

MÔ HÌNH THÀNH TẠO QUẶNG CHÌ-KẼM NHIỆT DỊCH TRONG ĐÁ CARBONAT CHỢ ĐIỀN

NGUYỄN VĂN NIỆM, LÊ THỊ TUYẾT, NGUYỄN VĂN HỌC, MAI TRỌNG TÚ,
ĐỖ ĐỨC NGUYỄN, NGUYỄN MINH LONG

Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản, Km 9, Thanh Xuân, Hà Nội

Tóm tắt: *Môi trường lắng đọng quặng chì-kẽm Chợ Điền chủ yếu là không gian mở (các khe nứt mở, đới dập vỡ kiến tạo).*

Nguồn S^{2-} có sự đóng góp của môi trường đá vây quanh. Điều này đặc trưng bởi tính tương phản giữa các thành phần tạo quặng theo giai đoạn và không gian cũng như sự xuất hiện của Bi tự sinh ở giai đoạn cuối, Se hiếm gặp, đá vây quanh quặng xen kẽ các lớp giàu bitum màu đen hay xám tro, đồng thời có sự hạn chế tính linh động của CO_2 trong hệ thống carbonat (sự xuất hiện của siderit rất ít và chỉ có ở Đèo An) thể hiện môi trường khử; mặt khác, ở giai đoạn cuối cũng như các phần nông của đới quặng hóa rất ít các khoáng hóa oxit v.v. Nguồn kim loại tạo quặng xuất hiện chủ yếu ở giai đoạn Trias hoặc trẻ hơn. Tuổi đồng vị Pb của khoáng hóa chì-kẽm là 230 Tr.n. [3]. Nguồn dung dịch tạo quặng chủ yếu là magma với tỷ số đồng vị lưu huỳnh ($\delta^{34}S$) dao động hẹp: 7,19-7,65‰.

Phương thức tạo quặng: dung dịch tạo quặng di chuyển từ đới xung yếu ở cánh đông nếp lồi Phía Khao (nơi các tầng đá phiến bị đứt gãy cắt ngang và bị dịch chuyển) theo các đứt gãy mặt lớp lên đới đứt gãy mở ở trung tâm nếp lồi này. Với phương thức này, nhiệt độ thành tạo (bao thể, các tổ hợp khoáng vật và nguyên tố) sẽ giảm dần khi xa nguồn.

Nguồn magma ẩn sâu của quặng hóa chì-kẽm Chợ Điền là những nhận định bước đầu. Tuy nhiên, quá trình hoa hóa và dolomit hóa của đá vôi có thể đã chuẩn bị nguồn vật chất trước và đóng góp thêm.

I. MỞ ĐẦU

Trong việc xây dựng mô hình mở hay mô hình thành tạo quặng bất kỳ thì nghiên cứu mô hình nguồn gốc phát sinh là vấn đề quyết định.

Hiện nay, vấn đề nguồn gốc của dung dịch tạo quặng chì-kẽm ở Chợ Điền chưa được nghiên cứu rõ ràng bằng các số liệu định lượng, phương thức tạo quặng cũng chưa được nêu rõ ràng và thống nhất theo một mô hình cụ thể. Để làm sáng tỏ thêm điều này chúng tôi đã nghiên cứu thành phần đồng vị bền S, sự phân bố nhiệt độ thành tạo theo không gian của quặng hóa, sự phân bố của kim loại theo bối cảnh chung của khu mỏ và từng điểm mỏ v.v. Đồng thời kết hợp các tài liệu thu thập về địa chất, địa hóa, khoáng sản, các số liệu lỗ khoan tỷ lệ 1: 1.000 đến 1: 500 v.v. để xây dựng mô hình thành tạo quặng ở vùng mỏ này.

II. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

1. Lấy mẫu

Các mẫu đồng vị bền S được lấy tại 2 điểm mỏ đặc trưng là Bó Luông (quặng dạng tầng trong đới dập vỡ kiến tạo theo mặt lớp) và Bắc Lũng Hoài thuộc vùng trung tâm nếp lồi Phía Khao (quặng lấp đầy đứt gãy cắm dốc $>70^{\circ}$). Mẫu bao thể, mẫu khoáng tương, địa hóa quặng và đá vây quanh được lấy theo hệ thống từ phía Đông nếp lồi lên trung tâm, gồm các điểm mỏ Đèo An, Bó Luông, Tây Bó Luông và Bắc Lũng Hoài. Mẫu địa hóa quặng lấy theo dạng phong bì tại thân quặng.

Đồng thời với việc lấy mẫu, đã nghiên cứu các yếu tố cấu trúc - kiến tạo, các tầng - không gian thuận lợi cho quá trình lắng đọng quặng tại thực địa.

2. Phương pháp phân tích mẫu

Mẫu đồng vị bền S (trọng lượng > 7 kg) được gia công và nhật đơn khoáng tại Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản, nghiền đến độ hạt từ 1 đến 2 mm và nhật đơn khoáng pyrit. Gửi phân tích tại Viện Hàn lâm Khoa học Trung Quốc, trọng lượng mẫu gửi 1,4-1,93 g, đơn khoáng pyrit (FeS_2).

Mẫu khoáng tương, mẫu bao thể được phân tích tại Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản. Mẫu bao thể phân tích bằng phương pháp đồng hóa bao thể để xác định nhiệt độ thành tạo của quặng.

Mẫu địa hóa gửi gia công và phân tích tại Trung tâm Phân tích và Thí nghiệm Địa chất, Tổng cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam bằng phương pháp AAS. Các chỉ tiêu phân tích gồm Cu, As, Ag, Sb, Cd và Ba.

III. QUAN HỆ ĐỊA CHẤT MỎ VÀ KHOÁNG HÓA

1. Đặc điểm địa chất khu vực

Vùng mỏ Chợ Điền và lân cận đặc trưng bởi 2 kiểu thành tạo địa chất: đá carbonat - lục nguyên và các thành tạo magma có tuổi T-K hình thành ở giai đoạn sau, phân bố ở phía đông vùng mỏ Chợ Điền. carbonat - lục nguyên hình thành trong giai đoạn S-D và có thứ tự từ trên xuống dưới: trầm tích lục nguyên chứa Fe-Mn, phía dưới gồm đá phiến thạch anh - sericit, tuf ryolit, ryolit và porphyr thạch anh, ít albitophyr (hệ tầng Pia Phương - $D_1pp_1^{1-2}$); tiếp theo là hệ tầng Phía Khao ($S_2(?)$ - D_1pk) gồm đá hoa xen kẽ đới lớp mỏng cát bột kết, đá phiến sericit ($S_2(?)$ - D_1pk_3), đá vôi phân lớp mỏng hoặc đều, đá vôi hoa hoá có bitum, đá vôi sét đen silic hóa ($S_2(?)$ - D_1pk_2), đá phiến sét sericit, đá phiến sét vôi, phylit vôi màu xám xanh xen lớp cát bột kết vôi ($S_2(?)$ - D_1pk_1). Điều đặc trưng là các thành tạo trầm tích carbonat - lục nguyên ở đây có sự xen kẽ và thay đổi về tướng cũng như thành phần thạch học theo các lớp và các tập đóng vai trò quan trọng trong quá trình thành tạo quặng chì-kẽm.

2. Quan hệ với magma xâm nhập

Mối liên quan giữa quặng chì-kẽm Chợ Điền với magma trong vùng được thể hiện trên cơ sở bối cảnh kiến tạo chung, phân bố thành phần vật chất, cấu tạo quặng, nhiệt độ thành tạo ... như sau:

a/ Xét trên đới cấu trúc, các mỏ và điểm quặng chì-kẽm phân bố thành một đới kéo dài từ Chợ Điền - Chợ Đồn đến vùng Đạo Viện [8, 11]. Trên bình đồ thấy rõ quặng hóa chì-kẽm của vùng này đều phân bố trên cùng phương phát triển trục magma từ Tam Tao đến Nghiêm Sơn và bị hệ thống đứt gãy phương đông bắc khống chế. Các kết quả phân tích tuổi đồng vị galenit của các mỏ Chợ Điền, Chợ Đồn cho kết quả 215-250 Tr.n [8]; theo Nguyễn Khắc Vinh [3] tuổi của quặng hóa đã được xác định là 230 Tr.n tương ứng với tuổi granit Tam Tao, Ngân Sơn là 240-270 Tr.n [8]. Dọc theo trục xâm nhập này, quặng hóa có tính phân đới ngang về phía tây khá rõ. Ví dụ, tại mặt cắt Chợ Đồn - Chiêm Hóa thấy rõ tính phân đới từ khối granit Tam Tao có đới I là các điểm quặng đa kim chứa Sn, đới II: các mỏ và điểm quặng của thành hệ sphalerit-galenit-pyrit [8].

b/ Biến đổi thân khoáng: hoạt động kiến tạo trong vùng nghiên cứu thể hiện mạnh mẽ nhất vào giai đoạn sau D₁ đến T. Do đó, nếu quặng chì-kẽm sinh ra trước thì quá trình biến đổi phải biểu hiện rất rõ ràng. Như vậy quặng chì-kẽm chủ yếu sinh trong thời kỳ T hoặc trẻ hơn.

c/ Sự xuất hiện dị thường một số nguyên tố như In xung quanh khối xâm nhập axit tuổi Trias và có trong quặng chì-kẽm; Sn cũng là nguyên tố liên quan đến các thành tạo magma axit và ở Chợ Điền chúng cũng xuất hiện cùng với các vành phân tán của Pb-Zn-Ag. Sn phân bố ở trung tâm nếp lồi Phía Khao. Một số nơi gần các thành tạo magma xâm nhập Trias (T) cũng xuất hiện hàm lượng Sn cao (Hình 1). Đôi Pb-Zn-Ag phân bố ở phần trên của địa tầng.

d/ Nhiệt độ kết tinh của khoáng hóa tạo quặng cũng giảm dần khi xa các khối xâm nhập, tính từ phía đông nếp lồi Phía Khao (mỏ Đèo An) đến trung tâm nếp lồi (Hình 2). Nhiệt độ thành tạo cũng thể hiện rõ từng giai đoạn trong cùng một thân quặng. Ví dụ, ở Bó Luông và Đèo An, trong sphalerit màu nâu và đen (thể hệ I và II) có hàm lượng Cu, Fe và đôi khi In tăng cao, nhiệt độ kết tinh cũng tăng lên đáng kể (ở Bó Luông từ 225 đến 250⁰C, mẫu BL28/1; Đèo An lên tới 365-385⁰C, mẫu ĐA68). Cùng với nhiệt độ thành tạo, các nguyên tố và khoáng vật thể hiện tương tự như: hàm lượng nguyên tố Bi, In ở Bó Luông cao hơn Lũng Hoài, Bi trong galenit mỏ Bó Luông là 1,63-2,34%, mỏ Lũng Hoài 0,039 - 1,61%; trong sphalerit mỏ Bó Luông hàm lượng In khá cao, đạt tới 0,41% (thường là 0,093-0,105%), còn các vùng khác chỉ gặp rải rác với hàm lượng thấp (0,02-0,04%). Hàm lượng Fe trong sphalerit ở mỏ Bó Luông (10-11%) cũng cao hơn các vùng phía trung tâm nếp lồi, ví dụ ở mỏ Bình Chai hàm lượng chỉ đạt 4-5%.

e/ Sự xuất hiện khoáng vật arsenopyrit chủ yếu tập trung ở Đèo An và siderit chỉ có ở Đèo An đã đặc trưng cho điều kiện nhiệt độ thành tạo cao hơn so với quặng chì-kẽm tập trung về phía nhân nếp lồi Phía Khao (Bảng 1). Arsenopyrit cộng sinh chặt chẽ với pyrrhotin, chalcopyrit, sphalerit, sulfur antimonit chì, sulfur arsenit, burnonit ở vùng Đèo An. Siderit ở mỏ Đèo An dạng hạt nhỏ đều không đồng nhất, kết tinh vào giai đoạn đầu của quá trình tạo khoáng.

f/ Tại mỏ Bó Luông và Bắc Lũng Hoài arsenopyrit xuất hiện với hàm lượng ít, chỉ gặp trong 1 số mẫu, đi cùng với pyrit hoặc pyrrhotin thành tạo trong giai đoạn đầu.

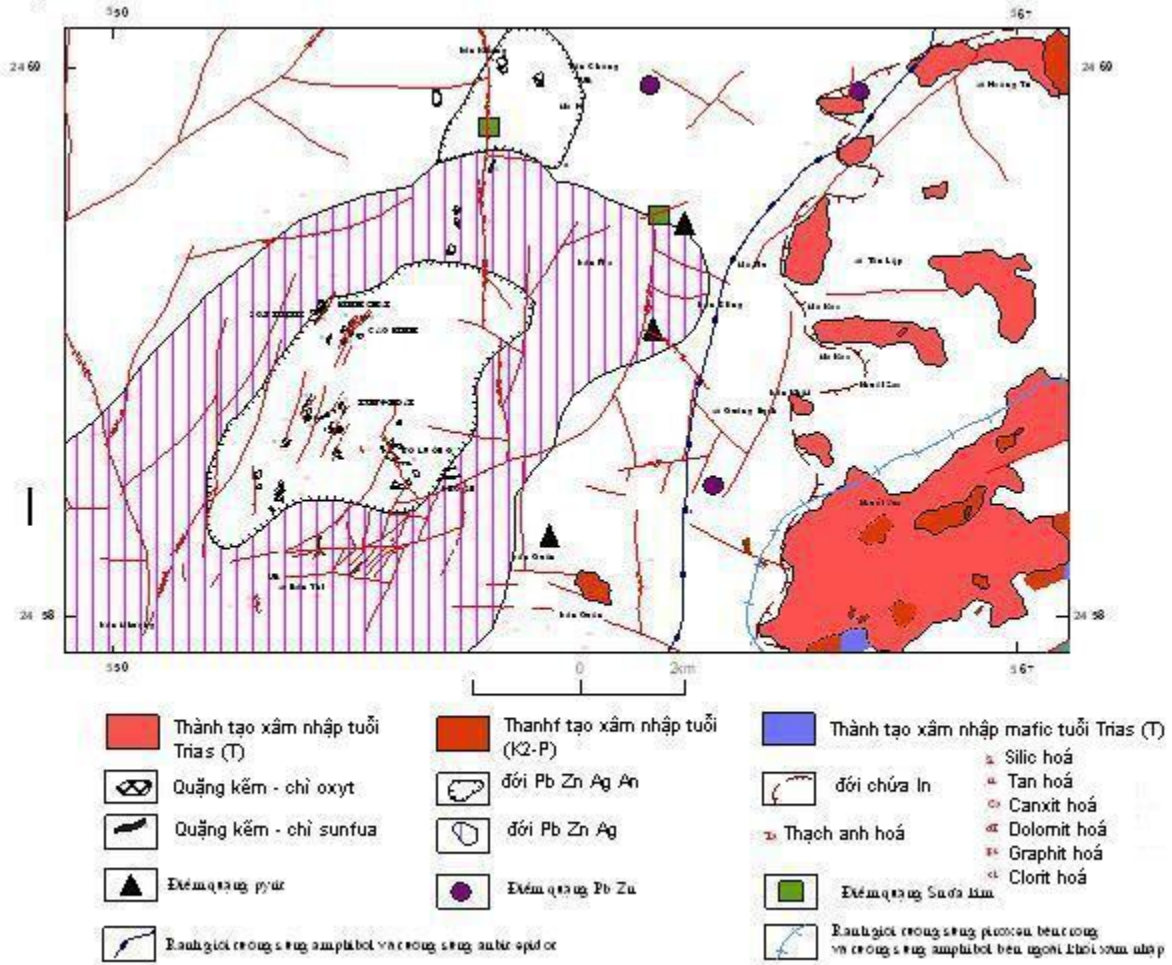
Tổ hợp các khoáng vật tạo quặng còn thể hiện tính phân đới từ trung tâm nếp lồi Phía Khao về cánh đông của nó: sphalerit, pyrit (chủ yếu), chalcopyrit, galenit (khoáng vật thứ yếu), rất ít khoáng vật chứa Ag gặp ở Bắc Lũng Hoài; ở mỏ Bó Luông xuất hiện sphalerit, pyrit, galenit, chalcopyrit, pyrrhotin, ít arsenopyrit, ilmenit, vài hạt rutil và magnetit; ở Đèo An gồm các khoáng vật arsenopyrit, pyrit, pyrrhotin, sphalerit, galenit, chalcopyrit, vài hạt stannit và siderit. Sự phân đới này thể hiện rằng càng về phía cánh đông của nếp lồi, môi trường lắng đọng quặng càng gần trung tâm magma hơn (có thể về khoảng cách tuyệt đối hoặc khoảng cách đường di chuyển của dung dịch nhiệt dịch). Ngoài ra, trong quá trình phát triển các khoáng hóa nhiệt dịch nồng độ S tăng, nhưng giai đoạn cuối cùng thì nồng độ S giảm nên các kiểu khoáng vật sulfur thu hẹp lại. Do đó, sự xuất hiện tổ hợp khoáng hóa sulfur đơn giản ở Tây Bó Luông, Bắc Lũng Hoài ... có thể thuộc giai đoạn cuối trong tiến trình tạo quặng chì-kẽm Chợ Điền.

Bảng 1. Hàm lượng các khoáng vật quặng chì-kẽm mỏ Chợ Điền [5]

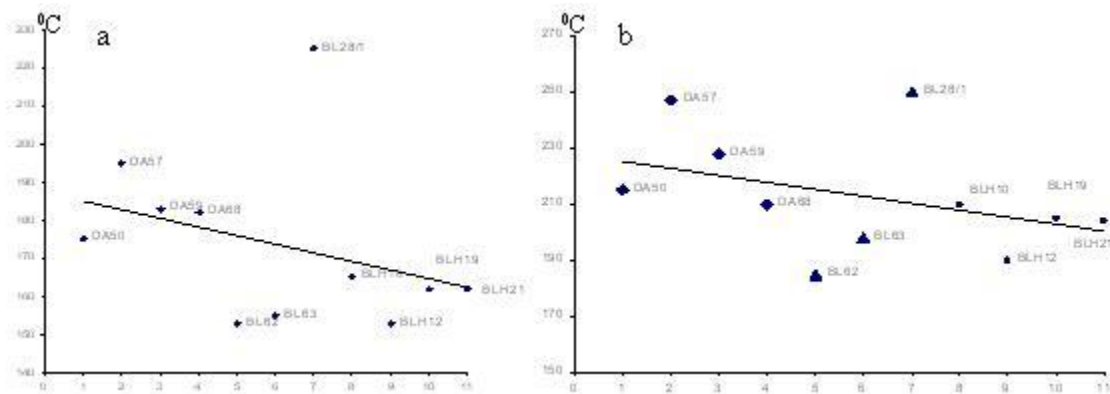
Vị trí	Thành phần khoáng vật (%)													
	Pyro	Ars	Mel	Stannit	Ga	Sph	Py	Chal	Đ.x	Step	Rut	Mag	He	Ilm
Đèo An	12-66	1-22	Ít-2	rất ít	ít	1-79	2-18	Ít-2						
Bình Chai	Rất ít	Rất ít			2-20	1-67	1-58	ít	Rất ít	Rất ít	Rất ít	Rất ít	Rất ít	

Bó Luông	Ít - 4	Rất ít		ít	2-93	1-44	ít					Rất ít
Bắc Lũng Hoài	Ít-rất ít	-		Ít-2	10-93	4-70	Ít-2					

Ghi chú: Pyro - pyrrhotin, Ars - arsenopyrit, Mel - melnicovit, Ga - galenit, Sph - sphalerit, Py - pyrit, Chal - chalcopyrit, Đ.x - đồng xám, Rut - rutil, Mag - magnetit, He - hematit, Ilm - ilmenit



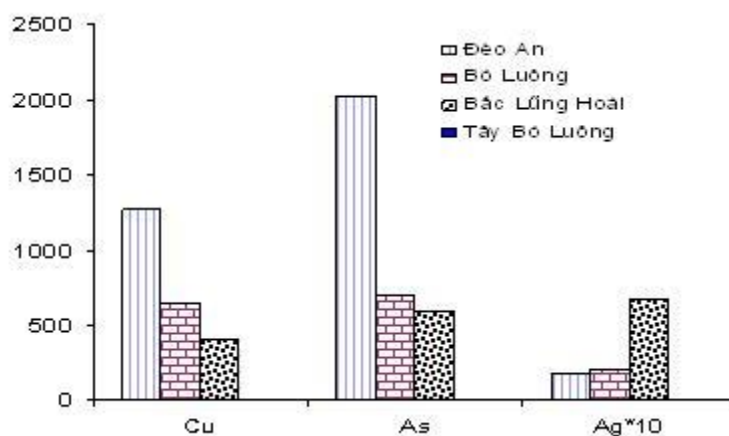
Hình 1. Sơ đồ quan hệ quặng hóa chì-kẽm hợp Điện và magma



Hình 2. Biểu đồ thể hiện xu hướng giảm dần nhiệt độ thành tạo quặng từ cánh đông đến trung tâm nếp lồi Phia Khao (BLH - mỏ Bắc Lũng Hoài, BL - mỏ Bó Luông, DA - mỏ Đèo An. a - nhiệt độ cận dưới, b - nhiệt độ cận trên) [7].

Bảng 2. Thành phần một số nguyên tố trong quặng chì-kẽm và đá vây quanh ở Chợ Điền [5]

Vị trí	Hàm lượng (ppm)						Ghi chú
	Cu	As	Sb	Ag	Cd	Ba	
Bó Luông	655	323	<10	21	1787	658	Quặng dạng mạch
Bắc Lũng Hoài	412	668	<10	44	949	663	Quặng dạng tầng
Đèo An	1280	2031	<10	18	838	1044	Quặng dạng tầng
Tây Bó Luông (TBL35-DH)	8	<10	<10	<1	6	420	Mạch quặng xâm nhiễm
Tây Bó Luông	30	<10	<10	<13	15,8	816	Đá vây quanh mạch quặng



Hình 3. Sự phân bố một số nguyên tố trong quặng chì-kẽm Chợ Điền [5]

Thành phần hóa học các nguyên tố đi kèm cũng thể hiện tính phân đới theo không gian, càng về phía đông nếp lồi hàm lượng Cu càng tăng, As tăng mạnh ở Đèo An, hàm lượng Ag tăng cao ở mỏ Bắc Lũng Hoài, Ag là nguyên tố tăng mạnh về phía trung tâm nếp lồi Phia Khao (Bảng 2, Hình 3).

Ngoài ra, xét trên diện rộng, cùng kiểu Chợ Điền là các mỏ ở Chợ Đồn (gần các khối xâm nhập hơn) cũng thể hiện nhiệt độ thành tạo quặng cao hơn chì-kẽm Chợ Điền qua thành phần Fe, Sn, Bi giàu hơn. Mặt khác, vành phân tán của Pb khá rộng và phân bố về phía đông nếp lồi [1] nên việc tồn tại magma ẩn sâu không thể ngoại trừ.

Như vậy, điều kiện thành tạo, thành phần vật chất ở mỏ Chợ Điền đã thể hiện được mối liên quan nhất định giữa quặng hóa và magma.

3. Các yếu tố khống chế quặng

a. Các yếu tố khống chế bởi đá vây quanh: Quan hệ giữa quặng hóa với đá carbonat rất rõ ràng, có thể liên quan đến vị trí này hay vị trí khác. Đá vôi và dolomit chiếm ưu thế đến bình thường. Hiếm khi carbonat chứa cát và thạch cao có thể vây quanh quặng kiểu này. Những biến đổi về tướng đá là yếu tố khống chế chính, nơi mà carbonat bị khoáng hóa hình thành ở phía dưới đá phiến sét thậm chí cả đá carbonat có thành phần và kiểu kết tinh tương phản (khác carbonat bị khoáng hóa). Trong môi trường lân cận, đá cacbonat được xem như “phản ứng” hóa học; phản ứng

này được mở rộng phạm vi ở nhiệt độ cao và dưới tải trọng lớn của đá phía trên (áp suất tĩnh), phổ biến trên 2 km [9].

Mỏ Chợ Điền có những thay đổi về tướng khá đặc trưng của đá vây quanh, phía trên các đá carbonat bị khoáng hóa là các tập đá phiến sét, phiến sét vôi. Đặc tính hóa lý khác nhau giữa các tập đá vôi và đá phiến đã tạo điều kiện cho quá trình tích tụ quặng ở ranh giới hai loại đá này. Ngay phía dưới đới quặng hóa chúng ta cũng quan sát được sự chuyển tướng rõ rệt của đá vây quanh, như ở mỏ Bó Luông xuất hiện đá carbonat rất giàu bitum hay mỏ Bắc Lũng Hoài, mỏ Đèo An gặp đá phiến màu xám, xám tro v.v.

b. Yếu tố khống chế cấu trúc - kiến tạo: Đối khoáng hóa Pb-Zn-Ag, Pb-Zn-Ag-Sn phân bố phù hợp với các yếu tố khống chế như đứt gãy, khe nứt, có thể là quá trình nâng vòm (tạo ra thế nằm của đá vây quanh đổ về 4 phía nếp lồi) do hoạt động magma và quá trình nén ép khu vực góp phần tạo nên nếp lồi Phia Khao có hướng kéo dài phương ĐB-TN. Tại mỏ Chợ Điền cũng như một số mỏ khác ở Tombstone, Arizona [9] thể hiện rõ sự phù hợp giữa hệ thống đứt gãy với thân quặng (Hình 5): quá trình dịch trượt kiến tạo sẽ góp phần tích cực tạo ra các đứt gãy theo mặt lớp (là đường dẫn dung dịch quặng), hình thành đới dập vỡ chứa quặng và dấu hiệu dịch trượt kiến tạo đặc trưng bởi các biến dạng dẻo đối với các lớp đá phiến rất rõ (Hình 4); đối với phần phía nam mỏ Chợ Điền gặp rất nhiều đứt gãy giao cắt nhau và chứa quặng. Hoạt động kiến tạo còn cắt ngang các lớp đá phiến xen kẽ với các lớp đá carbonat.



Hình 4. Vi uôn nếp ở mỏ Bắc Lũng Hoài: a) cao trình 733 m, b) cao trình 697 m [5]

IV. NHẬN ĐỊNH VỀ MÔ HÌNH NGUỒN GỐC PHÁT SINH

1. Nguồn dung dịch tạo quặng

a/ Các thành phần chỉ thị nguồn vật chất của khoáng hóa dưới sâu: marcazit, Tl, Se, Ag trong quặng Cu v.v. [9]. Ở Chợ Điền - Chợ Đồn cũng gặp một trong số các khoáng vật này gồm: marcazit (FeS_2) kết hợp chặt chẽ với pyrit hệ 3 có lẽ kết tinh vào cuối giai đoạn nhiệt dịch. Se cũng gặp trong vài ba mẫu ở Bắc Lũng Hoài và Đèo An, hàm lượng đạt tới 0,118% (mẫu KC-1548/3).

Tỷ số đồng vị lưu huỳnh $\delta^{34}\text{S}$ trong quặng chì-kẽm Chợ Điền dao động hẹp, từ 7,19 đến 7,65‰ (Bảng 4) và khoảng giá trị này gần cận trên của hầu hết các mỏ Cu porphyry đã được chứng minh có liên quan trực tiếp đến các khối xâm nhập ($\delta^{34}\text{S} = -3$ đến $+9$ ‰) (Ohmoto H. và Rye R.O., 1979). Quá trình biến chất trao đổi giữa dung dịch nhiệt dịch với các dung dịch trong lỗ hổng của đá vây quanh đã gây ra

hiện tượng đá hoa hóa và dolomit hóa rộng khắp. Như vậy, vật chất tạo quặng có thể có nguồn pha trộn nên dung lượng của chúng sẽ lớn. Quá trình này có khả năng đã huy động và chuẩn bị trước một lượng vật chất. Mặt khác, mỏ chì-kẽm Chợ Điền đến nay đã xác định xa các thể magma, nhưng tỷ số đồng vị $\delta^{34}\text{S}$ cao hơn so với miền miền nguồn vỏ lục địa ($\delta^{34}\text{S} = +7\%$) nên môi trường đá vây quanh có thể cấp thêm nồng độ S. Do đó, nguồn dung dịch tạo quặng hoàn toàn có thể liên quan đến các khối xâm nhập lớn dưới sâu mới đảm bảo được dung lượng dung dịch chứa Pb, Zn hình thành mỏ, nguồn thu hút từ đá vây quanh chỉ là thứ yếu.

b/ Quá trình biến chất trao đổi giữa dung dịch nhiệt dịch với các dung dịch trong lỗ hổng của đá vây quanh đã gây ra hiện tượng đá hoa hóa và dolomit hóa rộng khắp. Về hàm lượng, Zn và Pb đều tăng khi tiến về trung tâm nếp lồi, phạm vi đá vây quanh bị dập vỡ, nứt nẻ tăng đáng kể (Hình 6, 7). Mặt khác, ở trung tâm Phia Khao, tỷ lệ Zn/Pb = 4,08-5, cao hơn ở Đèo An (Zn/Pb = 3), cho thấy khả năng trao đổi thành phần vật chất giữa dung dịch quặng với đá carbonat xảy ra mạnh mẽ ở đới thuận lợi (nứt nẻ nhiều, đá carbonat bị hoa hóa, dolomit hóa rộng rãi) làm cho hàm lượng Zn tăng lên đáng kể. Thành phần đá vây quanh quặng ở Chợ Điền cũng thể hiện rõ mức độ phân bố của Pb, Zn từ ngoài vào phạm vi thân quặng, càng xa thân quặng hàm lượng Pb, Zn giảm: cách thân quặng 30 cm hàm lượng Pb = 20 ppm, Zn = 63 ppm; đá carbonat bị hoa hóa xa thân quặng chỉ có hàm lượng Pb = 10 ppm và Zn = 26 ppm (QPHTNT) [5]. Như vậy, vật chất tạo quặng có thể có thêm nguồn pha trộn dung lượng của chúng sẽ lớn. Quá trình này có khả năng đã huy động và chuẩn bị trước một lượng vật chất.

c/ Do cấu trúc địa chất thuận lợi, đặc thù của Chợ Điền đã nêu (các đứt gãy, đới dập vỡ, môi trường đá vây quanh thuận lợi...) sẽ làm các dung dịch nhiệt dịch nguồn magma (hậu magma) đi lên và dịch chuyển ngang theo các đứt gãy - khe nứt dạng mặt lớp qua đó có thể trao đổi với dung dịch lỗ hổng trong đá vây quanh.

d/ Giai đoạn huy động vật chất tạo quặng chủ yếu được tập trung sau Devon, có lẽ vào thời kỳ Trias, khi hoạt động kiến tạo xảy ra mạnh mẽ cùng với sự xuất hiện của các trung tâm xâm nhập trên toàn đới Lô-Gâm.

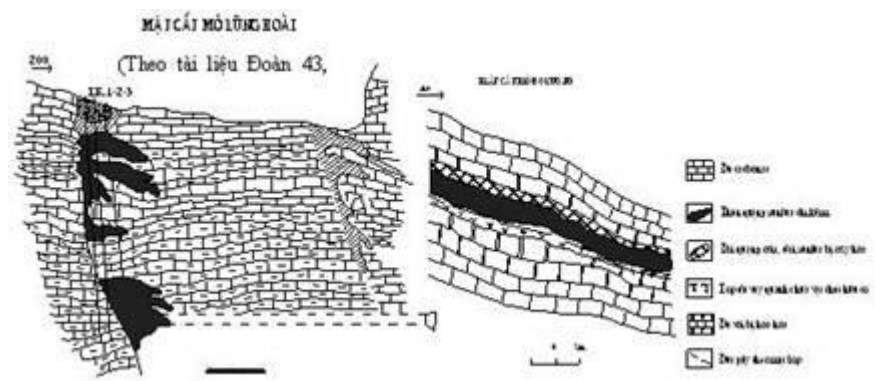
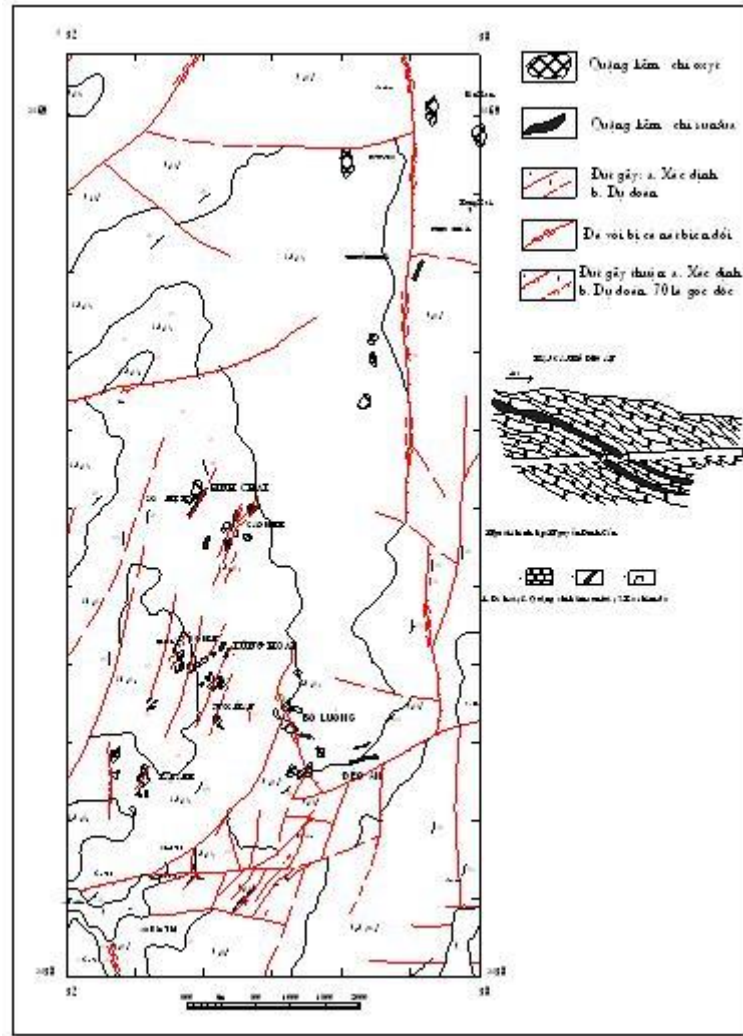
e/ Sự dịch chuyển càng xa của dung dịch nhiệt dịch càng làm hao tổn nhiệt độ, quá trình trao đổi vật chất sẽ kém.

Bảng 3. Thành phần đồng vị lưu huỳnh ($\delta^{34}\text{S}$) của quặng chì-kẽm Chợ Điền [5]

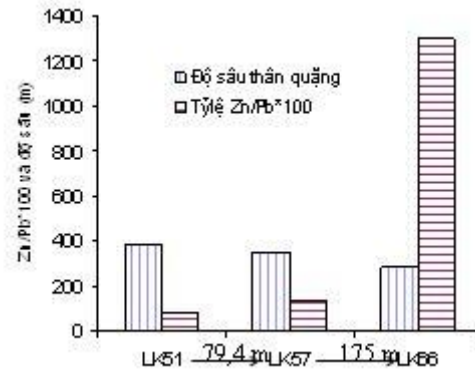
SHM	$\delta^{34}\text{S}$ (‰)	Sai số (1 σ)
BLH18-DVS	7,21	0,02
BL26-DVS	7,65	0,02
BL27-DVS	7,19	0,01

2. Môi trường tạo quặng và vị trí lắng đọng

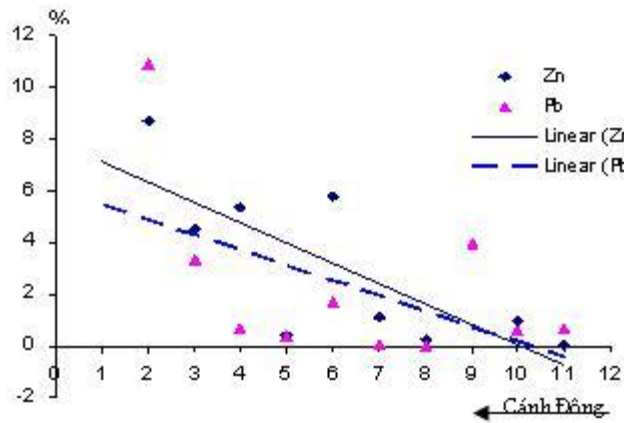
Môi trường lắng đọng quặng chì-kẽm ở Chợ Điền rất đặc trưng, đá carbonat có độ nứt nẻ (dập vỡ) cao và một số tập giàu vật chất hữu cơ. Tập đá giàu vật chất hữu cơ màu đen đã gặp tại đáy thân quặng ở Bó Luông, bên trên là lớp đá phiến; ở mỏ Đèo An 4 thân quặng nằm hoàn toàn trong đới dập vỡ và phía dưới của thân quặng số 1 (trên cùng) cũng xuất hiện thành phần sét vôi màu xám tro giàu vật chất hữu cơ hơn đá carbonat xung quanh. Đối với quặng hóa dạng mạch dốc đứng lấp đầy không gian mở, phần lớn quặng hóa lắng đọng ở ranh giới giữa đá vôi bị hoa hóa, dolomit hóa với các đá phiến vôi màu xám bị dập vỡ hay nứt nẻ mạnh, đồng thời cũng xuất hiện các lớp đá phiến xen kẹp với đá vôi, đá phiến vôi, vì thế quặng hóa xâm nhiễm về cánh phía đông của đứt gãy và có dạng không đều đặn (dạng ngọn lửa).



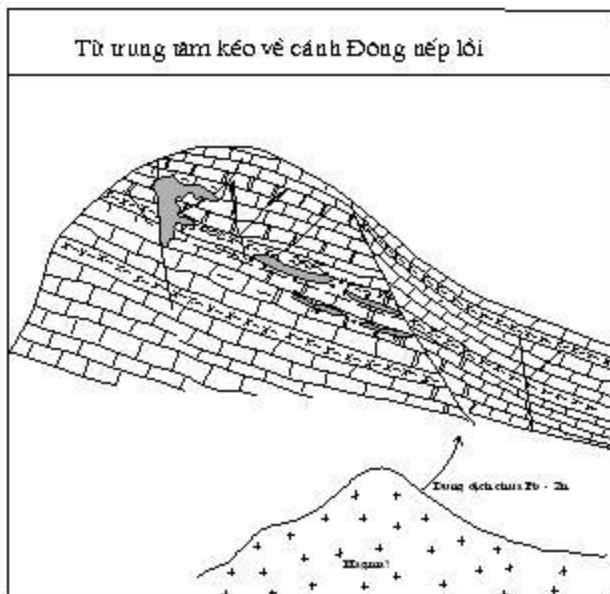
Hình 5. Đặc điểm phân bố thân quặng và các yếu tố khống chế chì-kẽm Chợ Điền [5]



Hình 6. Thân quặng số 1 (TQ1) Đèo An thể hiện tỷ lệ Zn/Pb tăng theo độ sâu và khoảng cách về phía đông nếp lồi (tài liệu lỗ khoan của Công ty Kim loại màu Thái Nguyên)



Hình 7. Biểu đồ biến thiên hàm lượng Pb, Zn từ phía đông về phía trung tâm nếp lồi ở mỏ Đèo An (tài liệu lỗ khoan của Công ty Kim loại màu Thái Nguyên)



Hình 8. Mô hình mỏ chì-kẽm Chợ Điền



Bảng 4. Thành phần đồng vị lưu huỳnh ($\delta^{34}\text{S}$) của quặng chì-kẽm Chợ Điền [5]

SHM	$\delta^{34}\text{S}$ (‰)	Sai số (1σ)
BLH18-DVS	7,21	0,02
BL26-DVS	7,65	0,02
BL27-DVS	7,19	0,01

2. Môi trường tạo quặng và vị trí lắng đọng

Môi trường lắng đọng quặng chì-kẽm ở Chợ Điền rất đặc trưng, đá carbonat có độ nứt nẻ (dập vỡ) cao và một số tập giàu vật chất hữu cơ. Tập đá giàu vật chất hữu cơ màu đen đã gặp tại đáy thân quặng ở Bó Luông, bên trên là lớp đá phiến; ở mỏ Đèo An 4 thân quặng nằm hoàn toàn trong đới dập vỡ và phía dưới của thân quặng số 1 (trên cùng) cũng xuất hiện thành phần sét vô màu xám tro giàu vật chất hữu cơ hơn đá carbonat xung quanh. Đối với quặng hóa dạng mạch dốc đứng lấp đầy không gian mở, phần lớn quặng hóa lắng đọng ở ranh giới giữa đá vô bị hoa hóa, dolomit hóa với các đá phiến vô màu xám bị dập vỡ hay nứt nẻ mạnh, đồng thời cũng xuất hiện các lớp đá phiến xen kẹp với đá vô, đá phiến vô, vì thế quặng hóa xâm nhiễm về cánh phía đông của đứt gãy và có dạng không đều đặn (dạng ngọn lửa).

Nguồn S^{2-} : sự xuất hiện của khoáng vật BaSO_4 gặp ở mỏ Bó Luông ở giai đoạn cuối cùng (cuối của giai đoạn III) đồng thời bismut tự sinh cũng xuất hiện từ cuối giai đoạn II đến đầu giai đoạn III để đặc trưng cho điều kiện khử và ở giai đoạn này số lượng khoáng vật sulfur bị thu hẹp nhưng thực tế khoáng vật oxit cũng ít, chỉ ở mỏ Bình Chai là đa dạng hơn cả, nhưng hàm lượng lại rất thấp. Bismut tự sinh dạng bao thể trong galenit ở Đèo An và trong các mạch calcit xuyên cắt sphalerit II (vùng Bình Chai), được kết tinh sau cùng của quá trình nhiệt dịch. Vì vậy, vai trò cung cấp S^{2-} trong đá carbonat (đặc biệt carbonat giàu bitum vây quanh quặng) là cần thiết, đảm bảo cho môi trường có tính khử vừa để cấp (hạn chế sự hình thành siderit do CO_2 linh động, chỉ gặp ở Đèo An; hạn chế khoáng hóa sulfat). Sự xuất hiện khá cao hàm lượng oxit SO_3 trong quặng ở Chợ Điền và Bình Chai lên tới 58,41% (mẫu KC-1519/2), nhưng vai trò tạo khoáng sulphat rất hạn chế cũng cho ta thấy một hệ thống cao S trong đá carbonat trong suốt quá trình tạo khoáng. Do đó, ngoài nguồn nhiệt dịch sâu thì S^{2-} còn có nguồn tại vị trí lắng đọng quặng (đá vây quanh).

3. Phương thức tạo quặng của mô hình mỏ Chợ Điền

Cánh phía đông nếp lồi Phia Khao sẽ gần trung tâm xâm nhập liên quan đến dung dịch nhiệt dịch tạo quặng hoặc dung dịch dưới sâu sẽ tác động ở cánh phía đông đầu tiên. Tại đây xuất hiện các đứt gãy làm dịch chuyển, cà nát đất đá, trong đó có các lớp đá phiến, tạo ra đường dẫn dung dịch thuận lợi.

a/ Lớp phủ duy trì - định hướng quá trình vận chuyển dung dịch tạo quặng: ở vùng mỏ Chợ Điền, các lớp đá phiến có độ dẻo cao hơn so với các đá khác, xen kẹp với đá carbonat được luận giải theo 2 quan điểm sau: 1) quá trình tạo nếp lồi tạo ra các đứt gãy mở rộng phía trên nhưng có nhiều lớp đá phiến xen kẹp trong đá carbonat nên độ mở của đứt gãy sẽ hẹp dần (cần phải hiểu rộng vấn đề này, dù không có các lớp đá phiến thì độ mở vẫn phải thu hẹp ở dưới, nhưng có lớp đá phiến nó sẽ tạo ra một giới hạn nhất định), vẫn có các lớp đá phiến bị nứt vỡ yếu hoặc còn nguyên (phía dưới quặng); 2) khi xuất hiện các đứt gãy ở cánh và có sự di chuyển sẽ làm các lớp đá phiến dẻo này bị cắt ngang và dịch chuyển, đồng thời mất vai trò là tầng chắn, tạo ra đới xung yếu (áp lực giảm). Do hệ quả thứ hai vừa nêu kết hợp với lực căng giãn khá đều về các phía của nếp lồi sẽ làm dịch chuyển các khối đá theo mặt lớp và lớp đá phiến góp phần tích cực vào quá trình này, hình thành nên các đứt gãy theo mặt lớp.

b/ Ở trung tâm nếp lồi có sự căng giãn mạnh mẽ tạo ra các đứt gãy mở phương ĐB-TN (khống chế quặng). Cơ chế mở đứt gãy - khe nứt có lẽ không khống chế mà chỉ xuất hiện từ vị trí (độ sâu) nhất định,

nơi lực căng giãn đủ mạnh làm nứt vỡ đá carbonat, đặc biệt thắng cả độ dẻo của các lớp đá phiến. Điều này tạo ra một đới ở nếp lồi có áp lực giảm đáng kể để dung dịch nhiệt dịch di chuyển lên thuận lợi. Đới này phù hợp nhất được giới hạn bởi các đứt gãy dạng mặt lớp chạy từ Đèo An lên Bó Luông và trung tâm nếp lồi (giới hạn dưới) còn các đứt gãy phương ĐB-TN chứa quặng được mở rộng phân tầng mạnh mẽ từ giới hạn dưới lên các tầng đá cao hơn.

c/ Dung dịch nhiệt dịch đương nhiên sẽ chọn vị trí xung yếu để đi lên, các đứt gãy ở cánh nếp lồi cắt ngang và làm dịch chuyển các lớp đá phiến (Hình 8), là vị trí lý tưởng để dung dịch đi lên và chuyển đến đứt gãy theo mặt lớp, gây biến chất và trao đổi thành phần vật chất với đá vây quanh (nước trong các lỗ hổng của đá) đồng thời cũng chuẩn bị nguồn vật chất tạo quặng. Càng gần trung tâm magma thì nhiệt độ thành tạo sẽ cao đi kèm với điều kiện này là các tổ hợp khoáng vật cũng như thành phần các nguyên tố đi kèm đặc trưng. Đến trung tâm nếp lồi xuất hiện quặng lấp đầy các đứt gãy, khe nứt mở rộng và vát nhọn phía dưới với thành phần khoáng vật sulfur đơn giản hơn, thành phần khác với quặng ở Bó Luông - Đèo An, như ở Tây Bó Luông tăng hàm lượng của Pb và thành phần khoáng vật gồm sphalerit, galenit, pyrit, ít chalcopyrit hay ở phần đáy mỏ Bắc Lũng Hoài cũng vậy v.v. Điều này do quặng đường di chuyển xa và thời gian hình thành cũng ở giai đoạn muộn của tiến trình phát triển dung dịch nhiệt dịch, nồng độ S giảm xuống đáng kể, nồng độ của O₂ tăng lên làm xuất hiện khoáng vật sulfat như BaSO₄.

V. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

1/ Nguồn dung dịch chứa kim loại tạo quặng chủ yếu là dung dịch nhiệt dịch liên quan đến magma (thành tạo trong giai đoạn T hoặc trẻ hơn) có thể nằm ẩn sâu. Bên cạnh đó là nguồn tái huy động từ dung dịch lỗ hổng đá vây quanh bị hoa hóa, dolomit hóa trên diện rộng v.v. Nguồn S²⁻ ngoài nguồn magma còn nguồn tại vị trí lắng đọng (carbonat).

2/ Phương thức tạo quặng: dung dịch nhiệt dịch sẽ di chuyển từ đới xung yếu của cánh đông nếp lồi Phía Khao theo các đứt gãy và lắng đọng trong không gian mở, đặc biệt vị trí đá vây quanh giàu bitum.

3/ Triển vọng khoáng sản chì-kẽm theo mô hình thành tạo quặng: có thể tồn tại các đới chứa quặng tương tự vùng Bó Luông - Đèo An. Hàm lượng Ba trong quặng khá cao, đồng thời có sự xuất hiện của Sn ở trung tâm nếp lồi Phía Khao theo các vành phân tán, nhiệt độ thành tạo của quặng hiện tại ở mức trung bình thấp ... phần nào thể hiện tiềm năng quặng hóa ẩn sâu.

4/ Kiến nghị nghiên cứu tiếp theo: Cần phân tích thêm độ muối trong các bao thể để tăng thêm tính thuyết phục về nguồn dung dịch tạo quặng. Vai trò của quá trình tạo nếp lồi địa phương (nhỏ) và sự chuyển hướng cấu trúc trong vùng có thể góp phần tích cực hình thành các đới chứa quặng thuận lợi. Phân tích thêm tính phân đới địa hóa của các thân quặng bằng bộ nguyên tố đầy đủ.

Bài báo này được dựa trên kết quả nghiên cứu của đề tài: “Nghiên cứu xác lập cơ sở khoa học để xây dựng các mô hình thành tạo quặng chì-kẽm ở miền Bắc Việt Nam” của tập thể tác giả.

Tập thể tác giả xin trân trọng cảm ơn Xí nghiệp chì-kẽm Chợ Điền, Công ty Kim loại màu Thái Nguyên đã tạo điều kiện trong quá trình nghiên cứu và cung cấp các số liệu lỗ khoan liên quan có giá trị.

VĂN LIỆU

1. **Đỗ Văn Doanh (Chủ biên), 1981.** Báo cáo “Địa chất hai tờ Phía Khao, Đại Thệ tỷ lệ 1: 50.000”. Lưu trữ Địa chất. Hà Nội.

2. **Megaw Peter K. M., Joaquin Ruiz, Spencer R. Titley.** High-temperature, carbonate-hosted Ag-Pb-Zn (Cu) deposits of northern Mexico. *Courtesy of AGI/GeoRef.*

3. **Nguyễn Khắc Vinh, 1982.** Tuổi phóng xạ và tính chuyên hóa sinh khoáng của các granit phức hệ Phia Bioc trên cơ sở các tài liệu địa hóa và đồng vị chì. *Tạp chí Địa chất*, 154: 24-26. Hà Nội.
4. **Nguyễn Văn Học, 1995.** Đặc điểm các thành hệ Pb-Zn vùng Đông Bắc Việt Nam và quy luật phân bố. *Luận án PTS Địa chất. Viện Khoa học ĐC&KS, Hà Nội.*
5. **Nguyễn Văn Niệm (Chủ biên), 2010.** Báo cáo “Nghiên cứu xác lập cơ sở khoa học để xây dựng các mô hình thành tạo quặng chì-kẽm ở miền Bắc Việt Nam”. *Viện Khoa học ĐC & KS. Hà Nội.*
6. **Nguyễn Văn Phổ (Chủ biên), 2006.** Báo cáo “Nghiên cứu mức độ phân tán của chì và đánh giá hiện trạng ô nhiễm chì tại khu mỏ chì-kẽm Chợ Điền, Bắc Cạn”. *Viện Địa chất, Viện KHVN. Hà Nội.*
7. **Nguyễn Xuân Trường (Chủ biên), 1995.** Báo cáo “Kết quả tìm kiếm quặng chì-kẽm vùng Nam Chợ Đồn, Bắc Thái”. *Lưu trữ Địa chất, Hà Nội.*
8. **Thái Quý Lâm, Vũ Ngọc Hải (Đồng chủ biên), 1991.** Báo cáo “Nghiên cứu sinh khoáng và dự báo khoáng sản rìa đới Lô-Gâm mức tỷ lệ trung bình và chi tiết hoá một số vùng quan trọng”. *Lưu trữ Địa chất, Hà Nội.*
9. **Titley S.R. 1997.** Characteristics of high-temperature, carbonate-hosted massive sulphide ores in the United States, Mexico and Peru. Mineral deposit modeling. *Geol. Ass. of Canada, Special Paper, 40.*
10. **Vlasov K. A., 1966.** Genetic types of rare-element deposits. Volume III. *Thư viện Đại học Tổng hợp Hà Nội.*
11. **Vũ Ngọc Hải, 1976.** Về thành hệ quặng chì-kẽm Việt Bắc. *Nội san KHKT, M- ĐC, 4: 13-16, Hà Nội.*