Mỏ nguồn gốc magma

Vũ Chí Hiếu- Khoa Địa chất
ĐH Khoa học tự nhiên, ĐHQG TP Hồ Chí Minh.
Nguyễn Quang Luật - Bộ môn Khoáng sản
Khoa Địa chất, ĐH Mỏ-Địa chất Hà Nội.

1. Khái niệm

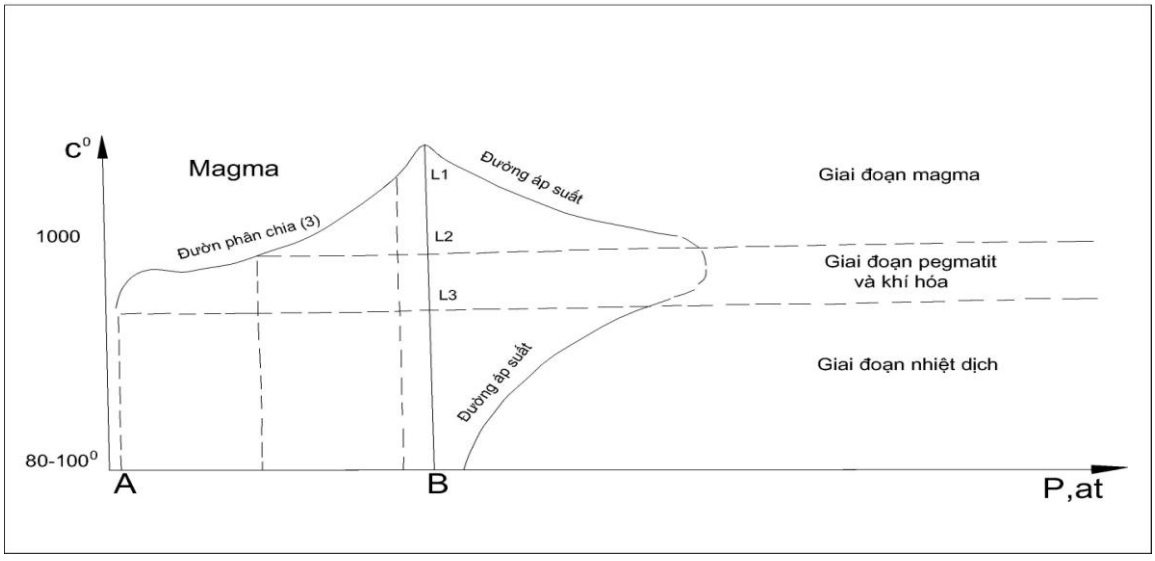
Các mỏ khoáng nguồn gốc magma có liên quan chặt chẽ với các hoạt động macma, với sự mang năng lượng và vật chất từ những phần sâu của vỏ trái đất, từ manti tới. Sự hình thành của magma, sự xuyên lên những phần trên của vỏ trái đất và kết tinh của chúng, những hoạt động có quan hệ với các dung dịch hình thành sau khi magma đã kết tinh diễn ra rất phức tạp 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.

Macma 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, axit, silic, oxit, kim loại, các chất bốc,…có nhiệt độ từ 600-700^{o}C (magma granit) đến 1000-1200^{o}C (magma bazan), 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 magma

Tiến trình magma gồm ba giai đoạn chính: *giai đoạn magma* (hay giai đoạn magma chính cống) ; *giai đoạn pecmatit* ; *giai đoạn nhiệt dịch* hậu magma. 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 pecmatit, mỏ nhiệt dịch …).



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, pecmatit, nhiệt dịch. A-Chất dễ bốc (nước) ; B-Chất khó bốc (silicat) (theo P.Niggli).

Có nhiều yếu tố ảnh hưởng đến sự phát triển của quá trình magma: độ sâu của lò magma ; hàm lượng ban đầu, đặc biệt là hàm lượng các chất bốc có tromg magma; mức kín – hở của hệ; độ thấm của đá vây quanh (điều kiện trầm tích và cấu trúc); hoạt động kiến tạo trước và trong quá trình macma. Do vậy, không phải bất kỳ một lò magma nào cũng có hoạt động với đầy đủ ba giai đoạn trên.

Mối liên quan giữa quặng hóa và magma

Nói chung các mỏ nguồn gốc magma đều có liên quan với thành tạo magma nhất định (với phức hệ magma, thậm chí với thể (khối) magma cụ thể). Nhưng không phải magma nào cũng sinh quặng. Xác lập mối liên quan này như là một 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 macma cần phải nghiên cứu "tính chuyên hóa địa hóa", "tính chuyên hóa sinh khoáng" của magma. Các tiêu chuẩn xác lập mối quan hệ này gồm: cấu trúc địa chất (tuổi, độ sâu thành, mức độ biến chất, không gian phân bố); khoáng thạch (nhóm đá, khoáng vật phụ, khoáng vật quặng, khoáng vật chứa chất bốc); địa hóa (các nguyên tố chỉ thị của đá, của khoáng vật màu và khoáng vật phụ, thành phần đồng vị).

Phân biệt: **-)** *Mối liên quan có tính chất nguồn gốc* (quan 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. **-)** *Mối liên quan có tính 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. **-)** *Mối liên quan về kiến trúc* khi có sự phân bố của các thành tạo magma và quặng trong cùng một cấu trúc địa chất nhưng không nhất thiết có quan hệ huyết thống với nhau. **-)** Việc xác lập sự *"vô sinh" - không có khả năng sinh quặng* của một thành tạo magma trong một khu vực nào đó cũng có ý nghĩa thực tiễn nhất định.

Các loại mỏ nguồn gốc magma: Dựa trên cơ sở nguồn gốc và điều kiện thành tạo, chia ra: *Mỏ magma thực sự: Mỏ pegmatit; Mỏ Cacbonatit; Mỏ Skac; Mỏ nhiệt dịch.*

2. 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 macma 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 thành phần vật chất. Các kiểu quặng: platin tự sinh; cromit (trong dunit, hacbuagit); titanomanhetit (liên quan với đá gabro); sunfua Cu-Ni (trong những đá gabroit giàu magie); kim cương (trong kimbeclit); apatit-manhetit (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 sunfua Cu –Ni: 1km). Nhiệt độ thành tạo: từ 1500^0C (ứng với nhiệt độ thành tạo của kim cương nhân tạo) đến 300^0C (ứng với nhiệt độ thành tạo của một số sunfua). Theo phương thức thành tạo, phân biệt: mỏ magma phân tụ và mỏ magma dung ly.

2.1.Mỏ magma phân tụ

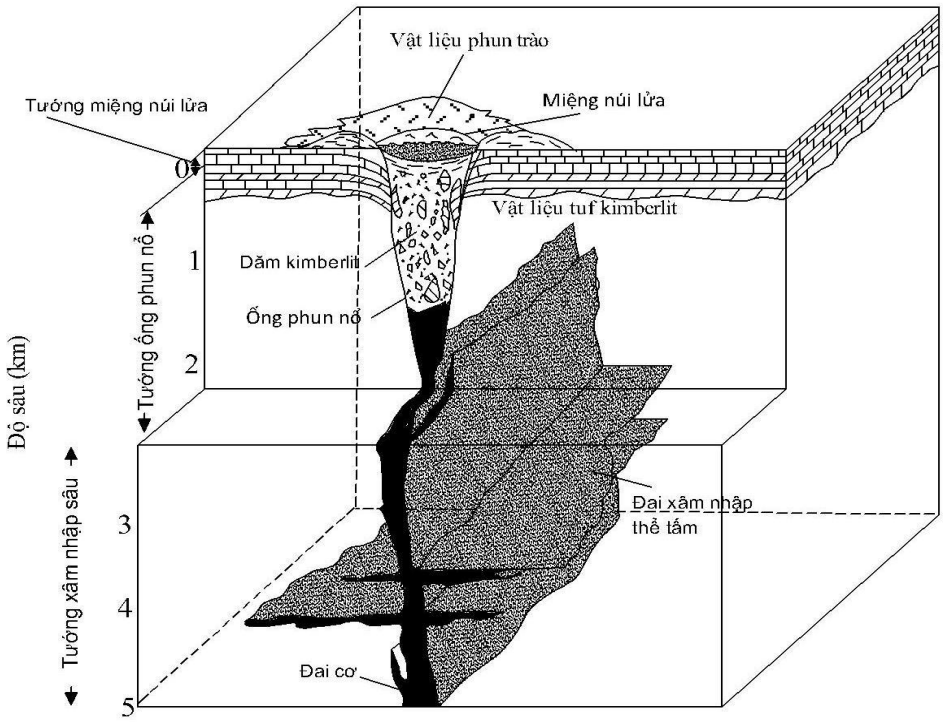
Mỏ magma phân tụ thành tạo do quá trình phân dị kết tinh (kết tinh phân đoạn) các macma siêu mafic. Các khoáng vật quặng được tách ra khá sớm trong quá trình nguội lạnh của macma, cộng sinh với các khoáng vật tạo đá , tạo thành *mỏ magma sớm*; nếu tách ra sau các khoáng vật tạo đá, gọi là *mỏ magma muộn.*

Đặc điểm chung của mỏ macma sớm là: thân quặng có dạng vỉa bám đáy, bướu, ống, dị ly thể (thể slia) 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, đám xâm tán, kiến trúc hạt tha hình, điển hình là kiến trúc sideronit (khoáng vật quặng làm chất gắn kết các hạt khoáng vật tạo đá kết tinh trước).

Phương thức thành tạo: phân dị kết tinh. Theo mức độ nguội lạnh của macma, lần lượt các tinh thể được thành tạo tách khỏi pha lỏng (dung thể). Các tinh thể thành tạo sớm thường nặng và chìn 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 macma .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 macma sớm. Điển hình là mỏ kim cương (đi với kimbeclit) và mỏ cromit. 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 macma tạo thành dung thể quặng tàn dư. Từ dung thể quặng tàn dư này khi nguội lạnh sẽ tạo nên các mỏ macma muộn. Khoáng sản có giá trị: cromit, platinoit, titanomanhetit, aptit - manhetit 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 các đá kimbeclit , gặp ở vùng miền nền cổ bị hoạt động lại (nền Xibiri, nền Phi, nền Úc, nền Bắc Mỹ); cấu trúc thân khoáng dạng ống nổ rất đặc trưng.(gặp khoảng 1600 ống nổ kimbeclit, nhưng số đạt giá trị chỉ chiếm 1-3%)

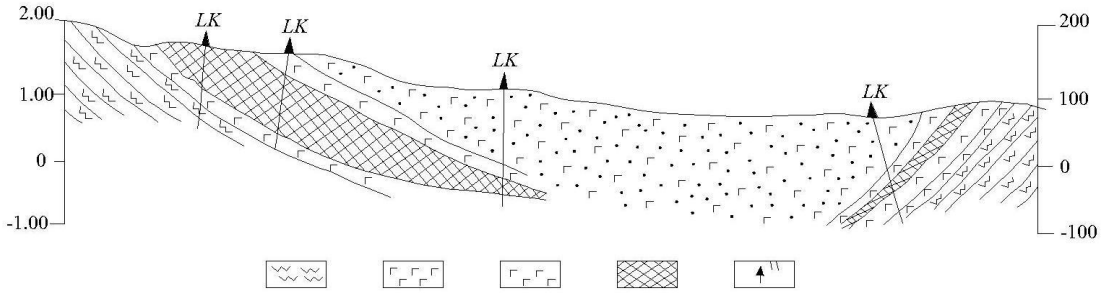


Hình 2. Bình đồ và mặt cắt ống nổ kimberlit

Ống nổ thường được lấp đầy bằng dăm kết phun trào, gắn kết bởi những kimbeclit với đá tù là những mảnh vụn của đá cùng họ (hipecbasit chứa olivin, đá phiến kết tinh nhóm eclogit), hoặc đá lạ (amfibolit, gơnai, cát kết, đá vôi, than). Thành phần khoáng vật nguyên sinh: olivin, ilmenit, kim cương, pirop, diopxit, cromit ; thứ sinh nguồn gốc tự biến chất, biến đổi nhiệt dịch: senpentin, clorit, canxit, pirotin. Về nguồn gốc kim cương có nhiều giả thiết: do magma kimbeclit đồng hóa đá chứa than; kim cương cùng với eclogit được kimbeclit thu hút từ phần sâu của vỏ Trái đất.; kim cương được kết tinh trong chính magma kimbeclit như khoáng vật tạo đá tự nhiên của nó.

Mỏ cromit: Khoáng vật cromit có thể được tách ra từ dung thể macma siêu mafic từ giai đoạn đầu, tạo nên quặng xâm tán – mỏ cromit macma sớm – kiến trúc hạt tự hình, các tinh thể crômit đạt kích thước lớn hơn 1mm) hoặc được tập trung vào cuối giai đoạn macma kết tinh - mỏ macma muộn với thân quặng dạng thấu kính, vỉa, mạch, quặng có cấu tạo dải, đốm, khối, kiến trúc hạt tha hình hoặc xi măng gắn kết.

Mỏ titan (gốc): Mỏ quặng titan - sắt macma muộn gồm các kiểu quặng ilmenit-manhetit, ilmenit - hematit, ilmenit, đôi khi rutin - ilmenit, liên quan chặt chẽ với đá mafic, siêu mafic tương đối giàu canxi. Quặng có cấu tạo khối, đốm, dài, xâm tán ; kiến trúc sideronit và đặc biệt là kiến trúc phân hủy dung dịch cứng rất phổ biến (dung dịch cứng titannomanhetit phân hủy thành ilmenit - manhetit). Thân quặng có dạng thấu kính, ổ, dạng slia, dạng mạch có ranh giới rõ ràng với đá macma mẹ; vị trí và hình thái thân quặng được khống chế bởi các yếu tố macma nguyên thủy (đồng macma) - sự phân lớp macma của các đá trong quá trình kết tinh của chúng; các thân quặng nằm khá chỉnh hợp với các yếu tố phân lớp macma nhưng thường bị dịch chuyển do các đoạn tầng xảy ra muộn hơn.



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

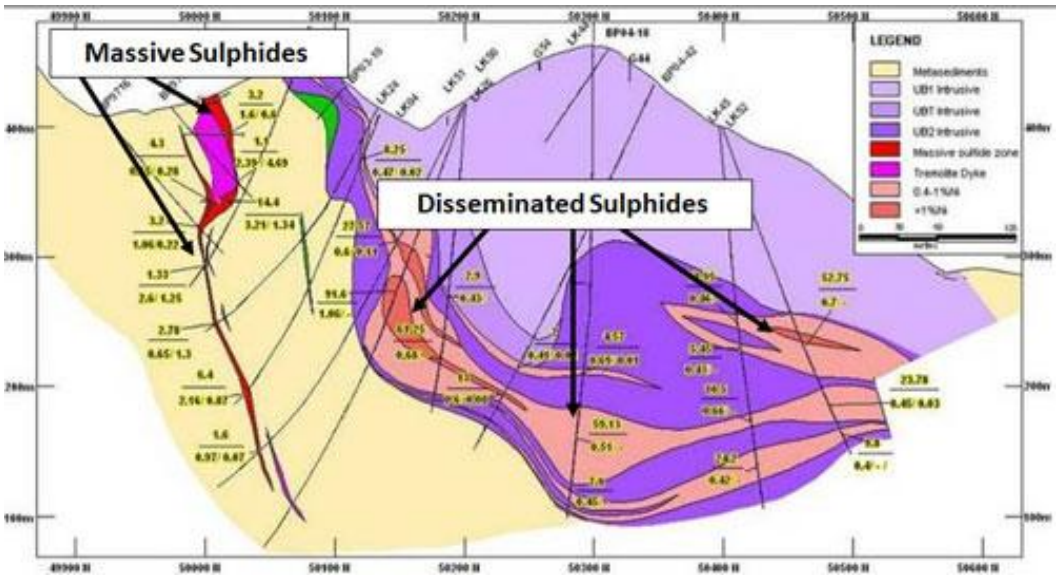
Mỏ apatit-manhetit, apatit, đất hiếm: Các mỏ này là chỉ liên quan về nguồn gốc với các đá kiềm. Thành phần quặng chủ yếu gồm manhetit, apatit (từ 25 -75%) trong tập hợp với nefelin, hocblen, sfen, titanomanhetit; các khoáng vật chứa Ti, Nb, Zr, TR trong tập hợp với các khoáng vật tạo đá kiềm .Thân quặng dạng mạch và thấu kính, thường nằm ở nơi tiếp xúc hoặc giữa các loại đá kiềm tướng sâu vừa; vị trí thân quặng được khống chế bởi các đới xung yếu kiến tạo, bề mặt tiếp xúc của các xâm nhập vỉa có tuổi khác nhau.

2.2.Mỏ macma dung ly

*Phương thức thành tạo**:** dung ly*. Đó là sự tách ra của một bộ phận macma giàu sunfua kim loại khỏi dung thể silicat, ngay trong trạng thái lỏng. Ở nhiệt độ cao, macma thành phần mafic và siêu mafic có thể trộn lẫn với dung thể sunfua (chù yếu là các sunfua Fe, Cu, Ni,). Khi giảm nhiệt độ, do nguội lạnh không đồng đều, do trọng lực,…hai bộ phận dung thể này tách khỏi nhau vì mất khả năng trộn lẫn – dung thể sunfua 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 macma dung ly liên quan với xâm nhập sâu vừa của macma gabroit (phổ biến là loại thể chậu).

Mỏ sunfur Cu – Ni. Thân quặng xâm nhiễm kiểu vỉa treo, vỉa 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 sunfua tiêm nhập vào đá mái theo đứt gãy). Thành phần khoáng vật quặng chủ yếu: pirotin, pentlandit, chancopirit và một ít manhetit; thứ yếu: Au, Pt, Pb, sperilit, bocnit, chancosin, pirit, titanomanhetit, inmenit.. Cấu tạo quặng: khối trạng, dải, dăm kết, mạch mỏng – xâm nhiễm và xâm nhiễm. Kiến trúc quặng: kiến trúc hạt, pocfia, phân hủy dung dịch cứng.



Hình 4. Mặt cắt địa chất mỏ niken Bản Phúc, Sơn La

(Ghi chú: Massive Sulphides: Sulphua đặc sit; Disseminated Sulphides: Sulphua xâm tán)

3. Mỏ pegmatit

Pecmatit là những thành tạo macma 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 pecmatit 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 chia ra pecmatit granit, pecmatit kiềm, pecmatit mafic và siêu mafic, trong đó pecmatit granit là loại phổ biến và có giá trị nhất; các pecmatit khác ít gặp hơn và giá trị ít hơn). Trong pecmatit có thể tìm thấy những khoáng vật phát triển hoàn mỹ với kích thước rất lớn hoặc khổng lồ. Khoáng sản chính: 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 quí, đá quí.

3.1. Đặc điểm

- *Thành phần khoáng vật: Pecmatit granit*. Chứa gần 300 khoáng vật gồm các khoáng vật tạo đá của các đá macma axit, ố còn lại là khoáng vật phụ. Đặc điểm rất quan trọng là sự phổ biến các khoáng vật chứa các chất bốc (H_2 O, Cl, F, B, P, …) và các khoáng vật chứa nguyên tố hiếm và phóng xạ (muscovit, topa, berin, tuamalin, spodumen, fluorin, lepidolit, monazit, xenotim, piroclo, octit, columbit, tantalit, uraninit, casiterit, vonframit, molipđenit …*Pecmatit kiềm* (pecmatit sienit, pecmatit sienit nefelin). Cấu tạo từ microlin hoặc octocla, nefelin hoặc sodalit, egirin, natrolit, acvetsonit lẫn với một số lượng nhỏ apatit, ananxim và một số khoáng vật chúa Zr, Ta, Nb, TR. *Pecmatit mafic và siêu mafic* (pecmatit gabro, pecmatit bronsitit, …).

- *Kiến trúc, cấu tạo:* Thường gặp các kiến trúc hạt kết tinh giống kiến trúc của đá mẹ; kiến trúc dạng sơ đồ (kiến trúc grafic, mọc xen, vân chữ) rất điển hình cho pecmatit. Cấu tạo thường gặp: khối, dải, vân chữ.

- *Thân khoáng:* Thường phân bố ở phần vòm hoặc rìa các thể xâm nhập. Những thân pecmatit cổ (tuổi Tiềm Cambri) nằm trong các đới migmatit thuộc phức hệ biến chất cổ. Hình thái: mạch, thấu kính, bướu, ổ, ống, dạng xâu chuỗi và thường phân nhánh phức tạp, ranh giới rõ ràng (pecmatit hậu sinh), hoặc có quan hệ chuyển tiếp (pecmatit dạng slia nằm trong khối đá mẹ). Thân khoáng thường có cấu trúc phân đới với mức độ phức tạp khác nhau.

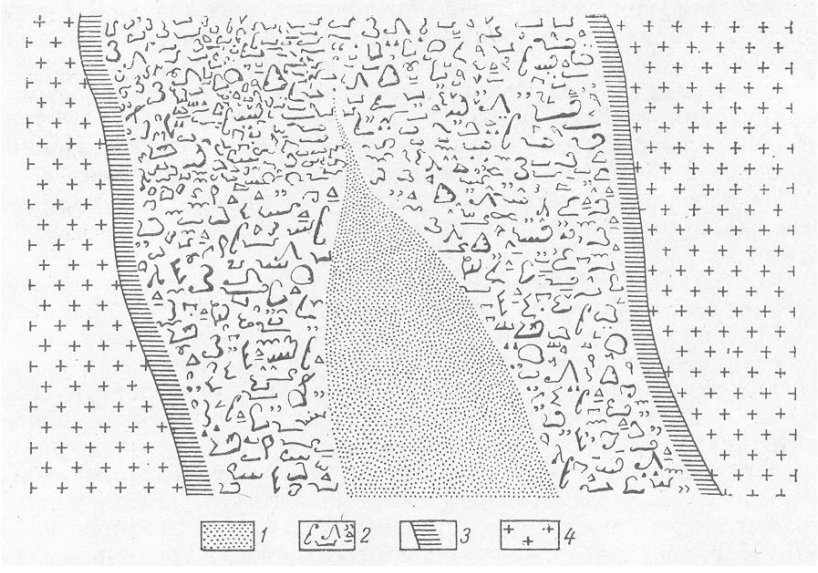
3.2. Quá trình thành tạo pegmatit

Pegmatit thành tạo từ *dung thể macma tàn dư* - hình thành trong khi nguội lạnh, chứa hầu như toàn bộ các thành phần bốc ở thể khí của macma (chủ yếu là nước, ngoài ra còn CO_2, HCl, CO, H_2 S, H_3 PO_4, H_3 BO_3, SO_2, HF, CH_4, N_2, S,) - 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 tạo thành những tinh thể lớn. Quá trình này diễn ra trong hệ hóa – lý đóng kín, trải qua nhiều pha và 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 pecmatit 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 pecmatit tại các đới xung yếu trong các khối magma mẹ. *Nhiệt độ thành tạo:* từ 600 - 700^{0}C đến 200^{0}C. *Độ sâu thành tạo:* từ 2 - 3km đến 8 - 9km.

3.3. Các kiểu mỏ pecmatit

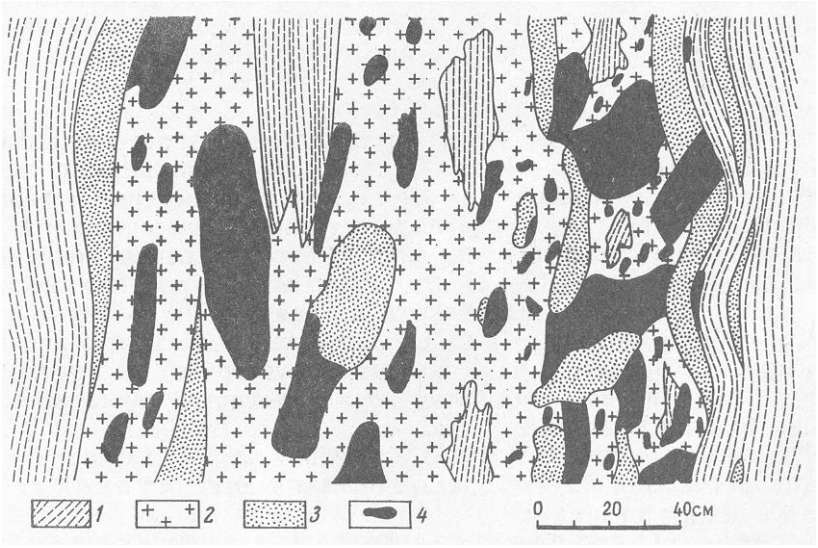
Dựa trên đặc điểm và phương thức thành tạo, chia ra:

- *Pegmatit đơn giản:* Có thành phần hóa học và khoáng vật tương tự đá mẹ. (ví dụ: pecmatit granit với khoáng vật chủ yếu là fenspat kali và thạch anh, khoáng vật phụ như muscovit, tuamalin, granat); thân có kích thước không lớn, độc lập hoặc nằm trong thành phần của trường pecmatit phức tạp; cấu trúc thân đơn giản với 2 đới chính là đới pecmatit 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 (fenpat).



Hình 5: Lát cắt pecmatit đơn giản
1-Nhân thạch anh; 2-Pecmatit kiến trúc vân chữ; 3-Riềm mica; 4-Granit

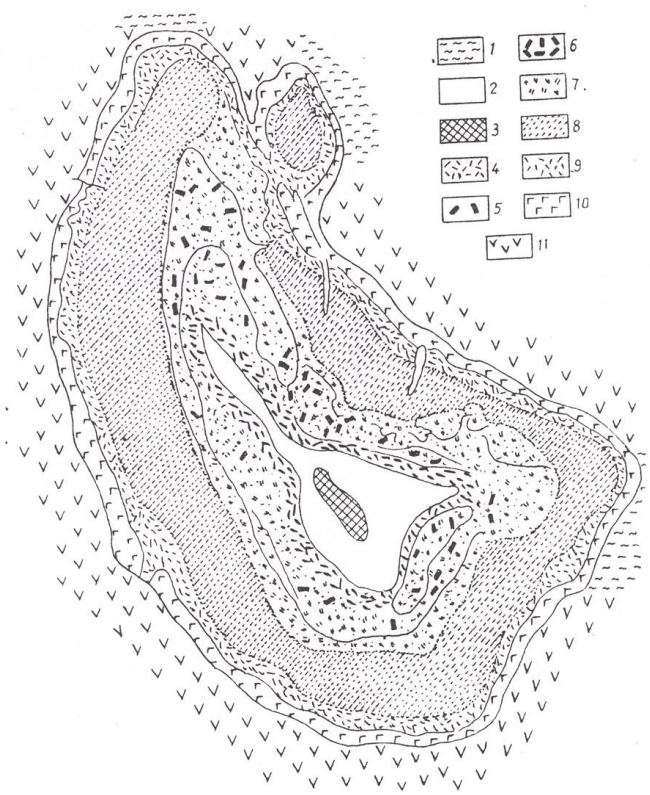
- *Pecmatit tái kết tinh:*đặc trưng bởi kiến trúc hạt kết tinh lớn và khổng lồ, hình thành do kết tinh và tái kết tinh vật chất dưới ảnh hưởng của dung dịch khí-lỏng; khoáng sản: muscovit (là nguồn duy nhất có kích thước > 4cm^2), fenspat, thạch anh.



Hình 6. Lát cắt qua thân pecmatit tái kết tinh chứa mica (theo G. Kulesov)
1-Gneis; 2-Pecmatit hạt vừa; 3-Thạch anh; 4-Mutscovit

-*Pecmatit thay đổi thay thế*: 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, anpit, thạch anh, muscovit và nhiều khoáng vật chứa kim loại hiếm, đất hiếm, các loại ngọc quí; khoáng sản: thạch anh tinh thể, fluorin quang học, đá quí, quặng Li, Be, Rb, Cs, đôi khi Th, U, Nb, Ta, đất hiếm, Sn, W.

-*Pecmatit khử silit*: thành tạo do trao đổi chất giữa pecmatit granit với các đá vây quanh là cacbonat (đá vôi, đolomit), đá mafic. Do nhả bớt SiO_2 làm cho độ bazơ của pecmatit tăng lên, fenspat kali bị thay thế bằng plagioclas (chủ yếu là oligoclas, anoctit) một số phân tử Al_2O_3 được giải phóng khỏi alumosilicat, tạo thành corindon (hàm lượng corinđon khai thác trong plagiogranit là >40%).



Hình 7. *Lát cắt qua thân pecmatit thay thế trao đổi (theo N.Xolođov):*
1-Lớp phủ;2-10 Các đới: 2-Đới thạch anh khối; 3-Đới microclin hạt lớn; 4-Đới albit tấm nhỏ; 5-Đới thạch anh-spođumen; 6-Đới clevelandit-spođumen; 7-Đới thạch anh-mutscovit; 8-Đới microclin khối lớn; 9-Đới albit hạt nhỏ; 10-Đới thạch anh-microclin vân chữ (có chỗ bị albit hoá mạnh); 11-Đá vây quanh.

Ở Việt Nam, Các thành tạo pecmatit phân bố khá rộng rãi trên lãnh thổ Việt nam. Các trường pecmatit kéo dài thành dải phù hợp với phương cấu tạo địa chất từng khu vực. -*)* Dải pecmatit chứa mica và thạch anh, fenspat, có triển vọng về nguyên liệu sứ gồm và mica, kéo dài dọc theo tả ngạn sông Hồng từ Lào Cai đến Việt Trì gồm nhiều trường pecmatit khác nhau, nằm trong hệ tầng biến chất Tiền Cambri (hệ tầng sông Hồng). -*)* Trường pecmatit chứa mica và thạch anh –fenspat

Thạch Khoán (Phú Thọ) với gần 300 thân khoáng nằm trong hệ tầng đá biến chất Thạch Khoán (tuổi tiền Cambri). -) Trường pecmatit Thường Xuân (tây Thanh Hóa) với các thân nằm trong granit, khoáng sản gồm nguyên liệu sứ, thạch anh áp điện và quang học. -) Trường pecmatit Kim Cương (tây Nghệ Tĩnh) kéo dài dọc theo biên giới Việt –Lào, thuộc loại pecmatit chứa kim loại hiếm. -) Pecmatit ở miền Nam Việt Nam gặp ở vùng Quế Sơn,Đại Lộc (Quãng Nam) (giầu muscovite); vùng Cannac với những thấu kính pecmatit nằm trong hệ tầng biến chất cùng tên, chứa độ phóng xạ cao; vùng Đắc Tô –Tân Cảnh, gặp pecmatit chứa fluorin, thạch anh quang học.

4. Mỏ cacbonatit

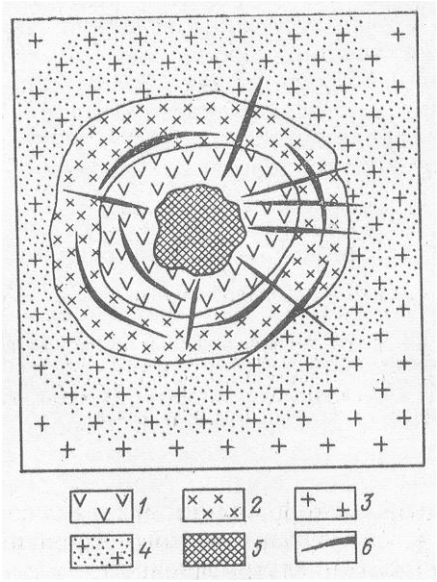
Cacbonatit là những thành tạo nguồn gốc macma có thành phần chủ yếu là canxit, đolomit và những cabonat khác (ankerit, siderit,…), liên quan về không gian và nguồn gốc với các xâm nhập phức tạp có thành phần siêu mafic - kiềm. Khoáng sản liên quan gồm: niobi, tantan, đất hiếm (TR), ziriconi, srtonti, titan, apatit, flogobpit, vecmicuclit, fluorin,...

4.1. Đặc điểm

- *Thành phần khoáng vật:* Khoáng vật chủ yếu tạo cacbonatit là canxit, ¸dolomit, ankerit (chiếm 80-99% khối lượng thân khoáng); rất nhiều khoáng vật phụ: apatit, flogopit, manhetit, piroclo, badelit, basnesit, parisit, cacbosenait…, 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, cấu tạo:* thường có kiến trúc hạt với kích thước khác nhau , đôi khi gặp kiến trúc porfia ; cấu tạo khối , xâm tán, đốm, dải, lớp, dăm kết, lấp đầy.

- *Thân khoáng:* thể ống, thể bướu hoặc thể cán, mạch, đaicơ 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 , cacbonatit chiếm vị trí n hân 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).



Hình 8. *Sơ đồ cấu trúc đồng tâm của mỏ cacbonatit 1-Đá kiềm; 2-Đá siêu bazơ; 3-Gneis; 4-Fenit; 5-cacbonatit thể bướu; 6-Các mạch cacbonatit.*

4.2. Quá trình thành tạo mỏ cacbonatit

Cacbonatit thuộc loại thành tạo đa nguồn gốc, thành tạo do phương thức kết tinh và trao đổi thay thế. Có thể một bộ phân cacbonatit sớm được hình thành từ dung thể nguội lạnh, còn bộ phận cacbonatit muộn nằm chồng gối lên cacbonatit sớm thành tạo do hoạt động của tác nhân khí – lỏng đưa tới được tách ra từ dung thể macma siêu bazơ –kiềm.

Các giai đoạn tạo khoáng: Tiến trình gồm nhiều giai đoạn: **-)** Giai đoạn cacbonatit sớm (giai đoạn I) thành tạo cacbonatit canxit, cacbonatit canxit – augit - diopxit, cacbonatit canxit - fosterit với thành phần khoáng vật chủ yếu là: canxit 30 - 70%; augit, diopxit hoặc fosterit 20 - 50%; biotit hoặc flogopit chứa sắt 5 - 20%, apatit 3 - 20% và manhetit 1 - 10%. Khoáng vật phụ: nhóm peropxkit (disanalit) và canzirilit. **-)** Giai đoạn cacbonatit canxit (giai đoạn II hoặc cacbonatit canxit giữa) thành tạo cacbonatit canxit đơn khoáng, cacbonatit - diopxit, cacbonatit

canxit - fosterit, cacbonatit canxit - flogopit. Lượng khoáng vật sẫm màu giảm đi (< 10 – 30%), diopxit thay cho augit - diopxit, flogopit thay cho biotit. Khoáng vật phụ ngoài những khoáng vật của Ti, Zr (như zirikelit, badeleit) còn có những khoáng vật của Ta, Nb, U, Y (piroclo, gatchetolit). -**)** Giai đoạn cacbonatit canxit muộn và dolomit (giai đoạn III) thành tạo những cacbonatit canxit - amfibol, cacbonatit dolomit - amfibol, cacbonatit dolomit - flogopit, cacbonatit dolomit . Xuất hiện các khoáng vật amfibol kiềm, serpentin, talc và xuất hiện dolomite. Các khoáng vật phụ gồm chondrodit, manhetit, ilmenit, apatit, pirit, sfen, rutin, esinit, lindokit, ziricon, berbankit. -**)** Giai đoạn cacbonatit dolomit muộn và ankerit (giai đoạn IV) thành tạo cacbonatit ankerit - amfibol, cacbonatit ankerit - anbit, cacbonatit ankerit. Lượng cacbonat 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 fluorin, pirit, galenit, molipdenit, sfalerit, ngoài ra còn barit, rutin, anata, rất phổ biến các khoáng vật đất hiếm: parisit, basnesit, ankilit, kocdilit, lantanit, cacbosenait và các khoáng vật chứa Ta, Nb (columbit, piroclo, chứa stronti).

Độ sâu và nhiệt độ thành tạo: cacbonatit và phức hệ macma liên quan hình thành ở độ sâu từ 5 -10 km đến gần mặt đất. Một số khối "hở" 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 peropskit - titan - manhetit, flogopit và dolomit, canxit; ở độ sâu trung bình gặp thành hệ đá ijolit-menteigit với cacbonatit canxit; ở độ sâu nhỏ (á phun trào) phát triển các đá kiềm với những cacbnatit nhiều kiểu; và ứng với tướng phun trào (dung nham kiềm và tuf), với khoáng hóa apatit – barit. Nhiệt độ thành tạo: trong khoảng từ 600^0C đến 100^0C.

4.3. Các kiểu quặng

Theo thành phần k hoáng sản được tập trung trong cacbonatit , phân biệt các kiểu: *Cacbonatit – gatchetolit – piroclo* với hàm lượng cao Nb $_2O_5$ UO_2 và UO_3; *Cacboanatit basnesit – parisit – monasi*t là nguồn cung cấp quạng đất hiếm quan trọng , đạc biệt là TR_{Ce}(đất hiếm nhóm xeri); *Cacbonatit apatit – manhetit* với hàm lượng cao Fe và P;. *Quặng peropskit – titanomanhetit* liên quan hybecbasit trong các mỏ cacbonatit ; *Cacbonatit flogopit:* tập trung mica trong đó chủ yếu là flogopit kích thước lớn ; *Cacbonatit fluorin; Cacbonatit sunfua* tạo thành các mỏ đồng, chì, kẽm**.**

5. Mỏ Skarn

(Thuật ngữ skarn được dùng đầu tiên vào năm 1880 là tên một mỏ sắt ở Thụy Điển)

5.1. Khái niệm

- Đá skarn: loại đá hình thành tạo do các phản ứng tiếp xúc trao đổi – thay thế (biến chất tiếp xúc – trao đổi) ở nhiệt độ cao giữa đá cacbonat (hoặc ít hơn, đá silicat) với các xâm nhập, dưới tác dụng trực tiếp của dung dịch nguồn gốc macma. *Thành phần khoáng vật* chủ yếu gồm silicat và alumosilicat Ca, Mg, Fe, tiêu biểu là piroxen, granat. *Thân skarn* thường phân bố ở đới tiếp xúc của thể xâm nhập với đá vây quanh (có thể phân biệt "skarn trong", "skarn ngoài" tùy theo vị trí tương đối với ranh giới khối xâm nhập). Phân biệt: *Skarn canxi* (thành tạo do skarn hóa các đá vôi, đá sét vôi, cát kết có xi măng là cacbonat Ca, đá tuf vôi); *Skarn magie* (đá vây quanh là đolomit, đá vôi đolomit và manhesit); *Skarn silicat* (đá vây quanh có thành phần silicat như cát kết, bột kết, các đá pocfiarit, anbitofia và tuf của chúng, các đá xâm nhập granođiorit, sienit). *Kiến trúc* thường gặp là hạt biến tính, pocfia biến tinh, khảm biến tính, tàn dư với những dấu hiệu của sự thay thế trao đổi.

- ***Mỏ skarn:*** được thành tạo ở giai đoạn sau macma 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, vonfram, đồng, chì, kẽm, vàng, bo, flogopit,…

5.2. Phương thức thành tạo

Skarn và mỏ skarn được thành tạo do tác dụng phối hợp của nhiệt xâm nhập và dung dịch khoáng hoá khí – lỏng nguồn gốc macma, diễn ra ở đới tiếp xúc của khối xâm nhập với đá cacbonat vây quanh. Quá trình này diễn ra trong hệ hoá 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* (D. Korjinxki, V. Jaricôv, L. Ovtsinicôv). 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 macma, lại đóng vai trò đặc biệt quan trọng.

5.3. Quá trình quặng hóa

Cần phân biệt tổ hợp khoáng vật tạo skarn và tổ hợp khoáng vật quặng và qua đó phân biệt thân skarn và thân quặng; không phải lúc nào quá trình skarn hóa cũng đều có quặng hóa kèm theo.

Có 2 kiểu nguồn gốc quặng hóa chính (dựa vào quan hệ về không gian và thời gian của skarn và quặng hóa) :

- *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 chổ thuận lợi trong thân skarn, thân quặng nằm trong thân skacrn nhưng không chiếm hoàn toàn thân skarn; quá trình này diễn ra ở giai đoạn sớm (kiềm sớm). Thuộc kiểu này có các mỏ phlôgôpit, mahetit, sunfua.

- *Kiểu quặng hóa nằm chồng:* 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 molipdenit – seelit, sunfur – seelit, sunfur đa kim, đồng, sunfur chứa vàng.

- *Kiểu quặng hóa đồng thời* (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 piroxen – granat). Thuộc loại này có mỏ manhetit, grafit với đặc điểm là thân quặng và thân skarn là một.

5.4. Điều kiện thành tạo

- *Độ sâu và nhiệt độ thành tạo:* phần lớn các mỏ skarn được phát hiện sinh thành ở độ sâu từ 1,5 – 2,0km đến 3 – 3,5km ứng với áp suất từ 450 đến 1000at. Nhiệt độ thành tạo: từ 800-900 (tạo THCS piroxen – granat, piroxen - eoidot) đến <100 (tạo THCS canxit – clorit, ze6olit). 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.

- *Liên quan với magma:* Skarn và mỏ skarn có quan hệ với những thành hệ macma xâm nhập có thành phần từ axit, trung tính đến kiềm, kiềm – siêu mafic và mafic – siêu mafic.Phần lớn các mỏ skarn liên quan với các đá granitoit như granit (nhưng có độ axit vừa và độ bazơ hơi cao, loại axit cao ít khi tạo được các mỏ kim loại), granođiorit, monozonit, điorit thạch anh,

granosienit. Mỏ skarn cũng khá phổ biến khi liên quan với các loại đá plagiogranit, plagiosienit – là những sản phẩm axit và kiềm của macma bazan.

- *Đá vây quanh* thuận lợi đối với quá trình skacnơ hóa là các trầm tích cacbonat, các thành tạo trầm tích núi lửa có chứa cacbonat (tuf vôi chẳng hạn); kém thuận lợi hơn là các đá trầm tích, trầm tích biến chất hoặc macma có thành phần silica

- *Cấu trúc địa chất:* 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 macma 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".

- *Hình thái thân quặng*: vỉa và dạng vỉa, thấu kính, bướu, ống, mạch và dạng mạch, ổ, thân có hình dáng phức tạp. 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 cacbonat vây quanh, tạo nên cột biến chất trao đổi.

Ở Việt Nam, các biểu hiện khoáng hóa skarn không nhiều, trong đó có một vài mỏ sắt có giá trị: Thạch Khê, Nà Lũng, Nà Rụa, Bản Chiềng,...

Mỏ sắt skarn Thạch Khê. Thân quặng có dạng thấu kính, vỉa phân nhánh, nằm trong đá skarn, đá sừng, đá cacbonat. Kiểu quặng mahetit, hemetit; Mỏ thuộc loại skarn magiê, sau đó bị biến cải bởi skarn canxi; kiểu quặng hóa sắt nằm chồng.

6. Mỏ nhiệt dịch

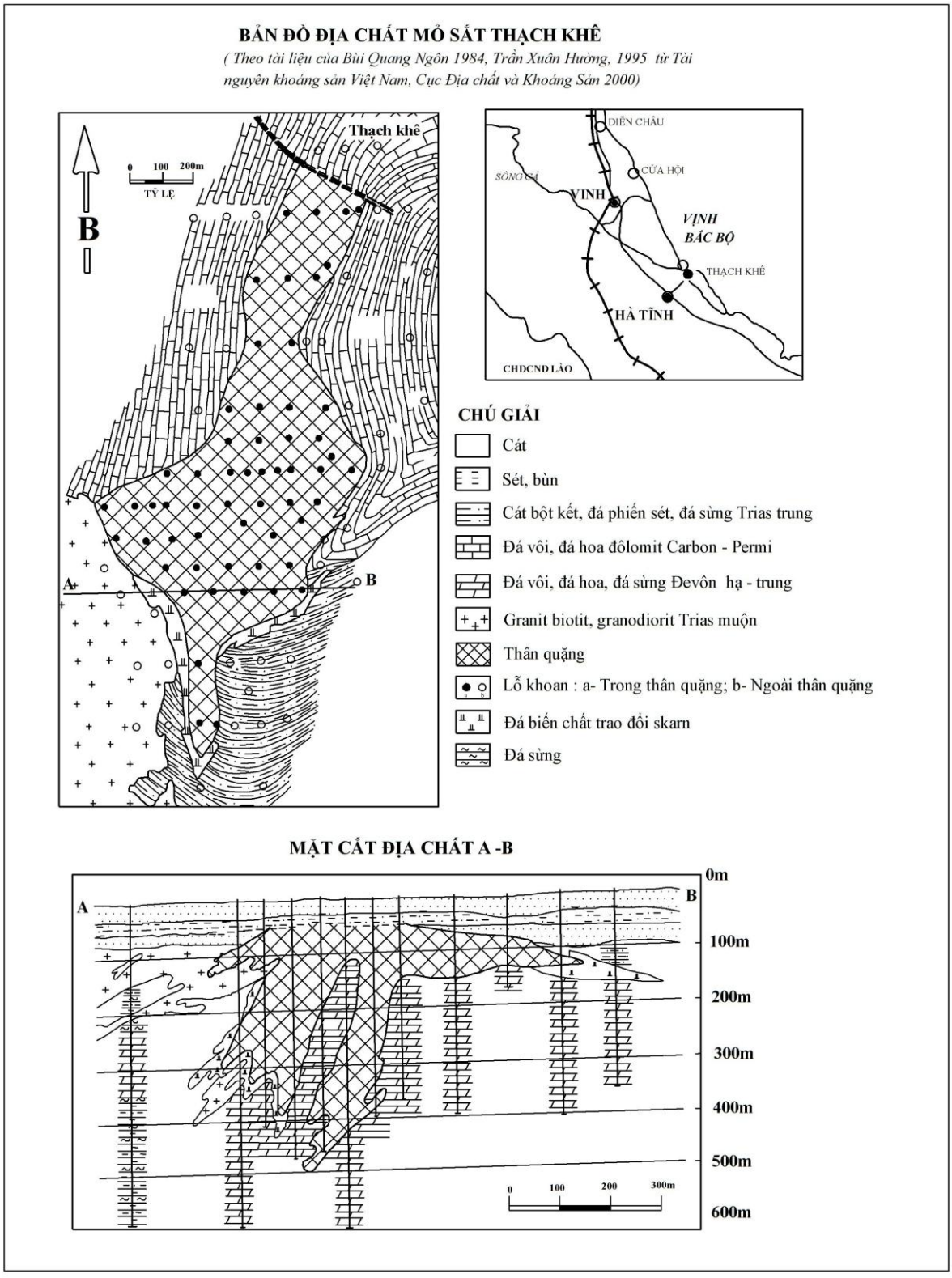
Mỏ nhiệt dịch được thành tạo từ dung dịch khí - lỏng nguồn gốc sau magma. Các khoáng chất kết đọng trong các khe nứt, các lỗ hổng hoặc thay thế các đá thuận lợi. Thân quặng phổ biến dạng mạch , thành tạo sau đá vây quanh, thường nằm trong đá bị biến đổi nhiệt dịch và được bao quanh bởi những vành phân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

6.1. Nguồn gốc và đặc tính của dung dịch nhiệt dịch

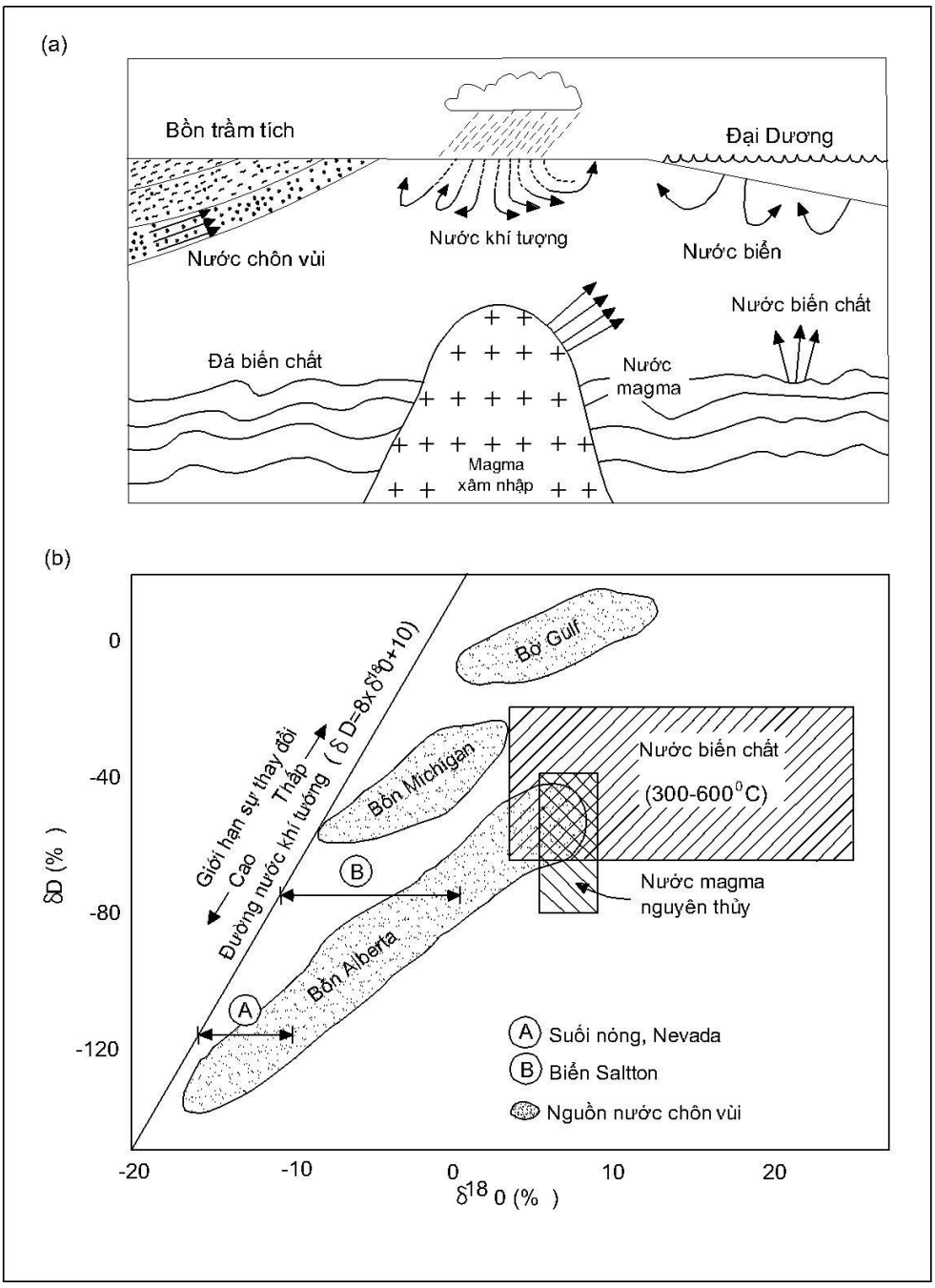
- Đặc tính: Dung dịch nhiệt dịch là dung dịch nước (có thể có cả CO_2) ở thể khí, lỏng hoặc khí – lỏng nhiệt độ cao (vài trăm độ C), liên quan về nguồn gốc với macma, xuất hiện sau khi macma đã kết tinh , có khả năng di chuyển, làm biến đổi đá gặp trên dường đi và lắng đọng khoáng vật quặng. Nước của dung dịch nhiệt dịch có thể có nhiều nguồn gốc: nước macma (hay nước sơ sinh), nước nguồn gốc biến chất, nước chôn vùi, nước khí quyển và nước biển . Thành phần đa dạng và phức tạp do nhiều nguyên nhân chi phối: thành phần của macma 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 macma sơ sinh (thoát ra khi kết thúc quá trình kết tinh dung thể, gia nhập thành phần của dung dịch hậu macma) và nguồn do lọc ngoài magma (lấy từ đá vây quanh trên đường di chuyển). Dung dịch nhiệt dịch khi tách khỏi macma bắt đầu ở nhiệt độ lớn hơn nhiệt độ tới hạn của nước (374^0C). Đặc tính hóa học (độ pH) biến động nhiều trong quá trình di chuyển và lắng đọng vì là hệ thống hóa – lý mở.

- Nguồn gốc: 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 th ấm lọc qua nhiều loại đá

có độ thấm tốt, dọc theo các khe nứt, đứt gãy, đoạn tầng. 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.



Hình 9. Mỏ sắt Thạch Khê, Hà Tĩnh



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).

6.2. Phương thức lắng đọng chất khoáng từ dung dịch nhiệt dịch

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

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

- 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 thấm lọc gây ra sự tăng nồng độ vật chất hòa tan của dung dịch nhiệt dịch khi thấm 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 chất khoáng từ dung dịch nhiệt dịch được tập trung sẽ hình thành các *thân khoáng*. Đá vây quanh thân quặng nhiệt dịch thường chứa một hàm lượng tăng cao các kim loại có trong thân quặng, lớn hơn hàm lượng trung bình của đá vây quanh nhiều lần. Diện tích có hàm lượng tăng cao này ôm lấy thân quặng được gọi là *vành phân tán nguyên sinh* - được thành tạo trong thời gian quặng hoá chủ yếu bằng phương thức thấm lọc, là dấu hiệu tìm kiếm rất quan trọng các mỏ nhiệt dịch

6.3. Biến chất trao đổi (thay thế – trao đổi)

Quá trình thay thế trao đổi xảy ra đồng thời theo hai hướng: làm biến đổi đá vây quanh và lắng đọng quặng . Quá trình này thường thường tiến triển theo từng đợt hoạt động của các dung dịch nhiệt dịch, quyết định tính giai đoạn của quặng hóa. Quặng chỉ 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: microcline hóa, anbit hóa, serixit hóa, clorit hóa, thạch anh hóa, cacbonat hóa, pyrite hóa, …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.

6.4. Điều kiện thành tạo

- *Nhiệt độ thành tạo:* Khoáng hóa nhiệt dịch có thể bắt đầu từ khoảng nhiệt độ gần 600^{o}C rồi giảm dần cho đến 50 – 25^{o}C. Song khoáng hóa phong phú nhất xảy ra trong khoảng 400 – 100^{o}C. Dựa vào tiêu chuẩn này, chia ra các kiểu mỏ: Mỏ nhiệt dịch nhiệt độ cao – thành tạo trong khoảng 400^{o}C – 300 ^{o}C; mỏ nhiệt dịch nhiệt độ trung bình – thành tạo trong khoảng 300 ^{o}C – 200 ^{o}C; mỏ nhiệt dịch nhiệt độ thấp – thành tạo trong khoảng < 200 ^{o}C .

- *Áp suất thành tạo:* Có thể xem áp suất tương ứng với độ sâu thành tạo mỏ; quặng hóa nhiệt dịch có thể xảy ra ở khoảng độ sâu rất khác nhau, từ gần mặt đất cho đến độ sâu 15km. Chia ra 2 nhóm: mỏ nhiệt dịch sâu và mỏ nhiệt dịch nông (hay nhiệt dịch phun trào)

- *Chế độ lưu huỳnh và ôxi:* Sự thay đổi chế độ lưu huỳnh, ôxi 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 ôxi, tạo nên các trường bền vững của các sunfua và các ôxit kim loại, ứng với các khoảng nhiệt độ và áp suất thành tạo.

- *Mối liên quan với magma:* Mỏ nhiệt dịch liên quan với thành tạo xâm nhập - phổ biến nhất là các các đá granitoit - (những mỏ này được xếp thành nhóm mỏ nhiệt dịch sâu) và với các thành tạo 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 công 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 granitoit, các mỏ nhiệt dịch greizen 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 hoá học trong phạm vi các diện tích chứa quặng đó. Có thể theo dõi tính phân đới này theo cả 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 tím kiếm, thăm dò và khai thác mỏ.

6.5. Các kiểu mỏ nhiệt dịch

Mỏ nhiệt dịch sâu:

Liên quan với các đá xâm nhập thành phần axit, axit vừa và kiềm vừa, thành tạo ở độ sâu 1 - 5km, nhiệt độ ban đầu khoảng 500^{o}C, bộ phận quặng chủ yếu lắng đọng ở khoảng 400 - 300^{o}C, cuối quá trình nhiệt độ giảm thấp dưới 100^{o}C. Bao gồm: mỏ anbitit – greizen (anbit hoá và greizen hoá và 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 - ac-senopirit – vàng, thạch anh - pirit – vàng, thạch anh – casiterit, thạch anh – molipđenit, thạch anh – sunfur đa kim, thạch anh – uraninit); mỏ quặng có sunfua cộng sinh (với các kiểu quặng: galenit - sfalerit - chancopirit – pirit, galenit - sfalerit - pirit – barit, Sunfua – nasturan, 5 nguyên tố (Co - Ni - Bi - Ag - U), asenopirit, casiterit – sunfur, vàng – antimonite); các mỏ quặng có cacbonat cộng sinh (với các kiểu quặng: siđerit, rodocrosit, manhesit, canxit, tremolit, tan)

Mỏ nhiệt dịch phun trào:

Liên quan chủ yếu với các thành tạo núi lửa (tướng họng) thành phần andesit – đaxit, 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 ôxi tăng nhanh. Nhiệt độ ban đầu của quá trình tạo quặng có thể cao (gần 500^{o}C), nhưng sẽ giảm rất nhanh đến 200 - 100^{o}C và thấp hơn nữa. Biến đổi đá vây quanh thường là thạch anh hoá, propilit hoá, alunit hoá, caolinit hoá. Thân quặng thường có dạng mạch, ống, bướu 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, chanxeđon, opan, adula, cacbonat với pirit, macasit, chancopirit, galenit, sfalerit, acgentit, stefanit, polibasit, vàng, bạc, và các khoáng vật hiếm khác); các mỏ thuộc kiểu quặng vàng, bạc với telurua và selenua nằm trong các đá phun trào bị propilit hoá (thành phần khoáng vật có pirit, macasit, stibinit, acgentit, pieracgirit, polibasit, selenua, thạch anh, chanxeđon, adula, fluorit và canxit); các mỏ thuộc kiểu quặng casiterit - vonframit - bismutin - acgentit nằm trong với các nham cán núi lửa thành phần axit (thành phần khoáng vật còn có pirit, pirotin, piracgirit, chancopirit, stanin và các sunfua khac); các mỏ thuộc kiểu quặng chancopirit - enacgit - chancodin (đôi khi có molipđenit, tuamalin); các mỏ thuộc kiểu quặng molipđenit - fluorin - nasturan liên quan với các đá phun trào anđesit và trachit; các mỏ thuỷ ngân thuộc kiểu quặng xinaba (có chứa asen), quặng gặp dưới dạng xâm tán nằm dọc theo các khe nứt trong các đá phun trào bị thạch anh hoá, alunit hoá, serixit hoá.

Mỏ sunfua pirit (mỏ concheđan): (Concheđan - dịch âm tiếng Nga, cupriferos pyritic deposits - tiếng Anh; amas pyriteuse - tiến Pháp; kieslagerstatten - tiếng Đức): Liên quan mật thiết với thành hệ đá phun trào dưới nước (loại bazan – liparit) của đai ofiolit hoặc đai đá màu lục. Mỏ thuộc loại nhiệt dịch phun trào và trầm tích - phun trào (có thể xem là loại mỏ trung gian (khâu nối) giữa mỏ nội sinh và mỏ ngoại sinh). Thành phần quặng sunfua gồm chủ yếu pirit, pirotin, đôi khi có macasit, chancopirit, bocnit, sfalerit, galenit, quặng đồng xám,…; khoáng vật phi quặng có barit, thạch anh, cacbonat, thạch cao, anhiđrit, serixit, clorit, v.v; cấu tạo khối trạng, xâm nhiễm, keo; biến đổi đá vây quanh: propilit hoá, clorit hoá, serixit hoá, thạch anh hoá, pirit hoá; khoáng sản chính có pirit dùng để lấy lưu huỳnh, sunfua đồng - pirit dùng để lấy đồng và lưu huỳnh, sunfua đa kim - pirit để lấy Zn, Pb, Cu và cả lưu huỳnh; khoáng sản đi kèm có barit, Au, Ag, đôi khi Bi, As, Cd, Se, Te. Mỏ thành tạo trong giai đoạn đầu của quá trình địa máng, trong các rift nội lục, các đai vòng cung đảo, nơi phát triển các đa phun trào có thành phần từ bazơ đến axit. Mỏ thành tạo trong giai đoạn đầu của quá trình địa máng, trong các rift nội lục, các đai vòng cung đảo, nơi phát triển các đa phun trào có thành phần từ bazơ đến axit. Khối lượng pirit chủ yếu lắng đọng theo phương thức thay thế trao đổi do dung dich nhiệt dịch và trầm tích - phun trào; độ sâu thành tạo từ 500 - 700m đến đáy biển; nhiệt độ thành tạo 300^{o}C - 200^{o}C và thấp hơn.

Mỏ viễn nhiệt (mỏ "phi macma" hoặc "mỏ dạng tầng"):

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 đácacbonat). Mỏ quặng được thành tạo trong quá trình lịch sử và khá phức tạp: thoạt 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 bocnit - chancopirit (cát kết ngậm đồng); kiểu quặng galenit – sfalerit (mỏ chì kẽm trong đá cacbonat); kiểu quặng antimonit và xinaba; kiểu quặng reanga – opicmen.

Ở Việt Nam, mỏ nhiệt dịch là phổ biến nhất. Các kiểu quặng có giá trị gồm: *thạch anh - casiterit – vonframit* (các mỏ Tỉnh Túc (Cao Bằng), Thiện Kế, Đá Liền (Tam Đảo), Bù Me, Thường Xuân (Thanh Hoá), Đa Chay (Lâm Đồng); *silicat – casiterit* (các mỏ vùng Tam Đảo và Quỳ Hợp, Đà Lạt); *sunfua – casiterit* (các biểu hiện quặng ở vùng Quỳ Hợp, vùng Tam Đảo, Tĩnh Túc, Ngân Sơn, v.v…); *chancopirit – pirrotin – manhetit – ocit* (mỏ đồng Sinh Quyền, Lào Cai); *sfalerit – galenit – pirit – asenopirit* (các mỏ Chợ Điền, Ngân Sơn, Chợ Đồn); *sfalerit – galenit trong đá cacbonat* (các mỏ Lang Hít, Tân Trào, Quan Sơn, Mĩ Đức); *galenit – sfalerit – bulangerit giầu Ag trong đá phun trào* (các mỏ đa kim ở vùng Tủ Lệ, Na Sơn); *thạch anh – sunfua – vàng* (các mỏ Au Bắc Lạng, Bồng Miêu, Trà Năng); *thạch anh – antimonite* (các mỏ và biểu hiện thân quặng ở vùng Chiêm Hoá, Bá Thước, Xuân Mai, Tấn Mài); *canxit – thần sa* (các mỏ và điểm quặng Hoành Bồ, Suối Giằng, Chiềng Khửa); ngoài ra, còn gặp các kiểu quặng *thạch anh – molipđenit* (Châu Đốc); *molipđenit – uraninit* (vùng Lào Cai, Tú Lệ); *đồng trong cát kết* (Biển Đông).

Tài liệu đọc thêm

1.Bateman Alan, Mead Jensen L. 1986. Economic mineral deposits.

2.В.И.Смирнов, 1982, 1989. Геология полезных ископаемых. Изд. Наука, Москва.

3.Cục địa chất và khoáng sản Việt Nam, 2000. Tài nguyên khoáng sản Việt Nam. Hà Nội.

4.John. Guilbert M, Charles F. Park. Jr , 1986. The geology of ore deposit. *By W. H Freeman and Company,* New York, USA.

5. Laurence Robb. *Introduction to Ore-Forming Processes.* Blackwell Publishing, 2005. ISBN 0-632-06378-5.

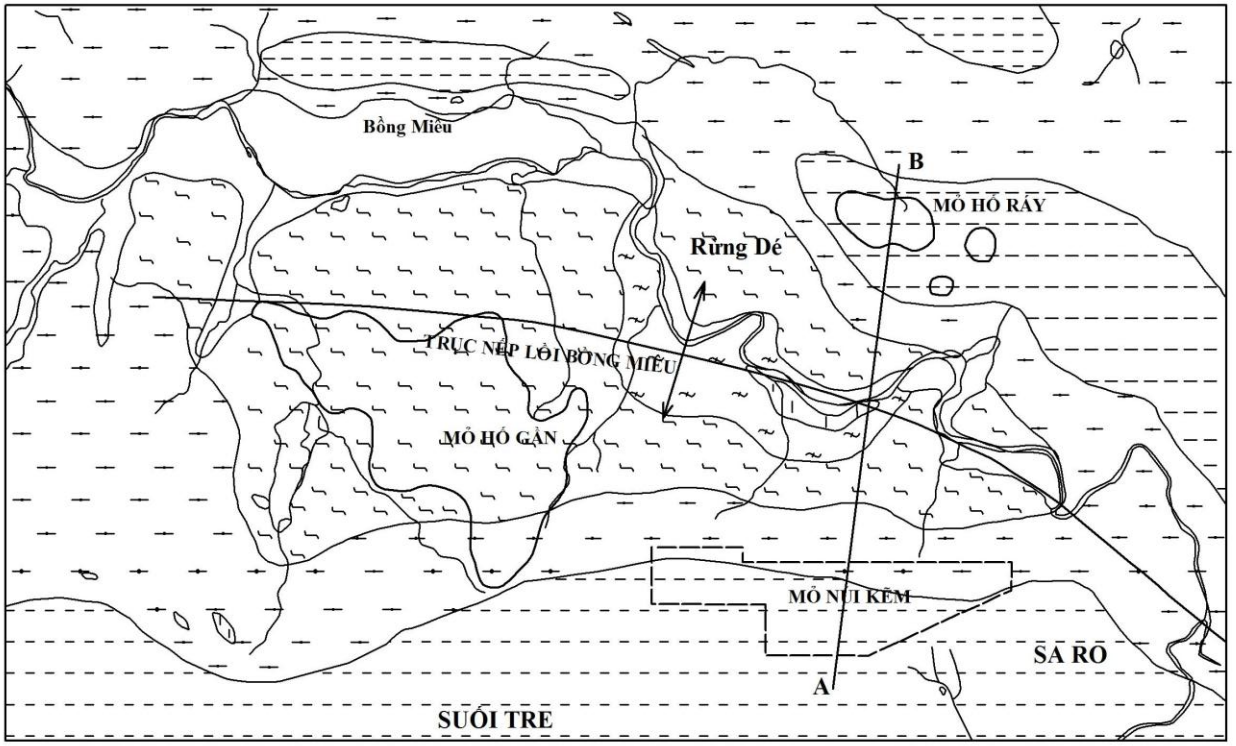
6. Nguyễn Văn Chữ, Tô Linh, Vũ Chí Hiếu, Vũ Ngọc Hải 1986, 1986, 1987. Địa chất khoáng sản, T.1 (1986), T.2 (1987). *Nhà xuất bản KHKT*, Hà Nội.

7. Routhier P. Les gisements métalliferès, 1963.

8. Trần Văn Trị & Vũ Khúc (Chủ biên) và *nnk*, 2008. Địa chất và tài nguyên Việt Nam. *NXB Khoa học Tự nhiên và Công nghệ.* Hà Nội.

BẢN ĐỒ ĐỊA CHẤT MỎ VÀNG BỒNG MIÊU

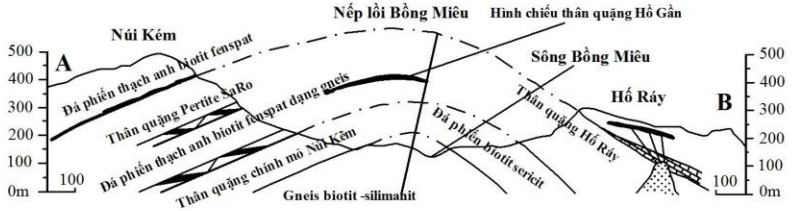
(Theo Đỗ Hải Dũng, 1990; Nguyễn Ngọc Quỳnh, Lê Văn Hải, Công ty Vàng Bồng Miêu, 2000 từ Tài nguyên khoáng sản Việt Nam, Cục Địa chất và Khoáng Sản 2000)

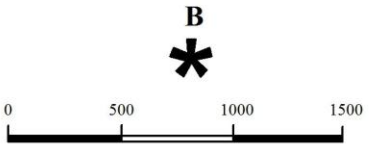


CHÚ GIẢI

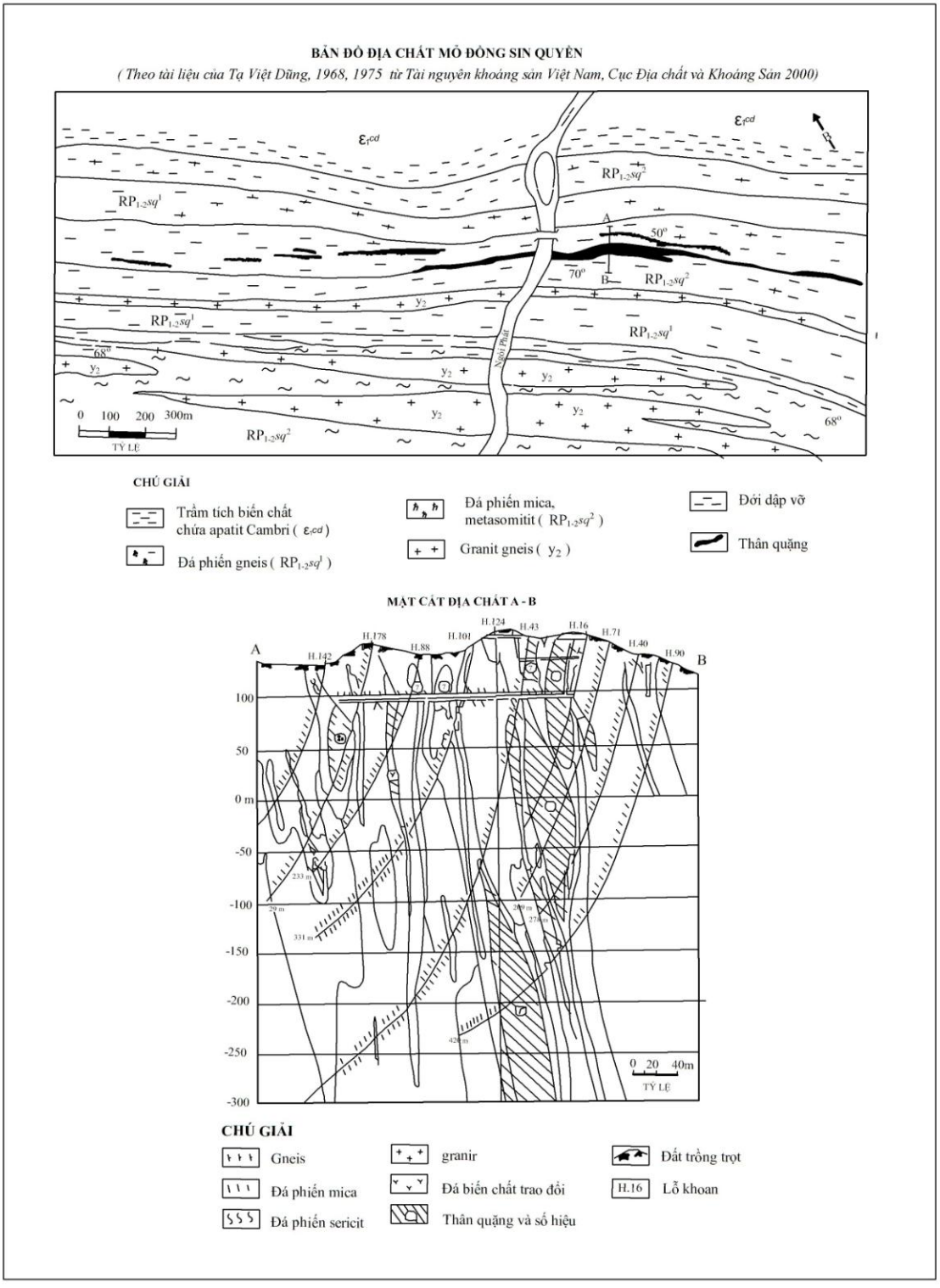
- Aluvi Đệ tứ (Q)
- Proterozoi thượng - Cambri hạ (PR_3-$Є_1$)
- Đá phiến thạch anh biotit felspat
- Đá phiến thạch anh biotit felspat dạng gneis
- Đá phiến biotit sericit
- Gneis biotit silimanit
- Granit
- Ranh giới thân quặng đã thăm dò

MẶT CẮT ĐỊA CHẤT A-B





Hình 11. Bản đồ địa chất mỏ vàng Bồng Miêu (Quảng Nam)



Hình 12. Bản đồ địa chất mỏ đồng Sinh Quyền (Lào Cai)