theo phương thức phân dị kết tinh. Theo mức độ nguội lạnh của magma, lần lượt các tinh thể được thành tạo sẽ tách khỏi pha lỏng (dung thể). Các tinh thể thành tạo sớm thường nặng và chìm dần xuống đáy khối. Như vậy, phân dị kết tinh đồng thời bị tác động bởi phân dị trọng lực. Trong trường hợp thuận lợi các khoáng vật quặng tập trung thành các thân nằm ở rìa các khối magma. Trong quá trình kết tinh phân đoạn các tổ phần quặng được tách ra sớm khỏi dung thể silicat rồi lắng dần xuống đáy, tập trung lại thành các mỏ magma sớm. Điển hình là mỏ kim cương (đi với kimberlit) và mỏ chromit. Do quá trình phân dị kết tinh đối với những dung thể silicat có hàm lượng chất khoáng hóa tăng cao, các tổ phần quặng sẽ được tập trung vào giai đoạn cuối quá trình kết tinh magma tạo thành dung thể quặng tàn dư. Dung thể quặng tàn dư này khi nguội lạnh sẽ tạo nên các mỏ magma muộn. Khoáng sản có giá trị gồm chromit, platinoid, titanomagnetit, apatit - magnetit và đất hiếm. Chỉ một phần nhỏ khoáng vật quặng được tích tụ trong các mỏ magma sớm, còn phần lớn tập trung trong những dung thể silicat tàn dư chứa quặng, tạo thành những thân quặng magma muộn rất lớn.

*Mỏ kim cương.* Các mỏ kim cương đều có liên quan về nguồn gốc với đá kimberlit, gặp ở miền nền cổ bị hoạt động lại (nền Sibirie, nền Châu Phi, nền Australia, nền Bắc Mỹ); cấu trúc thân khoáng dạng ống nổ rất đặc trưng (gặp khoảng 1.600 ống nổ kimberlit, nhưng số đạt giá trị chỉ chiếm 1 - 3%) [H.2].

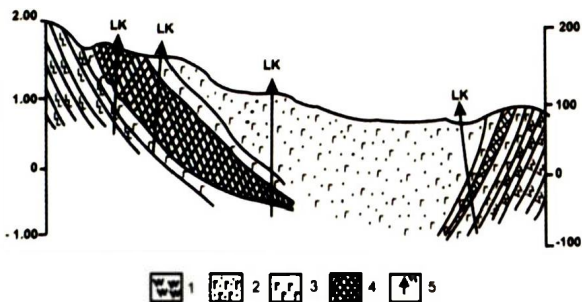


Hình 2. Bình đồ cấu trúc và mặt cắt ống nổ kimberlit.

Ông nó thường được lấp đầy bằng dăm kết phun trào, gắn kết bởi những kimberlit với đá tù là những manh vụn của đá cùng họ (hyperbasit chứa olivin, đá phiến kết tinh nhóm eclogit), hoặc đá lạ (amphibolit, gneis, cát kết, đá vôi, than). Thành phần khoáng vật nguyên sinh gồm olivin, ilmenit, kim cương, pyrop, diopsid, chromit; khoáng vật thứ sinh nguồn gốc tự biến chất, biến đổi nhiệt dịch – serpentin, chlorit, calcit, pyrrhotin. Về nguồn gốc kim cương có nhiều giả thiết – do magma kimberlit đông hóa đá chứa than; kim cương cùng với eclogit được kimberlit thu hút từ phần sâu của vỏ Trái Đất; kim cương được kết tinh trong chính magma kimberlit như khoáng vật tạo đá tự nhiên của nó.

**Mỏ chromit.** Khoáng vật chromit có thể được tách ra từ dung thể magma siêu mafic ở giai đoạn đầu, tạo nên quặng xâm tán – mỏ chromit magma sớm với kiến trúc hạt tự hình, các tinh thể chromit đạt kích thước lớn hơn 1mm hoặc được tập trung vào cuối giai đoạn magma kết tinh – mỏ magma muộn với thân quặng dạng thấu kính, vĩa, mạch, quặng có cấu tạo dài, dóm, khối, kiến trúc hạt tha hình hoặc xi măng gắn kết.

**Mỏ titan (gốc).** Mỏ quặng titan - sắt magma muộn gồm các kiểu quặng ilmenit-magnetit, ilmenit - hematit, ilmenit, đôi khi rutil - ilmenit, liên quan chặt chẽ với đá mafic, siêu mafic tương đối giàu calci. Quặng có cấu tạo khối, dóm, dài, xâm tán; kiến trúc siderolit và đặc biệt là kiến trúc phân hủy dung dịch cũng rất phổ biến (dung dịch cứng titanomagnetit phân hủy thành ilmenit và magnetit). Thân quặng có dạng thấu kính, dạng ô, dạng thể dị ly, dạng mạch có ranh giới rõ ràng với đá magma mẹ; vị trí và hình thái thân quặng được khống chế bởi các yếu tố magma nguyên thủy (đồng magma) – sự phân lớp magma của các đá trong quá trình kết tinh của chúng; các thân quặng nằm khá chính hợp với các yếu tố phân lớp magma nhưng thường bị dịch chuyển do các đứt gãy xảy ra muộn hơn. Ở Việt Nam điển hình cho kiểu mỏ này là mỏ titan Cây Châm (Núi Chúa, Thái Nguyên) [H.3].



**Hình 3.** Mặt cắt mỏ Cây Châm (Núi Chúa, Thái Nguyên)  
1. Trầm tích O-S; 2. Gabro hạt vừa; 3. Gabro hạt lớn; 4. Quặng ilmenit; 5. Lỗ khoan.

**Mỏ apatit - magnetit, apatit, đất hiếm.** Các mỏ này chi liên quan về nguồn gốc với các đá kiềm. Thành phần quặng chủ yếu gồm magnetit, apatit (từ 25 đến 75%)

trong tập hợp với nephelin, hornblend, sphen, titanomagnetit; các khoáng vật chứa Ti, Nb, Zr, TR trong tập hợp với các khoáng vật tạo đá kiềm. Thân quặng dạng mạch và thấu kính, thường nằm ở nơi tiếp xúc hoặc giữa các loại đá kiềm tương sâu vừa; vị trí thân quặng được khống chế bởi các đới xung yếu kiến tạo, bề mặt tiếp xúc của các xâm nhập vĩa có tuổi khác nhau.

#### Kiểu mỏ magma dung ly

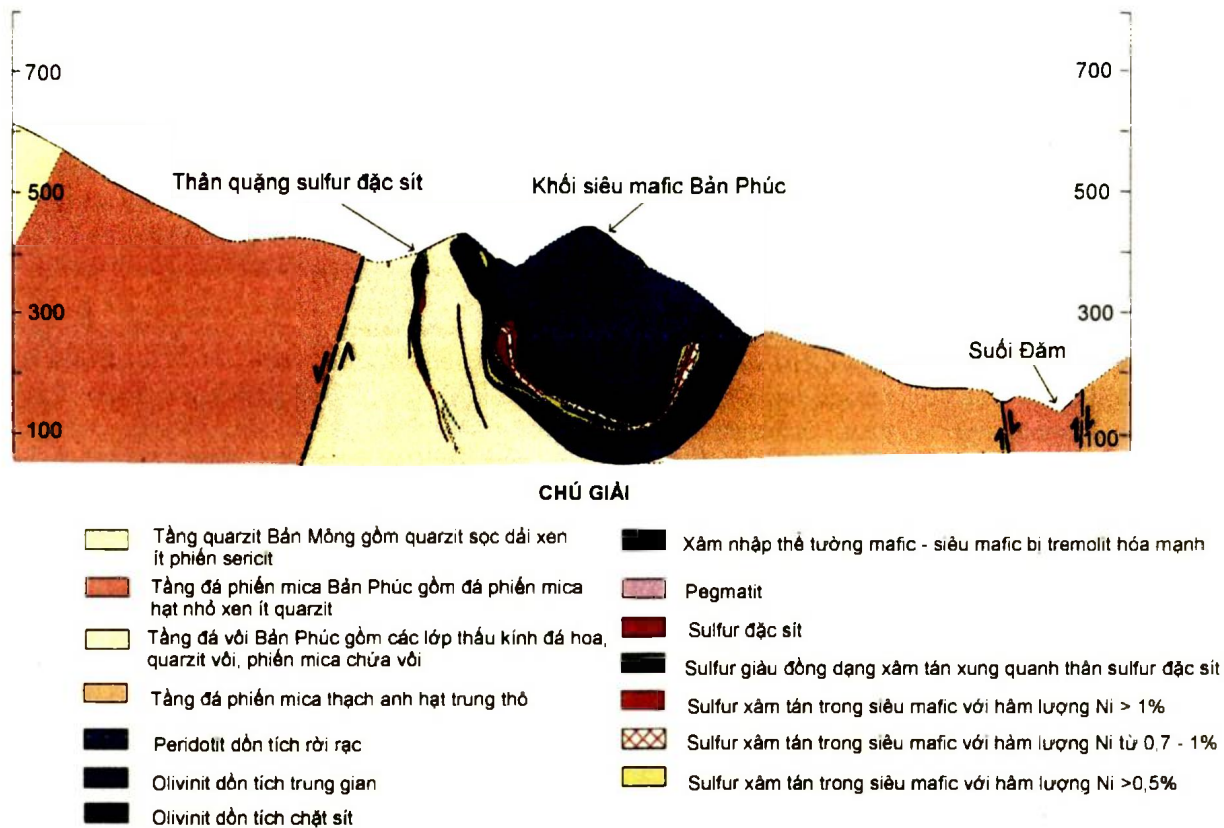
Quá trình dung ly là sự tách ra của một bộ phận magma giàu sulfur kim loại khỏi dung thể silicat ngay trong trạng thái lỏng. Ở nhiệt độ cao, magma thành phần mafic và siêu mafic có thể trộn lẫn với dung thể sulfur (chủ yếu là các sulfur Fe, Cu, Ni). Khi giảm nhiệt độ, do nguội lạnh không đồng đều và do trọng lực, v.v... nên hai bộ phận dung thể này tách khỏi nhau vì mất khả năng trộn lẫn – dung thể sulfur có tỉ trọng lớn hơn lắng xuống đáy chiếm phần dưới của khối, còn dung thể silicat nhẹ hơn chiếm phần trên. Sự nguội lạnh tiếp theo đó dẫn đến quá trình kết tinh độc lập của 2 dung thể. Mỏ magma dung ly liên quan với xâm nhập sâu vừa của magma gabroid (phổ biến là loại thể chậu).

Kiểu mỏ magma dung ly điển hình là mỏ sulfua Cu - Ni với những đặc điểm chính: thân quặng xâm nhiễm kiểu vĩa treo, vĩa hoặc thấu kính bám đáy, trong đới tiếp xúc quặng dạng gắn kết xi măng, đôi khi thể mạch; thường phân bố ở trong và ở phần rìa của khối xâm nhập, cá biệt có khi nằm ở ngoài (dung thể sulfur tiêm nhập vào đá mái theo đứt gãy). Thành phần khoáng vật quặng chủ yếu gồm pyrrhotin, pentlandit, chalcopyrit và một ít magnetit; quặng thứ yếu – Au, Pt, Pb, sperrylit, bornit, chalcocin, pyrit, titanomagnetit, ilmenit. Cấu tạo quặng gồm khối trạng, dài, dăm kết, mạch mỏng – xâm nhiễm và xâm nhiễm. Kiến trúc quặng – kiến trúc hạt, porphyr, phân hủy dung dịch cứng. Điển hình cho kiểu mỏ này ở Việt Nam là mỏ Ni - Cu Bản Phúc (Sơn La) [H.4].

#### Nhóm mỏ pegmatit

##### Đặc điểm của pegmatit

Pegmatit là những thể magma muộn, có kiến trúc hạt lớn được hình thành trong giai đoạn hoàn toàn kết thúc quá trình đông cứng của các khối xâm nhập. Những thân pegmatit mang thành phần cơ bản của khối đá mẹ, nhưng kích thước nhỏ hơn và thường có cấu trúc phân đới. Tùy theo thành phần thạch học, pegmatit được phân thành các loại khác nhau – pegmatit granit, pegmatit kiềm, pegmatit mafic và siêu mafic, trong đó pegmatit granit là loại phổ biến và có giá trị nhất; các pegmatit khác ít gặp hơn và giá trị ít hơn. Trong pegmatit có thể tìm thấy những khoáng vật phát triển hoàn mỹ với kích thước rất lớn hoặc khổng lồ. Khoáng sản chính gồm nguyên liệu sứ gốm, mica, thạch anh áp điện và thạch anh quang học, kim loại hiếm, đất hiếm, nguyên tố phóng xạ, nhiều loại ngọc quý, đá quý.



Hình 4. Mặt cắt địa chất mỏ nickel - đồng Bán Phúc (Sơn La).

**Thành phần khoáng vật của pegmatit**

Pegmatit granit là loại pegmatit phổ biến và có giá trị nhất chứa tới gần 300 khoáng vật gồm các khoáng vật tạo đá của các đá magma acid, số còn lại là khoáng vật phụ. Đặc điểm rất quan trọng là sự phổ biến các khoáng vật chứa các chất bốc (H<sub>2</sub>O, Cl, F, B, P, v.v...) và các khoáng vật chứa nguyên tố hiếm và phóng xạ (muscovit, topaz, beryl, tourmalin, spodumen, fluorin, lepidolit, monazit, xenotim, pyrochlor, orthit, columbit, tantalit, uraninit, casiterit, wolframit, molybdenit, v.v... Pegmatit kiềm (pegmatit syenit, pegmatit syenit nephelin) được cấu thành từ các khoáng vật microlin hoặc orthoclas, nephelin hoặc sodalit, aegirin, natrolit, arfvedsonit lẫn với một lượng nhỏ apatit, analcim và một số khoáng vật chứa Zr, Ta, Nb, TR. Pegmatit mafic và siêu mafic (pegmatit gabro, pegmatit bronzitit, v.v...).

**Kiến trúc, cấu tạo của pegmatit**

Trong pegmatit thường gặp các kiến trúc hạt kết tinh giống kiến trúc của đá mẹ. Kiến trúc dạng sơ đồ (kiến trúc graphic, mọc xen, vân chữ) rất điển hình cho pegmatit. Cấu tạo thường gặp là khối, dải, vân chữ.

**Đặc điểm thân khoáng pegmatit**

Các thân khoáng pegmatit thường phân bố ở phần vòm hoặc rìa các thể xâm nhập. Nhưng thân pegmatit cổ (tuổi Tiền Cambri) nằm trong các đới

migmatit thuộc phức hệ biến chất cổ. Hình thái các thân pegmatit – mạch, thấu kính, bướu, ổ, ống, dạng râu chuối và thường phân nhánh phức tạp, ranh giới rõ ràng (pegmatit hậu sinh), hoặc có quan hệ chuyển tiếp (pegmatit dạng thể dị ly nằm trong khối đá mẹ). Thân khoáng pegmatit thường có cấu trúc phân đới với mức độ phức tạp khác nhau.

**Quá trình thành tạo pegmatit**

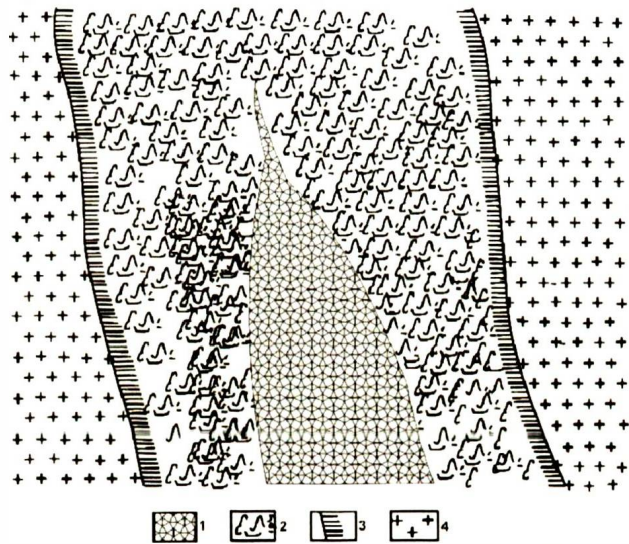
Pegmatit thành tạo từ dung thể magma tàn dư – hình thành trong khi nguội lạnh, chứa hầu như toàn bộ các thành phần bốc ở thể khí của magma (chủ yếu là nước, ngoài ra còn CO<sub>2</sub>, HCl, CO, H<sub>2</sub>S, H<sub>3</sub> PO<sub>4</sub>, H<sub>3</sub> BO<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, HF, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>, S<sub>2</sub>) – có khả năng tiêm nhập vào các khe nứt ở phần vòm, rìa của khối xâm nhập. Do dung thể còn tồn tại cho đến khi nhiệt độ giảm xuống dưới điểm kết tinh, các khoáng vật được kết tinh một cách chậm chạp, thuận lợi cho hình thành những tinh thể lớn. Quá trình này diễn ra trong hệ hóa - lý đóng kín, trải qua nhiều pha, nhiều giai đoạn với những sản phẩm đặc trưng, theo chiều giảm nhiệt độ. Vai trò của dung dịch khoáng hóa khí - lỏng từ dưới sâu xuyên lên gây biến chất trao đổi cũng quan trọng, diễn ra trong hệ hóa lý hoàn toàn mở, tạo thành pegmatit thành phần phức tạp. Nếu dung thể tàn dư và dung dịch này không thoát khỏi đá mẹ quá sớm thì diễn ra quá trình kết tinh, thay thế trao đổi, tạo các thân pegmatit tại các đới xung yếu trong các khối magma mẹ. Nhiệt độ thành tạo – từ 600 - 700°C đến 200°C. Độ sâu thành tạo – từ 2 - 3km đến 8 - 9km.

**Các kiểu mô pegmatit**

Dựa trên đặc điểm và phương thức thành tạo, pegmatit được phân thành các loại: pegmatit đơn giản, pegmatit tái kết tinh, pegmatit trao đổi thay thế và pegmatit khử silic.

**Pegmatit đơn giản**

Pegmatit đơn giản là loại pegmatit có thành phần hóa học và khoáng vật tương tự đá mẹ (ví dụ – pegmatit granit với khoáng vật chủ yếu là felspat kali và thạch anh, khoáng vật phụ như muscovit, tourmalin, granat); thân có kích thước không lớn, độc lập hoặc nằm trong thành phần của trường pegmatit phức tạp; cấu trúc thân đơn giản với 2 đối chính là đới pegmatit vân chữ và nhân thạch anh, ở rìa thân là đới hạt nhỏ hoặc riềm mica. Loại này là nguồn cung cấp nguyên liệu làm đồ sứ (felspat) [H.5].



**Hình 5.** lát cắt pegmatit đơn giản (theo V.I.Smironov). 1. Nhân thạch anh; 2. Pegmatit kiến trúc vân chữ; 3. Riềm mica; 4. Granit.

**Pegmatit tái kết tinh**

Nét đặc trưng của pegmatit tái kết tinh là có kiến trúc hạt kết tinh lớn và không lỗ, hình thành do kết tinh và tái kết tinh vật chất dưới ảnh hưởng của dung dịch khí - lỏng; khoáng sản gồm muscovit (nguồn duy nhất có kích thước > 4cm<sup>2</sup>), felspat, thạch anh [H.6].

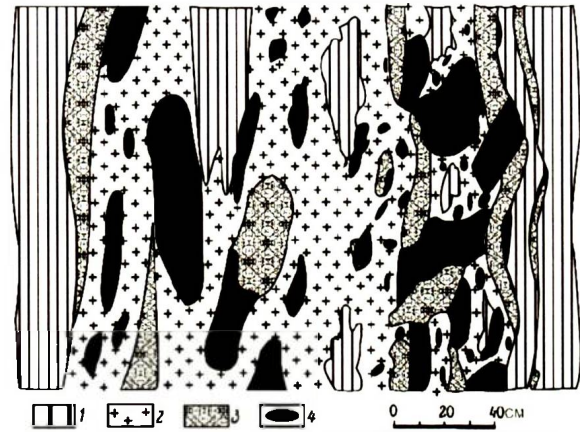
**Pegmatit trao đổi thay thế**

Pegmatit trao đổi thay thế được thành tạo do trao đổi thay thế dưới tác dụng của dung dịch khoáng hóa khí - lỏng đi từ dưới sâu lên. Thành phần gồm microclin, albit, thạch anh, muscovit và nhiều khoáng vật chứa kim loại hiếm, đất hiếm, các loại ngọc quý; khoáng sản gồm thạch anh tinh thể, fluorin quang học, đá quý, quặng Li, Be, Rb, Cs, đôi khi Th, U, Nb, Ta, đất hiếm, Sn, W [H.7].

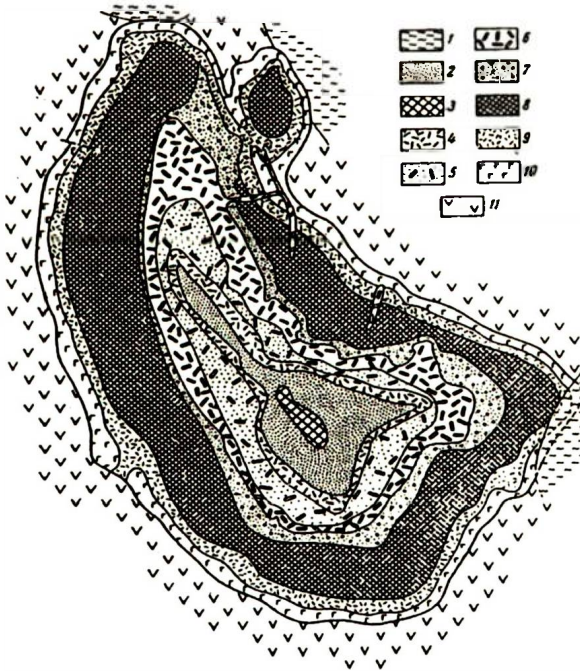
**Pegmatit khử silic**

Pegmatit khử silic được thành tạo do trao đổi thay thế giữa pegmatit granit với các đá vây quanh là

carbonat (đá vôi, dolomit), đá mafic. Do nha bột SiO<sub>2</sub> làm cho độ mafic của pegmatit tăng lên, felspat kali bị thay thế bằng plagioclas (chủ yếu là oligoclas, anorthit) một số phân tử Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> được giải phóng khỏi alumosilicat, tạo thành corindon (hàm lượng corindon khai thác trong plagiogranit là >40%).



**Hình 6.** Mặt cắt qua thân pegmatit tái kết tinh chứa mica (theo G. Kulesov). 1. Gneis; 2. Pegmatit hạt vừa; 3. Thạch anh; 4. Muscovit.



**Hình 7.** Mặt cắt qua thân pegmatit thay thế trao đổi (theo N. Solodov). 1. Lớp phủ; Các đới (2-10); 2. Đới thạch anh khối; 3. Đới microclin hạt lớn; 4. Đới albit tấm nhỏ; 5. Đới thạch anh-spodumen; 6. Đới cleveandit-spodumen; 7. Đới thạch anh-muscovit; 8. Đới microclin khối lớn; 9. Đới albit hạt nhỏ; 10. Đới thạch anh-microclin vân chữ (có chỗ bị albit hóa mạnh); 11. Đá vây quanh.

**Pegmatit ở Việt Nam**

Các thể pegmatit phân bố khá rộng rãi trên lãnh thổ Việt Nam. Các trường pegmatit kéo dài thành dải phù hợp với phương cấu trúc địa chất từng khu vực. 1). Dải pegmatit chứa mica và thạch anh, felspat, có triển vọng về nguyên liệu sứ gốm và mica, kéo dài dọc theo tà ngạn sông Hồng từ Lào Cai đến

Việt Trì gồm nhiều trường pegmatit khác nhau, nằm trong hệ tầng Sông Hồng (đá biến chất tuổi Tiền Cambri). 2). Trường pegmatit chứa mica và thạch anh - fenspat Thạch Khoán (Phú Thọ) với gần 300 thân khoáng nằm trong hệ tầng Thạch Khoán (đá biến chất tuổi Tiền Cambri). 3). Trường pegmatit Thường Xuân (Tây Thanh Hóa) với các thân nằm trong granit; khoáng sản gồm nguyên liệu sứ, thạch anh áp điện và quang học. 4). Trường pegmatit Kim Cương (Tây Nghệ An) kéo dài dọc theo biên giới Việt - Lào, thuộc loại pegmatit chứa kim loại hiếm. 5). Ở Miền Nam Việt Nam gặp pegmatit giàu muscovit ở Quế Sơn (Đại Lộc, Quảng Nam); ở vùng Can Nak có những thân kinh pegmatit nằm trong hệ tầng đá biến chất Tiền Cambri Kan Nak, chứa độ phóng xạ cao; ở vùng Đắc Tô - Tân Cảnh gặp pegmatit chứa fluorin, thạch anh quang học.

### Nhóm mỏ carbonatit

#### Đặc điểm của carbonatit

Carbonatit là những thể địa chất nguồn gốc magma có thành phần chủ yếu là calcit, dolomit và những khoáng vật carbonat khác (ankerit, siderit, v.v...), liên quan về không gian và nguồn gốc với các xâm nhập phức tạp có thành phần siêu mafic - kiềm. Khoáng sản liên quan gồm niobi, tantal, đất hiếm (TR), zirconi, stronti, titan, apatit, phlogopit, vermiculit, fluorit, v.v...

#### Thành phần khoáng vật của carbonatit

Khoáng vật chủ yếu tạo carbonatit là calcit, dolomit, ankerit (chiếm 80 - 99% khối lượng thân khoáng); rất nhiều khoáng vật phụ như apatit, phlogopit, magnetit, pyrochlor, baddeleyit, basnesit, parisit, cacbosernait, v.v..., trong số đó có nhiều khoáng vật chứa các nguyên tố hiếm và đất hiếm có thể tập trung đạt giá trị kinh tế.

#### Kiến trúc và dạng cấu tạo của carbonatit

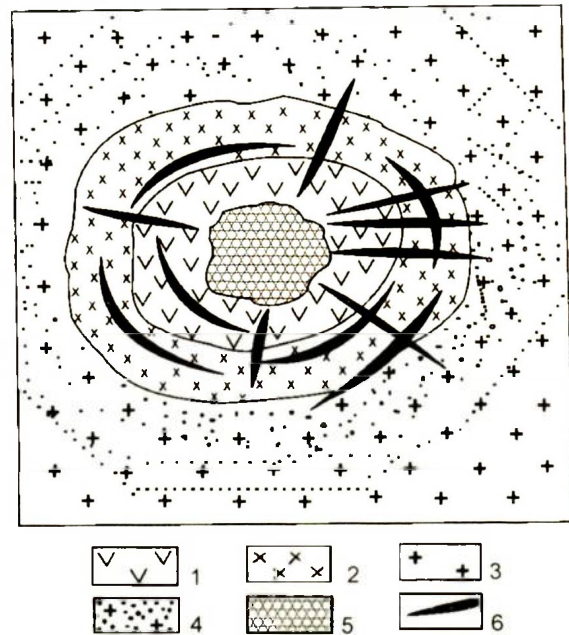
Carbonatit thường có kiến trúc hạt với kích thước khác nhau, đôi khi gặp kiến trúc porphy; cấu tạo khối, xâm tán, đốm, dải, lớp, dăm kết, lấp đầy.

Các thân khoáng carbonatit có dạng thể ống, thể bướu hoặc thể cán, thể tường (dyke), mạch, dạng vòng và nửa vòng, có ranh giới khá rõ ràng với các đá vây quanh, chiếm những vị trí nhất định trong cấu trúc khối xâm nhập siêu mafic - kiềm kiểu trung tâm rất điển hình. Các loại đá sắp xếp thành đới đồng tâm [H.8], carbonatit chiếm vị trí nhân của khối và xen trong các đới đồng tâm bao quanh nhân hoặc cắt các đới đồng tâm theo phương gần thẳng góc (hướng về tâm).

#### Quá trình thành tạo mỏ carbonatit

Carbonatit thuộc loại thành tạo đa nguồn gốc, hình thành do phương thức kết tinh và trao đổi thay thế. Có thể một bộ phận carbonatit sớm được

hình thành từ dung thể nguội lạnh, còn bộ phận carbonatit muộn nằm chồng gối lên carbonatit sớm thành tạo do hoạt động của tác nhân khí - lỏng đưa tới, được tách ra từ dung thể magma siêu mafic - kiềm.



Hình 8. Sơ đồ cấu trúc đồng tâm của mỏ carbonatit.

1. Đá kiềm; 2. Đá siêu mafic; 3. Gneis; 4. Fenit; 5. Carbonatit thể bướu; 6. Các mạch carbonatit.

#### Các giai đoạn tạo khoáng

Tiến trình tạo khoáng carbonatit gồm nhiều giai đoạn: 1). Giai đoạn carbonatit sớm (giai đoạn I) thành tạo carbonatit calcit, carbonatit calcit - augit - diopsid, carbonatit calcit - fosterit với thành phần khoáng vật chủ yếu là: calcit 30 - 70%; augit, diopsid hoặc fosterit 20 - 50%; biotit hoặc phlogopit chứa sắt 5 - 20%, apatit 3 - 20% và magnetit 1 - 10%. Khoáng vật phụ: nhóm peropxkit (disanalit) và canzirilit. 2). Giai đoạn carbonatit calcit (giai đoạn II hoặc carbonatit calcit giữa) thành tạo carbonatit calcit đơn khoáng, carbonatit - diopsid, carbonatit calcit - forsterit, carbonatit calcit - phlogopit. Lượng khoáng vật sẫm màu giảm đi (< 10 - 30%), diopsid thay cho augit - diopsid, phlogopit thay cho biotit. Về khoáng vật phụ, ngoài những khoáng vật của Ti, Zr (như zirkelit, badeleyit) còn có những khoáng vật của Ta, Nb, U, Y (pyrochlor, gatchetolit). 3). Giai đoạn carbonatit calcit muộn và dolomit (giai đoạn III) thành tạo những carbonatit calcit - amphibol, carbonatit dolomit - amphibol, carbonatit dolomit - phlogopit, carbonatit dolomit. Xuất hiện các khoáng vật amphibol kiềm, serpentin, talc và xuất hiện dolomit. Các khoáng vật phụ gồm chondrodit, magnetit, ilmenit, apatit, pyrit, sphen, rutin, eschynit, lindokit, zircon, berbankit. 4). Giai đoạn carbonatit dolomit muộn và ankerit (giai đoạn IV) thành tạo carbonatit ankerit - amphibol, carbonatit ankerit - albit, carbonatit ankerit. Lượng carbonat

tăng lên đến > 85 - 95% thành phần đá, xuất hiện ankerit và paraankerit, siderit, đôi khi cả strontianit, các khoáng vật nhiệt dịch điển hình như fluorit, pyrit, galenit, molybdenit, sphalerit, ngoài ra còn baryt, rutil, anatas, rất phổ biến các khoáng vật đất hiếm như parisit, barsnesit, ankilit, cordylit, lanthanit, carbocernait và các khoáng vật chứa Ta, Nb (columbit, pyrochlor chứa stronti).

Độ sâu và nhiệt độ thành tạo

Carbonatit và phức hệ magma liên quan hình thành ở độ sâu từ 5 - 10km đến gần mặt đất. Một số khối "hồ" xuyên lên đến mặt đất, chuyển từ xâm nhập sang phun trào, thể hiện tính phân đới theo chiều thẳng đứng - ở độ sâu lớn, chủ yếu là các đá siêu mafic, kèm khoáng hóa perovskit - titan - magnetit, phlogopit và dolomit, calcit. Ở độ sâu trung bình gặp thể đá ijolit-melteigit với carbonatit calcit; ở độ sâu nhỏ (á phun trào) phát triển các đá kiềm với những carbonatit nhiều kiểu; và ứng với tương phun trào (dung nham kiềm và tuf), với khoáng hóa apatit - baryt. Nhiệt độ thành tạo của carbonatit trong khoảng từ 600°C đến 100°C.

#### Các kiểu quặng carbonatit

Theo thành phần khoáng sản được tập trung, carbonatit được phân thành các kiểu khác nhau như *Carbonatit gatchetolit - pyrochlor* với hàm lượng cao Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> UO<sub>2</sub> và UO<sub>3</sub>; *Carbonatit basnesit - parisit - monazit* là nguồn cung cấp quặng đất hiếm quan trọng, đặc biệt là TR<sub>Ce</sub> (đất hiếm nhóm ceri); *Carbonatit apatit - magnetit* với hàm lượng Fe và P cao; *Quặng perovskit - titanomagnetit* liên quan hyperbasit trong các mỏ carbonatit; *Carbonatit phlogopit* - tập trung mica trong đó chủ yếu là phlogopit kích thước lớn; *Carbonatit fluorit*; *Carbonatit sulfur* tạo thành các mỏ đồng, chì, kẽm.

#### Nhóm mỏ skarn

##### Vài nét chung về đá skarn và mỏ skarn

Thuật ngữ skarn được dùng đầu tiên vào năm 1880, là tên một mỏ sắt ở Thụy Điển. Đá skarn là loại đá được thành tạo do các phản ứng tiếp xúc trao đổi - thay thế (biến chất tiếp xúc - trao đổi) ở nhiệt độ cao giữa đá carbonat (hoặc hiếm hơn, đá silicat) với các khối xâm nhập, dưới tác dụng trực tiếp của dung dịch nguồn gốc magma. Thành phần khoáng vật chủ yếu gồm silicat và alumosilicat Ca, Mg, Fe, tiêu biểu là pyroxen, granat. *Thân skarn* thường phân bố ở đới tiếp xúc của thể xâm nhập với đá vây quanh (có thể phân biệt "skarn trong" và "skarn ngoài" tùy theo vị trí tương đối với ranh giới khối xâm nhập). Skarn được phân thành *skarn calci* (thành tạo do skarn hóa các đá vôi, đá sét vôi, cát kết có xi măng là carbonat calci, đá tuf vôi); *skarn magnesi* (đá vây quanh là dolomit, đá vôi

dolomit và magnesit); *skarn silicat* (đá vây quanh có thành phần silicat như cát kết, bột kết, các đá porphyrit, albitophyr và tuf của chúng, các đá xâm nhập granodiorit, syenit). Kiến trúc thường gặp là hạt biến tinh, porphyr biến tinh, kham biến tinh, tàn dư với những dấu hiệu của sự thay thế trao đổi.

Mỏ skarn được thành tạo ở giai đoạn sau magma và liên quan mật thiết với quá trình thành tạo skarn. Quặng hóa được định vị chủ yếu hoặc hoàn toàn trong thân skarn và đá gần skarn, là nguồn cung cấp các khoáng sản sắt, wolfram, đồng, chì, kẽm, vàng, bo, phlogopit, v.v...

#### Phương thức thành tạo đá skarn và mỏ skarn

Skarn và mỏ skarn được thành tạo do tác dụng phối hợp của nhiệt xâm nhập và dung dịch khoáng hóa khí - lỏng nguồn gốc magma, diễn ra ở đới tiếp xúc của khối xâm nhập với đá carbonat vây quanh. Quá trình này diễn ra trong hệ hóa lý mở, có sự mang đến và mang đi của các tổ phần một cách đáng kể với các phương thức *trao đổi thay thế đôi* (biến chất trao đổi kép - bimetasomatisme) và *trao đổi thay thế thấm lọc*. Đối với những skarn có quặng hóa thì phương thức tiếp xúc - thấm lọc, liên quan với tác dụng mạnh mẽ nhất của dung dịch sau magma đóng vai trò đặc biệt quan trọng.

#### Quá trình quặng hóa skarn

Cần phân biệt tổ hợp khoáng vật tạo skarn và tổ hợp khoáng vật quặng, qua đó phân biệt thân skarn và thân quặng. Không phải lúc nào quá trình skarn hóa cũng đều có quặng hóa kèm theo. Dựa vào quan hệ về không gian và thời gian của skarn và quặng hóa, 3 kiểu quặng hóa chính được phân định:

- *Kiểu quặng hóa kéo theo*. Quặng hóa diễn ra tiếp liền theo giai đoạn tạo skarn - các khoáng vật quặng thay thế trực tiếp các tổ hợp khoáng vật tạo skarn, quặng được tập trung ở những chỗ thuận lợi trong thân skarn, thân quặng nằm trong thân skarn nhưng không chiếm hoàn toàn thân skarn; quá trình này diễn ra ở giai đoạn sớm (kiềm sớm). Thuộc kiểu này có các mỏ phlogopit, magnetit, sulfur.

- *Kiểu quặng hóa nằm chông*. Quặng hóa tách khỏi quá trình thành tạo skarn, nhưng về không gian lại trùng với thân skarn - đóng vai trò là môi trường đặc biệt thuận lợi để lắng đọng quặng; thân quặng có thể không trùng với thân skarn, nhiều khi xuyên vào cả đá vây quanh skarn. Thuộc kiểu này có các mỏ molybdenit - sheelit, sulfur - sheelit, sulfur đa kim, đồng, sulfur chứa vàng.

- *Kiểu quặng hóa đồng thời*. Kiểu này ít phổ biến và ít có giá trị, sự lắng đọng các khoáng vật quặng xảy ra đồng thời với sự thành tạo skarn (lấy mốc là tổ hợp pyroxen - granat). Thuộc loại này có mỏ magnetit, graphit với đặc điểm là thân quặng cũng đồng thời là thân skarn.

### **Điều kiện thành tạo skarn và mỏ skarn**

Phần lớn các mỏ skarn được phát hiện đều sinh thành ở độ sâu từ 1,5 - 2,0km đến 3 - 3,5km ứng với áp suất từ 450 đến 1.000at. Nhiệt độ thành tạo từ 800-900°C (tạo tổ hợp cộng sinh pyroxen - granat, pyroxen - epidot) đến <100°C (tạo tổ hợp cộng sinh calcit - chlorit, zeolit). Trong quá trình trao đổi thay thế dẫn tới tạo đá và tạo quặng skarn, độ linh động của các nguyên tố có vai trò rất quan trọng, nó quyết định tốc độ khuếch tán và tạo nên hiện tượng khuếch tán phân dị (theo mức độ khác nhau) – nguyên nhân dẫn đến sự phân đới các tổ hợp cộng sinh khoáng vật.

Skarn và mỏ skarn có quan hệ với những thể magma xâm nhập có thành phần từ acid, trung tính đến kiềm, kiềm - siêu mafic và mafic - siêu mafic. Phần lớn các mỏ skarn liên quan với các đá granitoid như granit (nhưng có độ acid vừa và độ mafic hơi cao, loại acid cao ít khi tạo được các mỏ kim loại), granodiorit, monzonit, diorit thạch anh, granosyenit. Mỏ skarn cũng khá phổ biến khi liên quan với các loại đá plagiogranit, plagiosyenit – những sản phẩm acid và kiềm của magma basalt.

Đá vây quanh thuận lợi đối với quá trình skarn hóa là các đá trầm tích carbonat, các thể trầm tích núi lửa có chứa carbonat (tuf vôi chẳng hạn); kém thuận lợi hơn là các đá trầm tích, trầm tích biến chất hoặc magma có thành phần silic.

Các thân skarn (và thân quặng skarn) không tạo thành vành liên tục xung quanh khối xâm nhập, nó chỉ xuất hiện ở những nơi mà tiếp xúc magma cắt qua các đá thuận lợi đối với quá trình skarn hóa và trong những cấu trúc đảm bảo cho quá trình này phát triển – “trao đổi thay thế chọn lọc”.

Thân quặng skarn có hình vĩa và dạng vĩa, thấu kính, bườu, ống, mạch và dạng mạch, dạng ổ, thân có hình dáng phức tạp. Các thể skarn có cấu trúc phân đới rất phổ biến, các tổ hợp khoáng vật tạo skarn sắp xếp có qui luật theo chiều từ đá xâm nhập ra đá carbonat vây quanh, tạo nên cột biến chất trao đổi.

### **Mỏ skarn ở Việt Nam**

Ở Việt Nam, các biểu hiện khoáng hóa skarn không nhiều, trong đó có một vài mỏ sắt có giá trị như Thạch Khê (Hà Tĩnh), Nà Lũng, Nà Rụa (Cao Bằng), Bàn Chiềng (Nghệ An), v.v...

Mỏ sắt skarn Thạch Khê (Hà Tĩnh) được phát hiện năm 1962, thăm dò chi tiết năm 1984 và hiện bắt đầu được Tập đoàn Công nghiệp Than và Khoáng sản Việt Nam khai thác bằng phương pháp khai thác lộ thiên. Thân quặng có dạng thấu kính, vĩa phân nhánh, nằm trong đá skarn, đá sừng, đá carbonat. Kiểu quặng magnetit, hematit. Mỏ thuộc loại skarn magnesi, sau đó bị biến cải bởi skarn calci; kiểu quặng hóa sắt nằm chổng [H.9].

### **Nhóm mỏ nhiệt dịch**

#### **Vài nét chung về mỏ nhiệt dịch và dung dịch nhiệt dịch**

Mỏ nhiệt dịch được thành tạo từ dung dịch khí - lỏng nguồn gốc sau magma. Các khoáng chất kết đọng trong các khe nứt, các lỗ hổng hoặc thay thế các đá thuận lợi. Thân quặng phổ biến dạng mạch, thành tạo sau đá vây quanh, thường nằm trong đá bị biến đổi nhiệt dịch và được bao quanh bằng những vành phân tán khoáng hóa. Kích thước thân quặng thay đổi trong phạm vi rất rộng – dài từ vài mét đến hàng kilomet, dày từ vài centimet đến chục mét. Đây là nhóm mỏ cung cấp nhiều loại khoáng sản như kim loại màu, kim loại hiếm, quý, kim loại phóng xạ và một số khoáng sản không kim loại như chrisotil - asbet, fluorit, baryt, thạch anh kỹ thuật, magnesit, phlogopit, graphit.

Dung dịch nhiệt dịch là dung dịch nước (có thể có cả CO<sub>2</sub>) ở thể khí, lỏng hoặc khí - lỏng nhiệt độ cao (vài trăm độ C), liên quan với nguồn gốc với magma, xuất hiện sau khi magma đã kết tinh, có khả năng di chuyển, làm biến đổi đá gặp trên đường đi và lắng đọng khoáng vật quặng. Nước của dung dịch nhiệt dịch có thể có nhiều nguồn gốc – nước magma (hay nước nguyên sinh), nước nguồn gốc biến chất, nước chôn vùi, nước khí quyển và nước biển [H.10]. Thành phần đa dạng và phức tạp do nhiều nguyên nhân chi phối – thành phần của magma mà chúng có liên quan, độ sâu hình thành, sự tương tác với đá vây quanh trên đường chúng di chuyển. Chất khoáng – dưới dạng hợp chất dễ hòa tan, các ion phức – có nguồn do magma nguyên sinh (thoát ra khi kết thúc quá trình kết tinh dung thể, gia nhập thành phần của dung dịch hậu magma) và nguồn do lọc ngoài magma (lấy từ đá vây quanh trên đường di chuyển). Dung dịch nhiệt dịch khi tách khỏi magma bắt đầu ở nhiệt độ lớn hơn nhiệt độ tới hạn của nước (374°C). Đặc tính hóa học (độ pH) biến động nhiều trong quá trình di chuyển và lắng đọng vì là hệ thống hóa - lý mở.

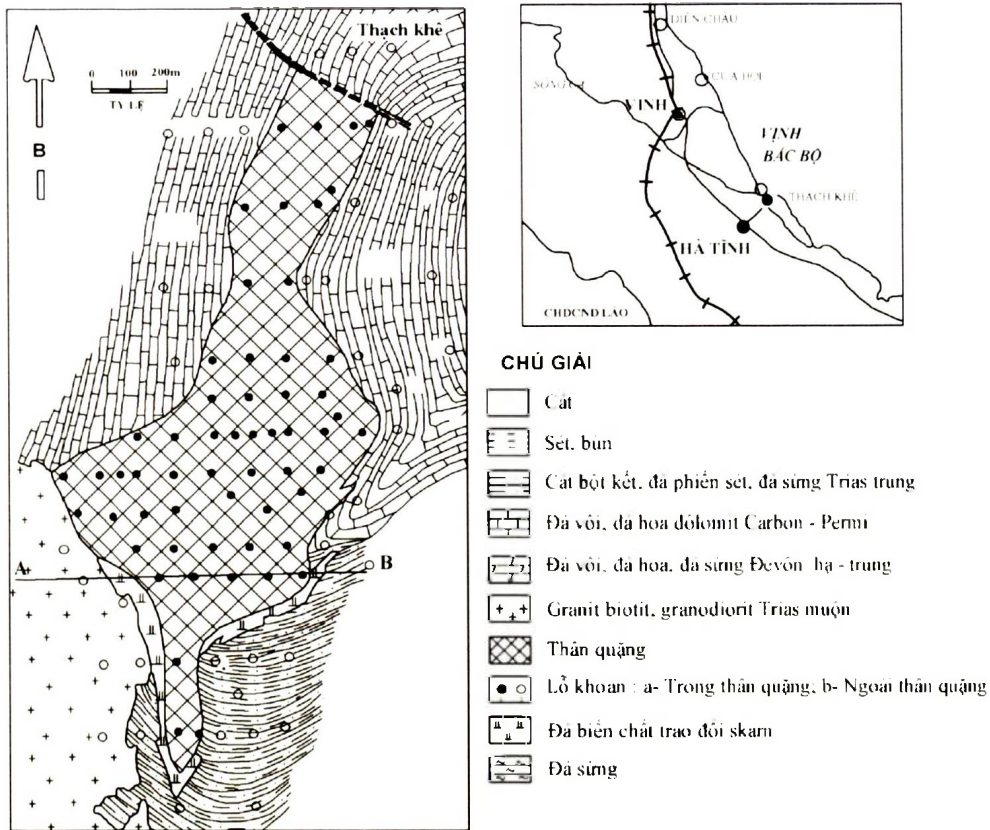
Dung dịch nhiệt dịch được hình thành ở những tầng sâu của vỏ Trái Đất, di chuyển theo hướng đi lên những tầng nông hơn chủ yếu bằng cách thấm lọc qua nhiều loại đá có độ thấm tốt, dọc theo các đới khe nứt, đứt gãy. Đó là các đường di chuyển đưa dung dịch nhiệt dịch đi khá xa, tới những khu vực thuận lợi cho quá trình khoáng hóa.

#### **Phương thức lắng đọng vật chất khoáng từ dung dịch nhiệt dịch**

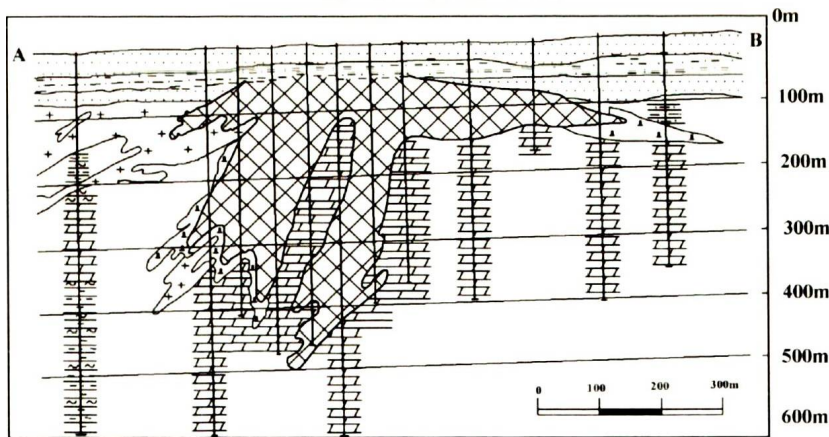
Phương thức lắng đọng vật chất khoáng từ dung dịch nhiệt dịch rất đa dạng.

- Phản ứng hóa học trong dung dịch giữa các dung dịch trộn lẫn giữa dung dịch nhiệt dịch với đá vây quanh, làm biến đổi đá vây quanh và lắng đọng quặng.





MẶT CẮT ĐỊA CHẤT A - B



**Hình 9.** Sơ đồ cấu trúc mỏ sắt Thạch Khê (Hà Tĩnh).  
(Theo tài liệu của Bùi Quang Ngôn, 1984; Trần Xuân Thắng, 1995).

- Thay đổi đặc tính môi trường tạo khoáng (những ion đơn giản và ion phức của các kim loại rất nhạy cảm với độ pH, giảm độ hòa tan và có thể lắng đọng). Sự thay đổi nhiệt độ và áp suất của dung dịch nhiệt dịch có ý nghĩa trực tiếp và gián tiếp đối với sự lắng đọng vật chất.

- Hiệu ứng thẩm lọc gây ra sự tăng nồng độ vật chất hòa tan của dung dịch nhiệt dịch khi thẩm qua các đá có độ thấm yếu (chính là các "màn chắn", giữ lại, tập trung các kim loại),

- Keo tụ, biến keo từ dung dịch keo. Ngoài ra, chất khoáng có thể lắng đọng do hấp thụ.

Sự lắng đọng vật chất khoáng từ dung dịch nhiệt dịch được tập trung sẽ hình thành các thân khoáng. Đá vây quanh thân khoáng nhiệt dịch thường chứa một hàm lượng tăng cao các kim loại có trong thân khoáng, lớn hơn hàm lượng trung bình của đá vây quanh nhiều lần. Diện tích có hàm lượng tăng cao này ôm lấy thân khoáng được gọi là *vành phân tán nguyên sinh* – được thành tạo trong thời gian khoáng hóa chủ yếu bằng phương thức thẩm lọc, là dấu hiệu tìm kiếm rất quan trọng của các mỏ nhiệt dịch.

**Quá trình trao đổi - thay thế**

Quá trình thay thế trao đổi xảy ra đồng thời theo hai hướng – biến đổi đá vây quanh và lắng

động quặng. Quá trình này thường diễn tiến theo từng đợt hoạt động của các dung dịch nhiệt dịch, quyết định tính giai đoạn của quặng hóa. Quặng chi tập trung ở những vỉa, những tầng đá thuận lợi (thay thế trao đổi lựa chọn). Các dạng thay thế trao đổi nhiệt dịch để lại các sản phẩm đặc trưng như microclin hóa, albit hóa, sericit hóa, chlorit hóa, thạch anh hóa, carbonat hóa, pyrit hóa, v.v... Đây là các hiện tượng biến đổi đá vây quanh các thân khoáng nhiệt dịch và được sử dụng làm dấu hiệu tìm kiếm có giá trị.

**Điều kiện thành tạo mỏ nhiệt dịch**

Khoảng hóa nhiệt dịch có thể bắt đầu từ khoảng nhiệt độ gần 600°C rồi giảm dần cho đến 50° - 25°C. Song sự khoáng hóa nhiều nhất xảy ra trong khoảng 400°C - 100°C. Dựa vào tiêu chuẩn này, các kiểu mỏ được phân định – mỏ nhiệt dịch nhiệt độ cao, thành tạo trong khoảng 400°C - 300°C; mỏ nhiệt dịch nhiệt độ trung bình, thành tạo trong khoảng 300°C - 200°C; mỏ nhiệt dịch nhiệt độ thấp, thành tạo trong khoảng < 200°C.

Áp suất tương ứng với độ sâu thành tạo mỏ, khoáng hóa nhiệt dịch có thể xảy ra ở khoảng độ sâu rất khác nhau, từ gần mặt đất cho đến độ sâu 15km. Từ đó, có 2 nhóm mỏ được phân định – mỏ nhiệt dịch sâu và mỏ nhiệt dịch nông (hay nhiệt dịch phun trào).

Sự thay đổi chế độ lưu huỳnh, oxy và hành vi địa hóa của các nguyên tố kim loại sẽ quyết định sự lắng đọng hoặc hòa tan các hợp chất của chúng. Các kim loại có ái lực khác nhau đối với lưu huỳnh và oxy, tạo nên các trường bền vững của các sulfur và các oxid kim loại, ứng với các khoáng nhiệt độ và áp suất thành tạo.

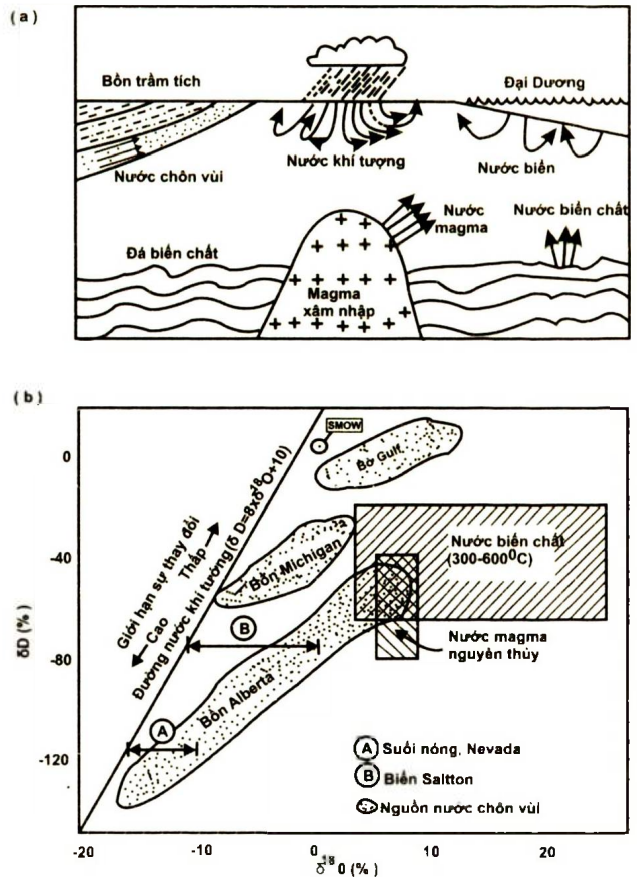
Mỏ nhiệt dịch liên quan với thành tạo xâm nhập – phổ biến nhất là các các đá granitoid, (những mỏ này được xếp thành nhóm mỏ nhiệt dịch sâu) và với các thể phun trào (những mỏ này được xếp thành nhóm mỏ nhiệt dịch - phun trào). Có thể gặp 4 kiểu liên quan sau đây: liên quan nguồn gốc, liên quan cộng sinh, liên quan ngẫu nhiên về không gian hoặc thời gian và không liên quan. Liên quan về nguồn gốc với các thể xâm nhập lớn (thể batolit) thành phần granitoid, các mỏ nhiệt dịch greisen nằm ở đới tiếp xúc trong và tiếp xúc ngoài và các mỏ nhiệt dịch khác sắp xếp chung quanh khối theo chiều giảm nhiệt độ thành tạo.

Tính phân đới nguyên sinh của một vùng quặng, một mỏ và của một thân quặng được quyết định bởi sự thay đổi có qui luật về thành phần khoáng vật, thành phần hóa học trong phạm vi các diện tích chứa quặng đó. Có thể theo dõi tính phân đới này theo ca chiều nằm ngang lẫn chiều thẳng đứng. Việc giải thích được tính phân đới rất có ý nghĩa đối với nghiên cứu nguồn gốc mỏ, đồng thời giúp ích rất nhiều cho công tác tìm kiếm, thăm dò và khai thác mỏ.

**Các kiểu mỏ nhiệt dịch**

**Mỏ nhiệt dịch sâu**

Liên quan với các đá xâm nhập thành phần acid, acid vừa và kiềm vừa, thành tạo ở độ sâu 1 - 5km (nhiệt độ ban đầu khoảng 500°C) bộ phận quặng chủ yếu lắng đọng ở khoảng 400°C - 300°C, cuối quá trình nhiệt độ giảm thấp dưới 100°C, có các mỏ – mỏ albit - greisen (albit hóa và greisen hóa, thành tạo quặng W, Sn, Be, Mo, Ta, Nb, Zr, đất hiếm và một số nguyên tố hiếm khác); mỏ quặng có thạch anh cộng sinh (với các kiểu quặng – thạch anh - vàng, thạch anh - arsenopyrit - vàng, thạch anh - pyrit - vàng, thạch anh - casiterit, thạch anh - molybdenit, thạch anh - sulfur đa kim, thạch anh - uraninit); mỏ quặng có sulfur cộng sinh (với các kiểu quặng: galenit - sphalerit - chalcopyrit - pyrit, galenit - sphalerit - pyrit - baryt, sulfur - nasturan, 5 nguyên tố (Co - Ni - Bi - Ag - U), arsenopyrit, casiterit - sulfur, vàng - antimonit); các mỏ quặng có carbonat cộng sinh (với các kiểu quặng siderit, rodocrosit, magnesit, calcit, tremolit, talc).



**Hình 10.** a- Các nguồn nước của dung dịch nhiệt dịch; b-Tỷ số đồng vị oxy và hydro nặng ứng với các kiểu nguồn nước khác nhau (theo Taylor, 1997).

**Mỏ nhiệt dịch phun trào**

Mỏ nhiệt dịch phun trào liên quan chủ yếu với các thành tạo núi lửa (tuồng hợng) thành phần andesit - dacit, thành tạo ở gần mặt đất (sâu từ vài chục mét đến vài trăm mét, có khi tới 1 - 2km) trong

điều kiện nhiệt độ và áp suất giảm đột ngột, thế năng oxy tăng nhanh. Nhiệt độ ban đầu của quá trình tạo quặng có thể cao (gần 500°C), nhưng sẽ giảm rất nhanh đến 200 - 100°C và thấp hơn nữa. Biến đổi đá vây quanh thường là thạch anh hóa, propylit hóa, alunit hóa, kaolinit hóa. Thân quặng thường có dạng mạch, ống, bấu kích thước không lớn và thường bị vát nhọn ở sâu. Bao gồm: các mỏ thuộc kiểu quặng đa kim chứa vàng, bạc nằm trùng với đai núi lửa (thành phần khoáng vật có thạch anh, chalcedon, opal, adular, carbonat với pyrit, marcasit, chalcopyrit, galenit, sphalerit, argentit, stephanit, polybasit, vàng, bạc, và các khoáng vật hiếm khác); các mỏ thuộc kiểu quặng vàng, bạc với telurur và selenur nằm trong các đá phun trào bị propylit hóa (thành phần khoáng vật có pyrit, marcasit, stibinit, argentit, pyrargyrit, polybasit, selenur, thạch anh, chalcedon, adular, fluorit và calcit); các mỏ thuộc kiểu quặng casiterit - wolframit - bismutin - argentit nằm trong các nham cán núi lửa thành phần acid (thành phần khoáng vật còn có pyrit, pyrrhotin, pyrargyrit, chalcopyrit, stannin và các sulfur khác); các mỏ thuộc kiểu quặng chalcopyrit - enargit - chalcocin (đôi khi có molybdenit, tourmalin); các mỏ thuộc kiểu quặng molybdenit - fluorit - nasturan liên quan với các đá phun trào andesit và trachyt; các mỏ thủy ngân thuộc kiểu quặng cinnabar (có chứa arsen), quặng gặp dưới dạng xâm tán nằm dọc theo các khe nứt trong các đá phun trào bị thạch anh hóa, alunit hóa, sericit hóa.

#### Mỏ sulfur pyrit

Loại mỏ sulfur pyrit trước đây trong các văn liệu địa chất tiếng Việt thường gọi là mỏ conchedan (phiên âm từ tiếng Nga - колчедан). Chúng liên quan mật thiết với các thể phun trào dưới nước (loại basalt - liparit) của đai ophiolit hoặc đai đá lục. Mỏ thuộc loại nhiệt dịch phun trào và trầm tích - phun trào (có thể xem là loại mỏ trung gian giữa mỏ nội sinh và mỏ ngoại sinh). Thành phần quặng sulfur chủ yếu gồm pyrit, pyrrhotin, đôi khi có marcasit, chalcopyrit, bornit, sphalerit, galenit, quặng đồng xám, v.v...; khoáng vật phi quặng có baryt, thạch anh, carbonat, thạch cao, anhydrit, sericit, chlorit, v.v...; cấu tạo khối trạng, xâm nhiễm, keo; biến đổi đá vây quanh - propylit hóa, chlorit hóa, sericit hóa, thạch anh hóa, pyrit hóa; khoáng sản chính có pyrit dùng để lấy lưu huỳnh, sulfur đồng - pyrit dùng để lấy đồng và lưu huỳnh, sulfur đa kim - pyrit để lấy Zn, Pb, Cu và cả lưu huỳnh; khoáng sản đi kèm có baryt, Au, Ag, đôi khi có Bi, As, Cd, Se, Te. Mỏ thành tạo trong các rift nội lục, các đai vòng cung đảo, nơi phát triển các đá phun trào có thành phần từ mafic đến acid.

Mỏ thành tạo trong các rift nội lục, các đai vòng cung đảo, nơi phổ biến đá phun trào thành phần từ mafic đến acid. Pyrit chủ yếu lắng đọng theo

phương thức thay thế trao đổi do dung dịch nhiệt dịch và trầm tích - phun trào; độ sâu thành tạo từ 500 - 700m đến đáy biển; nhiệt độ thành tạo 300°C - 200°C và thấp hơn.

#### Mỏ viễn nhiệt (mỏ "phi magma" hoặc "mỏ dạng tầng")

Mỏ viễn nhiệt thường phân bố trên các diện tích phổ biến đá trầm tích, nơi mà các hoạt động của đá magma hoàn toàn vắng mặt (điển hình là các vỉa quặng đồng trong đá phiến - cát kết và quặng chì - kẽm trong đá carbonat). Mỏ quặng được thành tạo trong quá trình lịch sử và khá phức tạp, thoát đầu mỏ có nguồn gốc trầm tích đồng sinh, sau đó có sự tham gia của quá trình hậu sinh - do tác dụng của nước ngầm, do hoạt động nhiệt dịch hoặc biến chất tạo nên. Khoáng sản gồm kiểu quặng bornit - chalcopyrit (cát kết ngầm đồng); kiểu quặng galenit-sphalerit (mỏ chì kẽm trong đá carbonat); kiểu quặng antimonit và cinnabar; kiểu quặng realgar-orpiment.

#### Mỏ nhiệt dịch ở Việt Nam

Ở Việt Nam nhóm mỏ nhiệt dịch là phổ biến nhất. Các kiểu quặng có giá trị gồm *thạch anh - casiterit - wolframit* [các mỏ Tinh Túc (Cao Bằng), Thiện Kế, Đà Liên (Tam Đảo), Bù Me, Thường Xuân (Thanh Hóa)], *Đa Chay (Lâm Đồng); silicat - casiterit* (các mỏ vùng Tam Đảo và Quý Hợp ở tỉnh Nghệ An, Đà Lạt, tỉnh Lâm Đồng); *sulfur - casiterit* [các biểu hiện quặng ở vùng Quý Hợp (Nghệ An), vùng Tam Đảo, Tinh Túc (Cao Bằng), Ngân Sơn (Bắc Kạn), v.v...]; *chalcopyrit - pyrrhotin - magnetit - orthit* (mỏ đồng Sin Quyển, Lào Cai); *sphalerit - galenit - pyrit - arsenopyrit* (các mỏ Chợ Diên, Ngân Sơn, Chợ Đồn thuộc tỉnh Bắc Kạn); *sphalerit - galenit trong đá carbonat* [các mỏ Lang Hít (Thái Nguyên), Tân Trào (Tuyên Quang), Quan Sơn (Thanh Hóa), Mỹ Đức (Quảng Bình)]; *galenit - sphalerit - bulangerit giàu bạc trong đá phun trào* (các mỏ đa kim ở vùng Tú Lệ, Na Sơn (Hà Giang)); *thạch anh - sulfur - vàng* (các mỏ vàng Pắc Lang, tỉnh Bắc Kạn; Bông Miêu, tỉnh Quảng Nam; Trà Năng, tỉnh Lâm Đồng); *thạch anh - antimonit* [các mỏ và biểu hiện thân quặng ở vùng Chiêm Hóa (Tuyên Quang), Bá Thước (Thanh Hóa), Tân Mai (Quảng Ninh)]; *calcit - thân sa* [các mỏ và diềm quặng Hoàn Bồ (Quảng Ninh), Suối Giàng (Yên Bái)]; ngoài ra, còn gặp các kiểu quặng *thạch anh - molybdenit* (Châu Đốc, An Giang); *molybdenit - uraninit* ở Lào Cai, và Tú Lệ (Yên Bái); *đồng trong cát kết* (Biên Động, Bắc Giang).

#### Tài liệu tham khảo

Guilbert John M., Park Charles F., Jr., 1986. The Geology of Ore Deposits. ISBN 0-7167-1456-6. W.H. Freeman and Company. 985 pgs. New York.

- Laurence Robb., 2005. Introduction to Ore-Forming Processes. *Blackwell Publishing*. 374 pgs. United Kingdom.
- Mead Jensen L., Bateman Alan M., 1981. Economic Mineral Deposits (Third Edition). *John Wiley & Sons*. 268 pgs. Toronto. Canada.
- Nguyễn Văn Chũ (Chủ biên), Tô Linh, Vũ Chí Hiếu, Vũ Ngọc Hải, 1986. Địa chất khoáng sản. Tập I. *NXB Đại học và Trung học chuyên nghiệp*. 187 tr. Hà Nội.
- Nguyễn Văn Chũ (Chủ biên), Tô Linh, Vũ Chí Hiếu, Vũ Ngọc Hải, 1987. Địa chất khoáng sản. Tập II. *NXB Đại học và Trung học chuyên nghiệp*. 182 tr. Hà Nội.
- Trần Văn Trị & Vũ Khúc (Đồng chủ biên), 2009. Địa chất và Tài nguyên Việt Nam. *NXB Khoa học tự nhiên và Công nghệ*. 589 tr. Hà Nội.
- Смирнов В.И., 1982. Геология полезных ископаемых. 4-е изд., перераб и доп. "Недра". 669 стр. Москва.