

MÔ HÌNH ĐỊA MÔI TRƯỜNG CỦA CÁC MỎ KHOÁNG VÀ Ý NGHĨA CỦA CHÚNG TRONG ĐÁNH GIÁ ẢNH HƯỞNG MÔI TRƯỜNG DO KHAI THÁC MỎ

NGUYỄN VĂN PHỒ, PHẠM TÍCH XUÂN

E-mail: phodiahoa@yahoo.com

Viện Địa chất - Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam

Ngày nhận bài: 13 - 8 - 2010

1. Mở đầu

Ở nước ta, trong những năm gần đây việc phát hiện, thăm dò, khai thác và chế biến khoáng sản nói chung và khoáng sản kim loại nói riêng đang được đẩy mạnh và chắc chắn sẽ còn tiếp tục phát triển mạnh hơn nữa trong thời gian tới. Bên cạnh những lợi ích kinh tế to lớn do nó mang lại thì những vấn đề môi trường cũng đang ngày càng trở nên bức xúc, ảnh hưởng đến sức khỏe cộng đồng dân cư nhiều khu vực có liên quan.

Nhiều đề tài nghiên cứu tác động môi trường do khai thác và chế biến khoáng sản đã được triển khai, song các kết quả nghiên cứu còn nhiều hạn chế, do việc đánh giá môi trường còn mang tính chất cục bộ, nặng về đánh giá những tác động nhìn thấy, chưa đề cập được những nguy cơ môi trường tiềm ẩn xuất phát từ bản chất các quá trình địa hóa của từng kiểu mỏ liên quan tới sự tạo dòng acid mỏ và quá trình phát tán các kim loại độc hại vào môi trường.

Ngày nay, việc đánh giá kinh tế mỏ khoáng không chỉ đơn thuần là tính toán những lợi ích thu được mà còn phải tính đến các vấn đề về môi trường. Các nhà kinh tế địa chất trên thế giới đã hướng tới việc phân loại các mỏ khoáng trên cơ sở các tiêu chí địa chất, khoáng vật và địa hóa nhằm đưa tới sự phân loại dựa trên giá trị kinh tế và môi trường.

Kinh nghiệm của các nước phát triển cho thấy, để đánh giá ảnh hưởng môi trường của việc khai

thác và chế biến khoáng sản một cách hiệu quả thì trước hết phải nắm bắt được các thông tin về địa chất, địa hóa, địa chất thủy văn và địa chất công trình của mỏ hay nói cách khác là phải thiết lập các mô hình địa môi trường của mỏ. Ngày nay, các mô hình địa môi trường được mô tả rất rộng rãi trong tự nhiên; đó là sự thể hiện bộ sưu tập các số liệu một cách có kinh nghiệm để tạo ra khả năng dự đoán tốt nhất các lĩnh vực có thể của tác động môi trường. Trong bài báo này chúng tôi giới thiệu về các mô hình địa môi trường các mỏ khoáng và khả năng áp dụng chúng trong đánh giá ảnh hưởng của việc khai thác và chế biến khoáng sản tới môi trường ở nước ta.

2. Mô hình mỏ khoáng và mô hình địa môi trường

2.1. Khái niệm về mô hình mỏ khoáng

Ngay từ khi triển khai công tác tìm kiếm thăm dò thì các nhà kinh tế địa chất đã hướng tới việc phân loại các mỏ khoáng trên cơ sở các tiêu chí địa chất, khoáng vật và địa hóa với nỗ lực nhằm tới hệ thống hóa sự hiểu biết về các mỏ khoáng. Kết quả tất yếu của những nỗ lực này là tiến tới sự phân loại các mỏ khoáng dựa trên cơ sở thị trường hàng hóa, điều kiện địa chất [3], nhiệt độ và áp suất thành tạo quặng [5] và bối cảnh nguồn gốc [4, 6, 13], hay nói cách khác đó là “mô hình mỏ khoáng”. Mô hình mỏ khoáng là một thể loại được sắp xếp một cách hệ thống lượng thông tin, bao gồm sự mô tả một số hay toàn bộ các đặc tính cần thiết của nhóm mỏ khoáng đã lựa chọn; nó thể hiện khái

niệm bao gồm tất cả các thuộc tính cần thiết có thể được xác định và từ đó có thể nhận biết được các đặc điểm khác biệt, không trùng khớp và loại bỏ chúng [1]. Barton (1993) [1] đã lưu ý rằng sự ghép nhóm các mô trên cơ sở các đặc điểm chung tạo cơ sở cho sự phân loại, nhưng việc chi tiết hóa các đặc điểm cần thiết cho sự sắp xếp thành nhóm chính là cơ sở cho một mô hình. Các mô hình được sắp xếp từ mô tả sơ lược, tản mạn tới mô hình nguồn gốc. Mô hình nguồn gốc cao hơn hẳn so với mô hình mô tả bởi lẽ nó giúp ta phân biệt các thuộc tính cần thiết với các thuộc tính ngoại lai, đồng thời nó lại có tính linh hoạt. Tuy nhiên, mô hình mô tả là tiền đề cần thiết cho việc xây dựng mô hình nguồn gốc.

2.2. Mô hình địa môi trường

Mô hình địa môi trường của mô khoáng, theo định nghĩa của Plumlee và Nash (1995) [9] là bộ sưu tập lượng thông tin địa chất, địa hóa, địa vật lý, thủy văn và công trình gắn liền với hành vi môi trường của các mô tương tự nhau về mặt địa chất trước khi khai thác và các kết quả do khai thác, chế biến và luyện quặng. Từ đó có thể thấy các mô hình địa môi trường là sự phát triển mở rộng của các mô hình mô khoáng; chúng cung cấp lượng thông tin về những biến đổi địa hóa tự nhiên gắn liền với kiểu mô cụ thể và những biến đổi địa hóa liên quan tới những ảnh hưởng của việc khai thác, xả chất thải và các thiết bị chế biến quặng, bao gồm cả quá trình luyện quặng. Cơ sở dữ liệu của mô hình bao gồm lượng thông tin về môi trường nước và các chất rắn.

Mục tiêu chính của việc xây dựng mô hình địa môi trường là thiết lập được mối quan hệ nhân-quả trong các thuộc tính địa chất của mô, điều kiện môi trường, lịch sử khai thác (kể cả trong tương lai) và hành vi môi trường của nó.

Ở mức độ hiện nay, các mô hình địa môi trường có thể phục vụ một số mục tiêu bao gồm: (i) xác lập các điều kiện giới hạn trước khi khai thác cho các mô; (ii) cải thiện quy hoạch phát triển mô nhờ tiên đoán tốt hơn các vấn đề môi trường tiềm ẩn và các giải pháp giảm thiểu chúng; (iii) giải quyết tốt nhất các vấn đề đối với những mô đã đóng cửa do có thể phác họa được dấu hiệu môi trường tiềm ẩn [9]. Với những mục tiêu trên thì các mô hình địa môi trường không chỉ đơn thuần là công cụ để dự đoán độ pH và hàm lượng các kim loại tại một địa điểm cụ thể nào và cũng không phải là công cụ được sử dụng để mô tả các điểm

mỏ thông qua những nghiên cứu chi tiết tại hiện trường [7]. Thay vì, chúng được sử dụng làm kim chỉ nam một cách tốt nhất cho các lĩnh vực có các vấn đề môi trường.

Như vậy, mô hình địa môi trường có thể tạo ra cơ hội tập hợp lượng thông tin thuộc các lĩnh vực của nhà kinh tế địa chất theo truyền thống và cả lượng thông tin ngoài lĩnh vực này như các số liệu thành phần môi trường nước và các chỉ tiêu ảnh hưởng sinh học. Lượng thông tin này rất hữu ích, tạo điều kiện thuận lợi cho các nhà khoa học và các nhà quản lý thuộc các đối tượng sau đây: (i) các nhà khoa học môi trường quan tâm tới giảm thiểu các sự cố môi trường tiềm ẩn liên quan tới các mô đã được đề xuất khai thác; (ii) các nhà địa chất môi trường quan tâm tới xử lý các vấn đề hiện hữu tại nơi các mô đã đóng cửa; (iii) các nhà quy hoạch sử dụng đất có liên quan tới việc cho phép khai thác các mô hay phục hồi các khu đất mô đã đóng cửa; (iv) ngành công nghiệp có mối quan tâm tới quy hoạch thăm dò và khai thác khoáng sản.

3. Các tiêu chí của mô hình địa môi trường

Từ những điều trình bày trên có thể thấy các mô hình địa môi trường cung cấp lượng thông tin đa dạng về bối cảnh địa chất và địa hóa của các mô khoáng, quá trình khai thác và công nghệ xử lý quặng, do đó chúng có liên quan tới sự hình thành chất thải mỏ và hành vi môi trường của các mô theo nghĩa rộng. Để có thể phát triển mô hình, các nhà khoa học đã thảo luận và đưa ra những điểm quan trọng mấu chốt nhất làm tiêu chí cho mỗi mô hình trên quan điểm thống nhất cho rằng mỗi mô khoáng là duy nhất đối với chính nó và mỗi nhóm mô khoáng cũng là duy nhất [8, 9]. Các tiêu chí được mô tả ngắn gọn dưới đây là các yếu tố cơ bản nhất mang tính chìa khóa của mô hình. Tuy nhiên, không nhất thiết lúc nào cũng phải xem các tiêu chí này là đầy đủ và toàn diện mà trong quá trình xây dựng mô hình, ở mức độ mềm dẻo nào đó, có thể có những thay đổi, nhưng vẫn phải giữ lại được các đặc điểm cần thiết nhất đối với mô hình đã cho.

3.1. Các tiêu chí về điều kiện địa lý tự nhiên khu vực mỏ

3.1.1. Điều kiện khí hậu

Khí hậu đóng vai trò chìa khóa trong hành vi môi trường của các mô khoáng. Những khác biệt về nhiệt độ, lượng mưa và độ ẩm có thể là các biến số khí hậu quan trọng nhất [9]. Nhiệt độ và độ ẩm

là các biến số đầu tiên kiểm soát độ bốc hơi. Độ bốc hơi hạn chế lượng nước trong điều kiện khí hậu khô hạn và bán khô hạn. Điều kiện mùa mưa với nhiệt độ cao và mùa đông giá lạnh, ít mưa có thể dẫn tới sự dao động khác biệt về thành phần hóa học của dòng chảy tiêu thoát. Các hệ sinh thái cũng có thể tạo ra cơ sở hợp lý cho việc đánh giá vai trò biến đổi khí hậu trong hành vi môi trường các mỏ khoáng [1]. Tuy nhiên, cần nghiên cứu thêm để hiểu hơn mối liên hệ giữa khí hậu và ảnh hưởng môi trường của các mỏ.

3.1.2. Điều kiện địa hình

Địa hình là các yếu tố quan trọng kiểm soát điều kiện thủy văn địa phương, cụ thể là vị trí của mực nước ngầm. Các mỏ nằm trong các tỉnh ít mưa như Ninh Thuận, Bình Thuận và các vùng của địa hình núi cao như Phan Si Pan sẽ có hành vi khác hẳn với các mỏ nằm trong các tỉnh với lượng mưa lớn nhất như các tỉnh ở khu vực Đông Bắc nước ta.

3.1.3. Các dấu hiệu về đất và trầm tích

Những dấu hiệu môi trường đất và các trầm tích lòng trước khi khai thác có thể là hữu ích để xác định môi trường nền trước khi khai thác. Đất xung quanh các mỏ đã đóng cửa và ở các ở các xưởng chế biến, luyện kim loại chắc chắn có biểu hiện hàm lượng đáng kể các kim loại bị vùi sâu. Các vấn đề ô nhiễm đất và nước và các trầm tích lòng ở khu vực các mỏ đã đóng cửa cũng là khá nghiêm trọng, lấy ví dụ mỏ pyrit Giáp Lai (Phú Thọ), mỏ đã đóng cửa nhiều năm mà nhiều các kết quả phân tích nhiều nơi thuộc phạm vi khai thác mỏ vẫn tồn đọng độ acid và các kim loại nặng trong môi trường đất [10].

3.2. Các tiêu chí về địa chất mỏ

3.2.1. Bối cảnh địa chất

Các mỏ được thành tạo trong các bối cảnh địa chất đặc biệt với các thuộc tính địa hóa nhất định có thể đoán trước. Như vậy, ngay cả khi các đá vây quanh mỏ khoáng không có các đá carbonat như các đá vây quanh các mỏ sulfid đặc xít, nhưng trong vùng lại có các tập đá có quy mô lớn, trong đó có chứa một lượng đáng kể đá vôi và (hoặc) dolomit, thì chúng cũng có thể làm tăng độ kiềm và độ cứng của các lưu vực sông thu nhận dòng acid từ các kiểu mỏ này. Ngoài ra, đặc điểm cấu trúc của mỏ cũng liên quan mật thiết với sự phân bố của các đứt gãy có ảnh hưởng tới khả năng thẩm lọc các dung dịch qua đó.

3.2.2. Đá vây quanh

Thành phần khoáng vật và đặc tính địa hóa của các đá vây quanh có tầm quan trọng đặc biệt về khả năng phát sinh hay trung hòa acid; bản thân các đá này có thể tạo ra acid cũng có thể đóng vai trò trung hòa acid. Các đá vây quanh của mỏ khoáng cũng có thể làm tăng độ acid và kim loại trong nước một cách tự nhiên. Thí dụ, các đá phiến sét màu xanh lục chứa sulfid thuộc hệ tầng Long Đại ở Lệ Thủy, Quảng Bình vây quanh đới khoáng hóa Xà Khía, đã tạo ra nước acid một cách tự nhiên, đôi nơi vượt quá tiêu chuẩn chất lượng nước về kẽm và các nguyên tố hòa tan khác; trong khi đó chất lượng nước của các lưu vực sông kề cận nằm trên các đá cát kết hay đá vôi lại tốt so với tất cả các tiêu chuẩn đối với sức khỏe cộng đồng ở đó. Trường hợp mỏ chì-kẽm Chợ Điền thì đá vây quanh là các đá carbonat xen kẽ với đá phiến sét lại đóng vai trò trung hòa acid rất tốt, mặc dù hàm lượng sulfid trong quặng khá cao.

3.2.3. Biến đổi đá vây quanh

Biến đổi đá vây quanh làm thay đổi thành phần hóa học các đá ở một khoảng cách đáng kể từ các đới quặng. Sự biến đổi có thể làm tăng khả năng trung hòa acid của đá nhờ đưa thêm vào các khoáng vật carbonat (hiện tượng carbonat hóa), hay làm giảm khả năng trung hòa acid nhờ chuyển hóa feldspar thành các khoáng vật sét (hiện tượng argilit hóa). Các hiện tượng biến đổi đá vây quanh này thường gặp trong đá vây quanh mỏ sulfid nhiệt dịch.

3.2.4. Kiểu mỏ

Sự phân loại mỏ là cơ sở để đối sánh các yếu tố giữa các mỏ, góp phần tạo nên những khác biệt về tác động môi trường tiềm ẩn. Các cấp phân loại khác nhau đối với một kiểu mỏ có giá trị tăng cường sự hiểu biết sâu sắc, bổ sung vào các dấu hiệu địa hóa và hành vi môi trường. Bởi lẽ, với bất kỳ một cố gắng phân loại nào thì những bất đồng và những tranh luận vẫn có thể tồn tại, song điểm chủ yếu là ở chỗ phải xác định được các đặc điểm cốt lõi của mỏ. Do đó, các thí dụ đặc trưng các mỏ thuộc về một nhóm là cần thiết để làm sáng tỏ ý nghĩa của chúng trong cách phân loại. Một cách tiện ích nhất để phân loại các mỏ khoáng là sắp xếp chúng dưới dạng ma trận của các nguyên tố hàng hóa chính được tạo ra (như Cu, Zn, Pb, Sn, Au, hay Ag), các đặc điểm quặng và đá vây quanh (*bảng 1*).

Bảng 1. Các kiểu mỏ khoáng lựa chọn được bố trí theo biểu hiện quặng nguyên sinh và đặc điểm đá vây quanh

Nguyên sinh	Đặc điểm quặng/đá vây quanh			
	Đặc xít/Silicat	Xâm tán/Silicat	Đặc xít/Carbonat	Xâm tán/Carbonat
Vàng-bạc	Mạch Au-thạch anh-giàu sulfid	- Mạch Au thạch anh-sericit - Mạch Au-thạch anh-turmalin - Mạch thạch anh-Au ít sulfid - Mạch Au-Ag		
Đồng	- Kiểu Sin Quyền - Kiểu colchedan Bó Xinh (Sơn La) - Magma Ni-Cu (Bản Phúc)	- Porphyr (Pô Cô) - Trầm tích (Biển Động)	- Skarn - Kiểu mỏ Hồng Thu (Lai Châu)	
Chi-kẽm	- Trầm tích-núi lửa Kiểu Tú Lệ		- Nhiệt dịch kiểu Chợ Điền - Skarn (Phú Lội, Nghệ An)	
Antimon		Antimonit-arsenopyrit -Au Kiểu Đầm Hồng-Chiêm Hóa	Antimonit đặc xít Kiểu Mậu Duệ	
Thủy ngân	- Silic-carbonat Hg	- Kiểu Thần Sa - Sb-Hg (Vàng Pục)	- Sb- Hg (Yên Vệ)	- Silic-carbonat Hg

Các kiểu mỏ dựa theo "Tài nguyên và khoáng sản Việt Nam" Cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam, 2000 [12]

Chẳng hạn, khi nguyên tố hàng hóa là Cu thì không có nghĩa là ta chỉ lưu tâm đến riêng nguyên tố này mà phải có lượng thông tin chung về địa hóa và các đặc điểm cấu trúc của mỏ. Mặc dù sự phân loại các kiểu mỏ ở nước ta còn chưa được đầy đủ do nhiều điểm quặng hóa chưa được nghiên cứu chi tiết, song bảng này vẫn mang hàm ý địa hóa quan trọng đối với tác động môi trường về tiềm năng tạo dòng acid và khả năng trung hòa acid. Cách tiếp cận ma trận này làm nổi bật ưu thế của các mô hình địa môi trường, bởi vì nó tạo ra một khuôn mẫu mà trên đó bao trùm những hiểu biết sâu sắc từ các đặc điểm nguồn gốc của các kiểu mỏ riêng biệt.

3.2.5. Các kiểu mỏ có liên quan

Cần nhận thức rằng các mỏ khoáng là những biểu hiện các hợp phần của các hệ địa hóa lớn hơn, phức tạp hơn. Như vậy, các hợp phần khác của các hệ phức tạp này có thể tự biểu thị dưới dạng các kiểu mỏ khoáng khác nhau, chúng có thể có hành vi khác nhau trong môi trường và thể hiện các vấn đề môi trường tiềm ẩn. Thí dụ, một tổ hợp quặng vàng thường gặp gồm các mỏ sulfid đặc xít chứa vàng (các mỏ vàng giàu sulfid) và các mỏ thạch anh-vàng ít sulfid dạng mạch. Các mỏ sulfid đặc xít thường gắn liền với sự tạo dòng acid do chúng giàu pyrit, còn các mỏ thạch anh vàng ít sulfid dạng mạch thì ít hoặc không tạo ra dòng acid. Tuy nhiên, từ lâu đời nay quy trình hỗn hồng thủy ngân vẫn là công nghệ thường được sử dụng để cô đọng vàng từ loại quặng này. Như vậy, trong các lưu vực

có chứa cả hai kiểu mỏ này thì loại đất ngập nước nhân tạo dùng để xử lý các vấn đề dòng acid thì lại có thể làm trầm trọng thêm vấn đề ô nhiễm thủy ngân do tạo ra môi trường khử làm gia tăng quá trình methyl hóa thủy ngân. Do đó, nhận thức về các kiểu mỏ có liên quan và các đặc tính của chúng có ý nghĩa môi trường rất quan trọng.

3.2.6. Quy mô mỏ

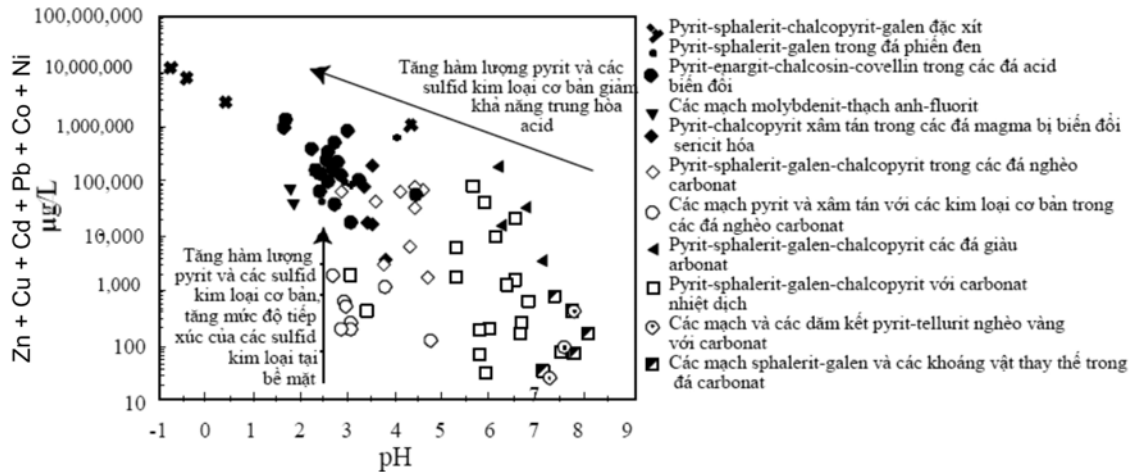
Quy mô mỏ có thể biến đổi theo một số bậc về độ lớn của chúng. Đối với các mỏ sulfid đặc xít trong các trầm tích biển thì một mỏ riêng lẻ có thể chỉ nằm gọn trong một lưu vực của một dòng suối nhỏ thường có nước chảy, còn các mỏ đồng porphyr thì một mỏ riêng lẻ có thể trải rộng trên một vài lưu vực liền kề nhau. Như vậy, mỏ đồng porphyr có ảnh hưởng môi trường rộng lớn hơn hẳn mỏ sulfid đặc xít.

3.2.7. Điều kiện địa chất thủy văn và tiêu thoát nước

Điều kiện thủy văn, đặc biệt mực nước ngầm, là biến số có tính chia khoá trong việc xác định của các vấn đề tháo khô mỏ. Chẳng hạn, mỏ đồng Sin Quyền (Lào Cai) giàu sulfid nhưng nằm trên mực nước ngầm nên tạo ra dòng nước với độ pH khoảng 3,6; mỏ sắt Thạch Khê (Hà Tĩnh) có chứa lượng sulfid hạn chế hơn nhưng lại nằm dưới mực nước ngầm địa phương nên có thể tạo ra nước với độ pH thấp tới 2,8 [12]. Tương tự, điều kiện địa chất của mỏ có thể ảnh hưởng tới sự phân bố đứt gãy và không chế độ thấm, do đó các kim loại và các chất hòa tan có thể đi vào nước ngầm tốt hơn.

Điều kiện địa chất mỏ tạo ra ảnh hưởng chủ yếu tới cả thành phần nền của nước lẫn sự tháo khô mỏ. Những đặc điểm tháo khô thay đổi một cách có hệ thống tùy theo kiểu mỏ (hình 1). Sự gia tăng hàm

lượng các kim loại cơ bản hòa tan thường tương quan với sự gia tăng hàm lượng pyrit đi kèm, sự gia tăng khả năng trung hòa acid và sự gia tăng hàm lượng kim loại cơ bản của các mỏ [7].



Hình 1. Đồ thị của tổng các kim loại cơ bản Cd, Co, Cu, Ni, Pb, và Zn theo pH thể hiện sự biến đổi thành phần hóa học của dòng nước mỏ là một hàm số của các đặc điểm địa chất (kiểu) các mỏ khoáng đặc trưng. Phòng theo Plumlee, Nash (1995) và Plumlee (1999)

3.3. Các tiêu chí về khoáng vật và địa hóa mỏ quặng

3.3.1. Bản chất quặng hóa

Bản chất quặng ảnh hưởng tới cường độ tác động môi trường bất lợi tiềm ẩn và sự tuân thủ theo các phương pháp khai thác khác nhau. Hành vi môi trường tiềm ẩn của một mỏ sulfid đặc xít quy mô nhỏ hiển nhiên khác biệt hẳn với một mỏ đồng porphyr quy mô lớn được đặc trưng bởi các khoáng vật sulfid xâm tán trung bình chỉ chiếm vài phần trăm trong đá. Thí dụ, quặng từ các mỏ sulfid đặc xít thường chứa hơn 50% pyrit hay pyrotin và một vài phần trăm chalcocopyrit, sphalerit, galen. Chalcocopyrit, sphalerit và galen được thu hồi do giá trị kinh tế của chúng, còn hầu hết pyrit và pyrotin cuối cùng được đưa ra các bãi thải. Tại các mỏ lâu năm, các chất thải sulfid sắt được thải ra mà người ta ít quan tâm tới ảnh hưởng môi trường. Ngược lại, quặng porphyr điển hình chỉ gồm vài phần trăm các khoáng vật sulfid. Còn về quy mô mỏ porphyr điển hình ít nhất là lớn hơn mỏ sulfid đặc xít điển hình, do đó tạo ra nhiều vật chất thải hơn.

3.3.2. Thành phần khoáng vật nguyên sinh và tính phân đới quặng hóa

Thành phần khoáng vật nguyên sinh của các

mỏ khoáng là nguồn cơ bản của các kim loại, độ acid và trong một số trường hợp tạo ra cả độ kiềm trong các hệ này. Ngoài ra, nhiều mỏ khoáng nhiệt dịch có tính phân đới. Chẳng hạn, các hệ mỏ đồng porphyr có thể chứa một lượng đáng kể chì và kẽm. Tuy nhiên, các đới giàu chì và kẽm thường phân bố ở phần rìa của các đới giàu đồng của các mỏ này và chúng ít khi được khai thác. Sự có mặt của pyrit cũng là nguồn của các hợp chất sắt hòa tan, nó làm tăng khả năng phát sinh acid của quá trình phong hóa các khoáng vật sulfid đơn như sphalerit hay galen [9]. Người ta đã chứng minh rằng hành vi của các khoáng vật trong quá trình phong hóa có thể biến đổi tùy theo sự khác biệt về đặc điểm hình thái và thành phần các nguyên tố vết. Chẳng hạn, môi trường trầm tích có thể chứa pyrit vi tinh thể “dạng bột”, loại này bị phân ứng mạnh hơn các tinh thể pyrit lớn đặc xít lập phương. Ngoài ra, pyrit có chứa hàm lượng đáng kể arsen sẽ bị oxy hóa nhanh hơn pyrit không chứa arsen [9].

Nghiên cứu thành phần khoáng vật có ý nghĩa quan trọng bởi vì: (i) các khoáng vật quặng và phi quặng (bị thải loại) nguyên sinh là nguồn phát sinh các kim loại và các nguyên tố khác vào môi trường nước thông qua phong hóa, (ii) các phản ứng phong hóa có thể phát sinh hoặc tiêu thụ acid (H^+),

(iii) nhiều khoáng vật thứ sinh đã hình thành trong quá trình phong hóa có thể tách bỏ các kim loại một cách vĩnh viễn hoặc tạm thời, quay vòng chúng, đồng thời phát sinh hoặc tiêu thụ acid trong các phản ứng xảy ra nhanh do có sự thay đổi về độ ẩm, nhiệt độ, hoặc độ pH trong môi trường mỏ. Độ pH của dòng nước mỏ thay đổi tùy thuộc vào sự cân bằng giữa các phản ứng phát sinh và tiêu thụ acid trong quá trình phong hóa, tốc độ tương đối của các phản ứng này và độ bền vững của các khoáng vật tham gia vào các phản ứng. Kiến thức về khoáng vật học các chất thải mỏ có thể dẫn đường cho việc chọn lựa các phương pháp thích hợp nhất để tính toán độ acid-base, bởi vì kết quả của các phương pháp khác nhau biến đổi tùy thuộc vào sự có mặt của các khoáng vật trong các nguồn phát sinh acid và các khoáng vật có khả năng trung hòa acid. Đặc điểm khoáng vật học cung cấp thông tin về: (i) nguồn phát sinh và nhận dạng được các kim loại gây ô nhiễm và độ acid tiềm ẩn, (ii) nguồn trung hòa acid, (iii) sự có mặt các khoáng vật có thể góp phần vào việc tính toán khả năng trung hòa acid trong phòng thí nghiệm, nhưng lại có hành vi khác nhau trong điều kiện tại hiện trường, (iv) các thành phần hòa tan và không hòa tan của vật chất đất, (v) ảnh hưởng của kết cấu và kích thước hạt đến phản ứng của khoáng vật khác nhau. Nhiều hoạt động tích cực của các mỏ được khởi động từ việc kết hợp với việc nghiên cứu chi tiết đặc tính khoáng vật học nhằm hướng tới kế hoạch giảm nhẹ thiên tai.

3.3.3. Thành phần khoáng vật thứ sinh

Thành phần khoáng vật thứ sinh được thành tạo trong quá trình phong hóa mỏ hay bãi thải thì dù nhanh hay chậm đều có xu thế giải phóng ra các kim loại và (hoặc) phát sinh độ acid. Điều kiện nhiệt đới ẩm như nước ta, nhiều mỏ sulfid bị lộ ra và bị phong hóa tạo ra các khoáng vật thứ sinh, điển hình là mỏ chì-kẽm Chợ Điền (Bắc Kạn). Tại đây, phần lớn quặng được khai thác là quặng oxy hóa. Trong đới oxy hóa, các oxyt sắt bị hydrat hóa có thể hấp phụ các kim loại trên bề mặt, còn các muối sulfat kim loại như melanterit lại tạm thời lưu giữ lại các kim loại và độ acid trong giai đoạn mùa khô. Các muối này nhanh chóng bị hòa tan trong mùa mưa và giải thoát các kim loại và acid vào lưu vực xung quanh. Đối với nhiều kiểu mỏ, quá trình oxy hóa các quặng nguyên sinh trước khi khai thác lại là yếu tố đáng kể cho quá trình làm giàu một số kim loại như Cu, Ni, ... đạt tới giá trị kinh tế.

3.3.4. Thành phần hóa học các nguyên tố vết của mỏ

Hầu hết các mỏ chỉ được thăm dò và đánh giá theo một vài (hay ít hơn) các nguyên tố hàng hóa, song các mỏ thường có thể có nhiều nguyên tố độc hại mà trong đánh giá chất lượng kinh tế cần lưu tâm. Cadmi trong các mỏ chì-kẽm rất hiếm khi thu hồi được dưới dạng hàng hóa nguyên sinh, thậm chí nó có mặt khắp nơi do nó thay thế dễ dàng cho kẽm trong sphalerit. Tương tự, arsen là nguyên tố thường gặp trong nhiều kiểu mỏ quặng dưới dạng dung dịch cứng trong pyrit hay dưới dạng arsenopyrit. Cả pyrit và arsenopyrit đều bị loại vào chất thải. Do đó, sự hiểu biết về địa hóa các nguyên tố vết của mỏ là rất cần thiết để xác định được tất cả các tác động môi trường tiềm ẩn.

Phân tích thành phần hóa học rất quan trọng vì các kim loại độc hại tiềm ẩn như cadmi, selen, ... thường tồn tại dưới dạng các hợp phần phụ, các dung dịch rắn trong các khoáng vật quặng như sphalerit hoặc galen và sự hiện diện của chúng có thể không được biểu lộ rõ thông qua kiểm tra ngẫu nhiên các tổ hợp khoáng vật quặng. Nhiều khoáng vật thứ sinh có thể gặp dưới dạng vật chất hạt rất mịn hoặc kết tinh kém, chúng có khả năng hấp phụ các kim loại tùy thuộc vào điều kiện cụ thể. Chúng cũng có thể hình thành các dung dịch rắn phức tạp gắn kết các kim loại hoặc chỉ tồn tại tạm thời vì chúng có thể kết tủa và hòa tan trong vài giờ tùy thuộc vào những thay đổi về môi trường tại chỗ.

3.4. Các tiêu chí về khai thác và chế biến quặng

3.4.1. Phương pháp khai thác

Đặc điểm địa chất của mỏ quyết định các phương pháp khai thác. Các mỏ lộ thiên thường khai thác theo các moong chủ yếu bằng phương pháp nổ mìn. Các mỏ ẩn sâu thì khai thác bằng hầm lò. Những khác biệt về thủy văn giữa các mỏ dưới sâu và các moong khai thác lộ thiên là đáng kể. Nồng độ chất bay hơi troi hơn hẳn trong điều kiện khai thác mỏ lộ thiên. Nếu xét tới các mỏ đã đóng cửa thì tiến trình kỹ thuật khai thác quặng trong quá khứ có thể gây nên "sự chất đông" chất thải mỏ khác nhau và cung cấp lượng các kim loại khác nhau vào môi trường.

3.4.2. Công nghệ chế biến quặng

Thiết bị và dây chuyền công nghệ đóng vai trò quan trọng trong chất lượng quặng đuôi. Công nghệ kém thì phân đuôi quặng thải ra còn chứa các kim loại hàng hóa và các chất độc hại, Thông

thường chu trình tuyền nổi và các thao tác tách lọc quặng có bổ sung thêm các hóa chất từ ngoài vào. Các hóa chất này cuối cùng đi vào quặng đuôi và được đưa ra bãi thải mỏ. Trong quy trình hỗn hống quặng vàng người ta thường sử dụng công nghệ cyanid hay thủy ngân. Việc sử dụng hỗn hống thủy ngân trước đây để xử lý quặng vàng là nguồn chính gây ô nhiễm thủy ngân tồn lưu tại các khu mỏ đã đóng cửa.

4. Mối quan tâm môi trường tiềm ẩn

Mối quan tâm môi trường tiềm ẩn gắn liền với các mỏ khoáng nhìn chung có thể thuộc ba vấn đề lớn: (i) sự cố sức khỏe con người; (ii) sự cố hệ sinh thái và (iii) các tai biến vật lý. Tất cả các mối quan tâm cốt lõi là có nguyên nhân từ cơ sở địa chất của mỏ khoáng. Sự cố sức khỏe con người (ngoài các tai biến vật lý ra) chủ yếu tập trung vào các kim loại (chì, arsen, selen và thủy ngân) đi cùng với các kiểu mỏ khoáng khác nhau; các nguyên tố và các hợp chất được sử dụng trong quá trình chế biến quặng như thủy ngân và cyanid. Sự cố hệ sinh thái đi liền với độ acid và mức hàm lượng các kim loại. Những tai biến vật lý như các hầm lò hay các moong lộ thiên đều liên quan tới quá trình mở mỏ cần thiết cho việc khai thác các kiểu mỏ khoáng đặc trưng.

5. Kết luận

Trong khuôn khổ bài báo này, chúng tôi giới thiệu một cách tổng quát về mô hình địa môi trường, đó là sự thể hiện bộ sưu tập các số liệu trên cơ sở kinh nghiệm để tạo ra khả năng dự đoán một cách đúng đắn phạm vi tác động môi trường của việc khai thác và chế biến các mỏ khoáng kim loại. Hiện nay, việc ứng dụng các mô hình địa môi trường đã được phát triển rất rộng rãi trên thế giới. Tuy nhiên, ở Việt Nam, đây là vấn đề mới được đề cập tới. Chúng tôi đang tập trung áp dụng mô hình này vào một số kiểu mỏ khoáng nhất định, chủ yếu là các mỏ đang được khai thác và hiện đang có vấn đề về môi trường và lấy đó làm chìa khóa của việc đánh giá dự báo môi trường các mỏ. Các mô hình riêng lẻ cũng đã được trình bày trong nghiên cứu mỏ chì kẽm Chợ Điền và trong khuôn khổ kết quả đề tài cấp Nhà nước KC-08-27-06/10, đã giới thiệu các mô hình đối với một số kiểu mỏ kim loại khác nhau. Trên cơ sở nghiên cứu thành phần khoáng vật và địa hóa các mỏ này thì các vấn đề môi trường tiềm ẩn của từng mỏ đã được xác định dự báo một cách đúng đắn.

Lời cảm ơn: Công trình là tổng hợp kết quả nghiên cứu với sự tài trợ của Quỹ Khoa học Cơ bản Nhà nước NAFOSTED và Chương trình Khoa học trọng điểm cấp Nhà nước KC-08. Các tác giả chân thành cảm ơn và hy vọng rằng, các mô hình địa môi trường sẽ được phát triển rộng rãi trong việc đánh giá và dự báo các vấn đề môi trường tại các mỏ khoáng ở nước ta.

TÀI LIỆU DẪN

[1] *Bailey R.G.*, 1996: *Ecosystem Geography*: Springer, New York, 241p.

[2] *Barton P.B. Jr.*, 1993: *Problems and opportunities for mineral deposit models*, in Kirkham, R.V., Sinclair, W.D.,

[3] *Cox D.P. and Singer, D.A.*, eds., 1986: *Mineral deposit models*: U.S. Geological Survey Bulletin 1693, 379p.

[4] *Jensen M.L. and Bateman A.M.*, 1979: *Economic Mineral Deposits*: 3rd edition, John Wiley and Sons, New York, 593p.

[5] *Lindgren W.*, 1933: *Mineral Deposits*: 4th edition, McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, 930p.

[6] *Park C.F. Jr. and MacDiarmid R.A.*, 1975: *Ore Deposits*: 3rd edition, W.H. Freeman and Company, San Francisco, 529p.

[7] *Plumlee G.S.*, 1999: *The environmental geology of mineral deposits*, in Plumlee, G.S., and Logsdon, M.J., eds., *Environmental Geochemistry of Mineral Deposits, Part A: Processes, Techniques, and Health Issues: Reviews in Economic Geology*, v. 6A, p. 71-116.

[8] *Plumlee, G.S., Smith, K.S., Montour, M.R., Ficklin, W.H., and Mosier, E.L.*, 1999. *Geologic controls on the composition of natural waters and mine waters draining diverse mineral-deposit types*, in Filipek, L.H., and Plumlee, G.S., eds., *The Environmental Geochemistry of Mineral Deposits, Part B: Case Studies and Research Topics: Reviews in Economic Geology*, v.6B, p.373-432.

[9] *Plumlee G.S.*, and *Nash J.T.*, 1995: *Geoenvironmental models of mineral deposits - fundamentals and applications*: U.S. Geological Survey Open-File Report 95-831, p.1-9.

- [10] *N. Håkan Tarras-Wahlberg, L.T. Nguyen*, 2008: Environmental regulatory failure and metal contamination at Giap Lai pyrite mine, North Vietnam. *Journal Environmental Management* 86, 712-720.
- [11] *Nguyen Van Pho*, et al, 2006: Migration capacity of lead in environment and problem of lead pollution in Cho Dien lead-zinc deposit, *Geology, Serie B, No.27, pp.79-86*.
- [12] *Tài nguyên và khoáng sản Việt Nam*, 2000: Cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam, Hà Nội.
- [13] *Смирнов В. И.*, 1968: Генезис эндогенных рудных месторождений. Изд. "Недра". Москва.

SUMMARY

Geoenvironmental models of mineral deposits and their significant in determining the effects of mining processes

Geoenvironmental models are natural extensions of mineral deposit models. A geo-environmental model of a mineral deposit is a compilation of geologic, geochemical, geophysical, hydrologic and engineering information pertaining to the environmental behavior of geologically similar mineral deposits prior to mining, and resulting from mining, mineral processing, and smelting. So it provides information about natural geochemical variations associated with a particular deposit type, and geochemical variations associated with its mining effluents, wastes, and mineral processing facilities, including smelters. Geoenvironmental models are best used as guidelines for potential ranges of environmental signatures that may apply to the site. Data include information about waters and solids, so the minimum background in geochemical concepts that are fundamental to geoenvironmental models.

Brief descriptions of key elements of a geoenvironmental model are the salient features of categories on the point of view: each mineral deposit is unique unto itself, and each class of mineral deposit is also unique. The categories include; natural geographical conditions, geology of deposit, mineralogy and geochemistry of deposit, mining and ore processing methods. These categories may be changed in particular deposits, but some degree of flexibility must be maintained in the features considered essential for a given model.