

## Phương pháp địa hóa tìm kiếm khoáng sản

Nguyễn Văn Phò. Viện Địa chất,  
Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam.

### Giới thiệu

Phương pháp địa hóa tìm kiếm khoáng sản được A. E. Fersman đề xướng vào năm 1930 dựa trên cơ sở các quy luật phân bố, di chuyển của các nguyên tố nhằm phát hiện các mỏ khoáng. Từ đó đến nay phương pháp này được phát triển ở nhiều nước trên thế giới và đã có những bước tiến lớn, trở thành một trong những kỹ thuật quan trọng, có hiệu quả trong tìm kiếm khoáng sản. Đó là kết quả của sự phát triển của phương pháp phân tích nhanh chóng và chính xác để xác định hầu hết các nguyên tố của bảng tuần hoàn. Bối cảnh này đã tạo điều kiện cho việc luận giải về bản chất của các vành phân tán nguyên sinh và thứ sinh có liên quan với hầu hết các mỏ.

### Đối tượng cuối và đối tượng trung gian

Đối tượng cuối cùng của công tác tìm kiếm khoáng sản nói chung và tìm kiếm địa hóa nói riêng là các mỏ khoáng. Theo quan niệm địa hóa, các mỏ khoáng hay thân quặng là các đá, trong đó tập trung những nguyên tố hóa học hay các khoáng vật hữu ích và có thể tách ra để phục vụ cho phát triển kinh tế. Tuy nhiên, do đặc tính hiếm, nên việc phát hiện mỏ (đặc biệt là mỏ ẩn) luôn luôn là một vấn đề khó khăn phức tạp và thường gặp nhiều rủi ro. Do đó, để đạt được mục tiêu là phát hiện các mỏ trong điều kiện hiện tại thì điều quan trọng nhất là phải nghiên cứu, phát hiện và đánh giá sơ bộ các đối tượng trung gian, đó chính là các dị thường có liên quan tới các

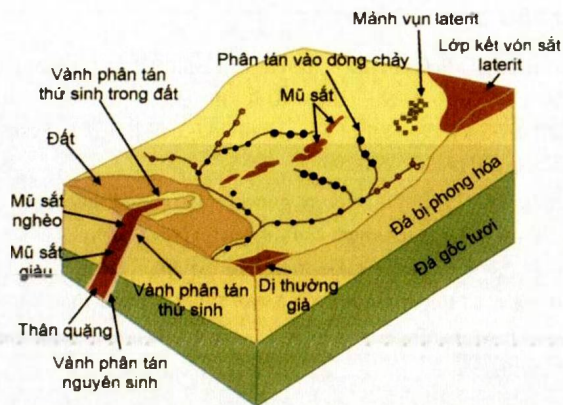
vùng, các đới, các cấu trúc, các khối và các thể địa chất khác có triển vọng mà trong phạm vi của chúng có thể phát hiện các mỏ. Vậy đối tượng tìm kiếm địa hóa trung gian chính là các dị thường địa hóa có qui mô và loại hình khác nhau. Đối với các mỏ cụ thể thì đối tượng tìm kiếm trung gian chính là các vành phân tán địa hóa.

### Vành phân tán địa hóa

*Vành phân tán địa hóa* là đới dị thường các nguyên tố quặng và các nguyên tố đi kèm bao quanh các thân quặng, các mỏ. Nói cách khác, vành phân tán địa hóa chính là các dị thường địa hóa có liên quan tới mỏ hay biểu hiện quặng cụ thể [H.1]. Căn cứ vào cơ chế và thời gian thành tạo các vành phân tán địa hóa có thể phân ra vành phân tán nguyên sinh và thứ sinh.

*Vành phân tán nguyên sinh* được hình thành đồng thời (đồng sinh) hoặc sau (hậu sinh) quá trình tạo quặng. Các vành phân tán nguyên sinh thường không có ranh giới không gian rõ ràng với các đá vây quanh.

*Vành phân tán thứ sinh* là các dị thường địa hóa được tạo ra trong các môi trường khác nhau: các trầm tích, nước, khí và lớp phủ thực vật, do kết quả phân hủy, biến đổi thành phần các thân quặng trong quá trình phong hóa. Vành phân tán thứ sinh trong các dòng chảy còn được gọi là dòng phân tán.



Hình 1. Các vành phân tán địa hóa xuất phát từ mỏ quặng bị phong hóa (Theo Butt và Smith, 1980).

Sự có mặt vành phân tán và dị thường địa hóa có quy mô và loại hình khác nhau quyết định các phương pháp tiếp cận địa hóa để từ đó đề xuất các phương pháp tìm kiếm địa hóa nhằm phát hiện các mỏ khoáng. Có thể có hai nhóm phương pháp chính là nhóm phương pháp địa hóa nguyên sinh và nhóm phương pháp địa hóa thứ sinh. Tuy nhiên, trong thực tế tìm kiếm địa hóa người ta thường gọi tên các phương pháp theo môi trường lấy mẫu và gồm các phương pháp sau.

- 1) Phương pháp thạch địa hóa nguyên sinh (đá gốc);
- 2) Phương pháp thạch địa hóa thứ sinh (trầm tích bờ rời);
- 3) Phương pháp thủy địa hóa (nước và trầm tích dòng chảy);
- 4) Phương pháp khí địa hóa;
- 5) Phương pháp sinh địa hóa.

**Phương pháp thạch địa hóa nguyên sinh**

Phương pháp thạch địa hóa nguyên sinh chính là phương pháp địa hóa đá gốc nhằm phát hiện những dấu hiệu địa hóa có liên quan về không gian với khoáng hóa, dựa trên những biến đổi hóa học trong đá được tạo nên bởi quá trình tạo khoáng và phân biệt các thể địa chất có khả năng chứa khoáng hóa. Tùy theo quy mô khảo sát, phương pháp thạch địa hóa đá gốc được áp dụng trong tất cả các giai đoạn tìm kiếm-thăm dò.

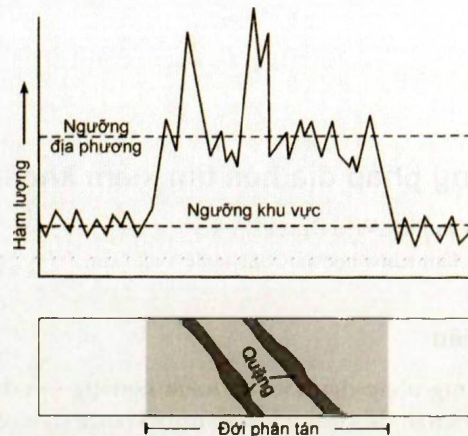
**Quy mô phân tán địa hóa nguyên sinh**

Theo sự phân tán địa hóa các nguyên tố trong đá gốc có thể phân ra hai loại là quy mô phân bố khu vực và quy mô phân bố địa phương.

Quy mô phân bố khu vực thường có diện phân bố rộng tới hàng trăm kilomet vuông, trong đó có các tỉnh địa hóa nguồn gốc magma và các tỉnh địa hóa nguồn gốc trầm tích. Dị thường của các nguyên tố chỉ thị ở quy mô khu vực thường là sinh cùng với khoáng hóa. Ví dụ, các kim loại cơ bản có thể thay thế đồng hình trong silicat ở mức độ nhất định trong

quá trình kết tinh các magma khác nhau. Ngưỡng địa hóa khu vực thường xuất phát từ hàm lượng nền trung bình của toàn vùng nghiên cứu [H.2].

Quy mô phân bố địa phương thường là các vành phân tán có diện phân bố hẹp và phát triển tốt nhất xung quanh các đới khoáng hóa, đặc biệt là xung quanh các mỏ nhiệt dịch. Các vành phân tán trong các đá vây quanh này có ngưỡng địa hóa cao hơn ngưỡng khu vực [H.2] và được hình thành đồng thời với khoáng hóa, nhưng chủ yếu là các quá trình sinh sau và có thể gặp trong tất cả các kiểu mỏ có nguồn gốc khác nhau. Trong đá vây quanh các mỏ dạng tầng có nguồn gốc trầm tích thường có các vành phân tán rộng. Cần đặc biệt lưu ý tới các quy mô phân bố xung quanh mỏ với khoảng cách vài chục mét tính từ rìa thân quặng.



Hình 2. Sự thể hiện các ngưỡng địa hóa khu vực và địa phương (Theo Aristov. V.V., 1984).

**Khảo sát địa hóa đá gốc**

Công tác khảo sát địa hóa đá gốc được triển khai theo quy mô phân tán địa hóa từ kết quả khảo sát định hướng sơ bộ khu vực và khảo sát chi tiết địa phương. Các nguyên tố chỉ thị và mật độ lấy mẫu đối với các đới tương ứng ở các quy mô khác nhau được tóm lược ở Bảng 1.

**Khảo sát địa hóa đá gốc khu vực**

Công tác khảo sát này thường được triển khai ở tỷ lệ nhỏ 1:1.000.000 đến 1:200.000 nhằm phát hiện các tỉnh địa hóa có tiềm năng sinh khoáng cao. Hầu hết những công tác này được thực hiện tại một vùng bằng cách lấy mẫu theo mạng lưới.

Một hoặc vài loại đá có thể được lựa chọn để lấy mẫu phân tích. Các mẫu được lấy ở các điểm lộ đá gốc hoặc từ các công trình hào nếu khu vực bị phủ dưới lớp vỏ phong hóa và các trầm tích bờ rời. Chất lượng và tính đại diện của vật liệu được lấy mẫu là vấn đề then chốt trong công tác khảo sát khu vực. Để xác định đặc tính các nguyên tố vết của một loại đá magma đồng nhất (vài chục km<sup>2</sup>), ít nhất phải lấy được 30 mẫu đá tươi, mỗi mẫu phải bảo đảm đủ tính

đại diện của đá đó. Mặt khác, cần khẳng định chắc chắn là vật liệu thuộc về cùng một pha magma.

**Bảng 1.** Các nguyên tố và mật độ lấy mẫu đối với mục tiêu ở các quy mô khảo sát khác nhau.

Quy mô	Đối tượng	Các nguyên tố		Mật độ mẫu
		Phi quặng	Quặng	
Khu vực	Các thể magma triển vọng	K,Rb,Sr,Ba, Li,Na,Ca	Cu,Pb,Zn, Sn, W,Mo,U	Khu vực
	Sulfid đặc sít	Fe,Na,Mg,Mn,Na,(K),(Ca),(Ba)	Cu,Zn,Pb	
	Mạch và thay thế	As,Sb,Ta,Bi	Cu,Pb,Zn Au,Ag	
Địa phương và mỏ	Porphyr	K,Ca,Rb,Sn,Mn,(Mg)	Cu,Zn, Mo,S	Địa phương và mỏ
	Sulfid đặc sít	Fe,Mn,Na,K,Ca,Mg,(H <sub>2</sub> O),(Rb),(Sr)	Cu,Pb,Zn,(S)	
	Mạch và thay thế		Cu,Pb,Zn, Au,Ag	

( Govett, 1978).

Trên cơ sở kết quả phân tích có thể xác định được tính chuyên hóa địa hóa được đặc trưng bằng sự tích tụ hay nghèo đi các nguyên tố nhất định trong một hay tất cả các loại đá thường gặp. Ví dụ, granitoid đi cùng với các mỏ thiếc thường có hàm lượng thiếc cao hơn hẳn so với granitoid không chứa khoáng hóa; đồng thời có sự giàu lên các nguyên tố Li, F, Be, Rb và sự nghèo đi của bari (Ba).

**Khảo sát địa hóa đá gốc địa phương**

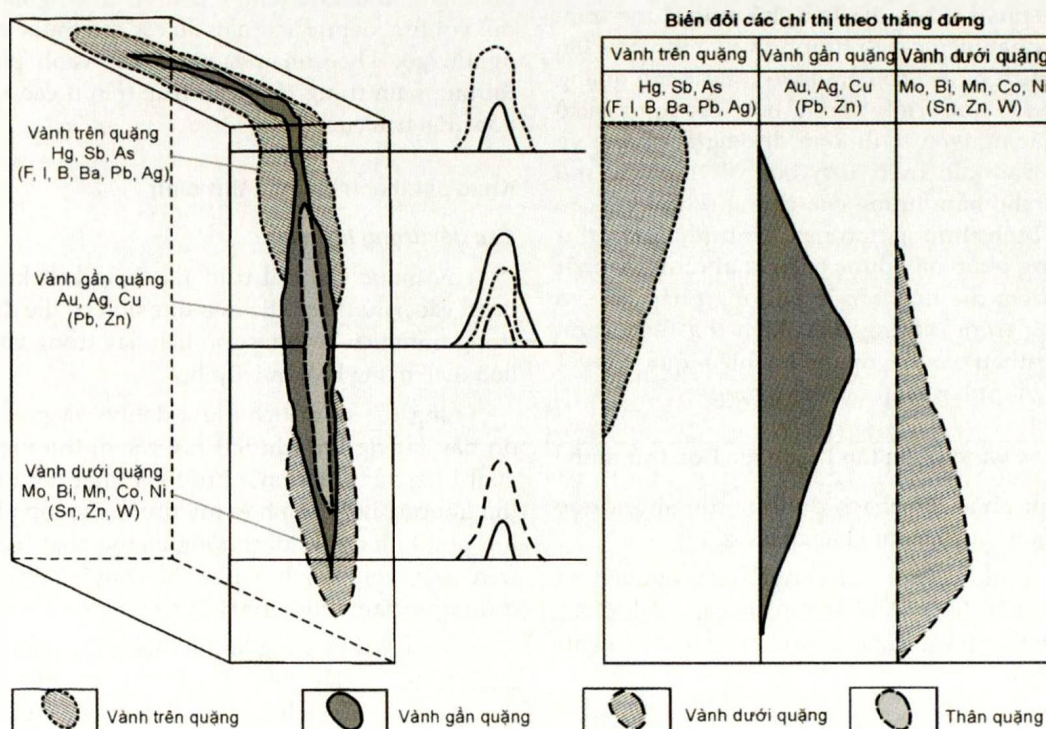
Công tác khảo sát địa hóa đá gốc ở quy mô địa phương nhằm phát hiện, xác định các vành phân tán nguyên sinh hoặc các vành phân tán thâm lọc có liên quan với mỏ khoáng hoặc tích tụ dầu khí. Vành phân tán có thể là đơn nguyên tố và đa nguyên tố [H.3]. Sự phân tán các nguyên tố vào các đá vây quanh xảy ra trong tất cả các kiểu mỏ, gồm cả mỏ được thành tạo ở dưới sâu có nguồn gốc nhiệt dịch và mỏ dạng tầng có nguồn gốc trầm tích.

Công tác lấy mẫu đá gốc trong khảo sát chi tiết được bố trí theo mạng lưới chủ yếu nhằm vào các đá bị biến đổi để phát hiện các đối tượng:

- 1) Các vành phân tán xung quanh các mỏ sulfur đặc sít có nguồn gốc phun trào;
- 2) Các vành phân tán biến đổi nhiệt dịch xung quanh các khối xâm nhập;
- 3) Các vành phân tán khuếch tán và thâm thấu xung quanh các mỏ dạng mạch.

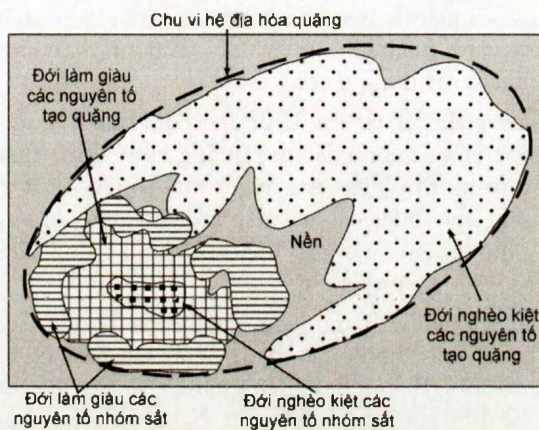
**Tính phân đới địa hóa.** Tính phân đới các dị thường địa hóa xung quanh các mỏ quặng có ý nghĩa quan trọng trong tìm kiếm địa hóa. Các dữ liệu đã được tích lũy cho thấy các vành phân tán nguyên sinh xung quanh mỏ quặng có thể theo chiều thẳng đứng và theo chiều nằm ngang.

Xung quanh các mỏ vàng nhiệt dịch (dạng mạch) ở có thể hình thành các vành phân tán trên quặng (Hg, As, Sb, (B, F, I, Ba)), gần quặng (Au, Ag, Pb, Zn, Cu) và dưới quặng (Bi, Mn, Co, Ni) chồng lẫn nhau. Tính phân đới địa hóa thẳng đứng này có thể được nhận biết đối với các thân quặng riêng lẻ và các quá trình tạo khoáng đơn giai đoạn [H.3].



**Hình 3.** Mô hình phân bố các nguyên tố lý tưởng xung quanh mỏ quặng vàng (Theo Li et al., 1989).

Vành phân tán không chỉ có các đới làm giàu các nguyên tố tạo quặng mà còn có cả các đới nghèo kiệt đi kèm và chúng liên kết với nhau về không gian tạo nên hệ địa hóa riêng biệt [H.4]. Cấu trúc của hệ địa hóa mỏ quặng này được đặc trưng bởi sự phân đới phân cực, trong đó đới làm giàu là nhân của hệ và thường phân bố ở phần bên ngoài của hệ. Theo quy luật, kích thước của đới làm giàu thường nhỏ hơn so với đới nghèo kiệt. Đới ngoài của nhân thường được làm giàu bởi các nguyên tố của nhóm sắt (Fe, Sc, Ti, Cr, đôi khi Zn và/hoặc Cu); bên trong nhân của hệ, các nguyên tố nhóm sắt thường bị nghèo kiệt. Nếu khoáng hóa quặng được đại diện bởi một trong các nguyên tố nhóm sắt thì đới làm giàu bên ngoài được hình thành bởi các nguyên tố khác của nhóm này.



Hình 4. Mô hình đới của hệ địa hóa quặng đa kim.

### Phương pháp thạch địa hóa thứ sinh

Phương pháp thạch địa hóa thứ sinh được triển khai nhằm phát hiện các dị thường và vành phân tán trong trầm tích bờ rời có liên quan tới các mỏ quặng khác nhau. Do quá trình phong hóa, các nguyên tố quặng và các nguyên tố đi kèm được giải phóng và di chuyển vào các trầm tích bờ rời trên các mỏ quặng, làm cho hàm lượng của chúng ở đó tăng cao so với nền bình thường, tạo nên vành phân tán thứ sinh. Phương pháp này được triển khai rộng rãi nhất trong tìm kiếm địa hóa, bởi lẽ phương pháp này có thể áp dụng trong những điều kiện địa hình cảnh quan khác nhau và đã mang lại hiệu quả thuyết phục trong việc phát hiện các mỏ quặng.

### Phân loại các vành phân tán thạch địa hóa thứ sinh

Các vành phân tán thạch địa hóa thứ sinh được phân loại theo các tiêu chí khác nhau sau:

1) Theo phương thức di chuyển các nguyên tố trong vành phân tán có thể phân chia các vành phân tán thứ sinh thành các vành phân tán cơ học và vành phân tán muối.

*Vành phân tán cơ học:* các pha khoáng vật gặp ở trạng thái rắn, thường là các khoáng vật nguyên sinh hay thứ sinh bền trong đới biểu sinh, chúng di

chuyển theo phương thức cơ học, chủ yếu là deluvi trên quặng có bản chất hạt vụn. Phương thức này đặc trưng cho điều kiện phong hóa trên các mỏ không chứa sulfur, trong đó hàm lượng các nguyên tố vết thường liên quan tới sự có mặt của khoáng vật quặng bền như chromit, cassiterit, columbit, v.v...

*Vành phân tán muối (hóa học):* các nguyên tố ở dạng hợp chất tan hình thành các dị thường địa hóa có bản chất hóa học. Phương thức này đặc trưng cho quá trình phong hóa hóa học trên các mỏ của các kim loại dễ tan (evaporit, urani), các muối sulfat kim loại tan trong môi trường phong hóa các mỏ sulfur.

2) Theo vị trí tương đối giữa vành phân tán thứ sinh với thân quặng gốc và vành phân tán nguyên sinh có thể phân ra các vành phân tán tàn dư và vành phân tán chòm phủ.

*Vành phân tán tàn dư* được thành tạo từ thân quặng hay từ vành phân tán nguyên sinh có thể được giữ nguyên trong vỏ phong hóa cùng với đá gốc trước phong hóa. Sự hình thành các vành phân tán tàn dư chủ yếu có liên quan tới cơ chế phân tán cơ học.

*Vành phân tán chòm phủ* được hình thành trong phạm vi, trong đó quặng gốc hoàn toàn vắng mặt trước khi phát triển các quá trình phân tán thứ sinh. Trong các vành phân tán này, các nguyên tố được phân tán chủ yếu theo cơ chế hóa học (muối tan).

3) Theo mức độ xuất lộ của các vành phân tán có thể phân ra: *vành phân tán hở* lộ ra trên mặt đất; *vành phân tán kín* ở dưới độ sâu nhất định dưới mặt đất.

Trong các kiểu vành phân tán thứ sinh, các vành phân tán hở tàn dư (eluvi, deluvi) có ý nghĩa hơn cả đối với tìm kiếm. Điều này do các mỏ thuộc các kiểu nguồn gốc khác nhau tạo nên các vành phân tán thường nằm trong tầng cấu trúc trên ở các khu vực bóc mòn tích cực.

### Khảo sát thạch địa hóa thứ sinh

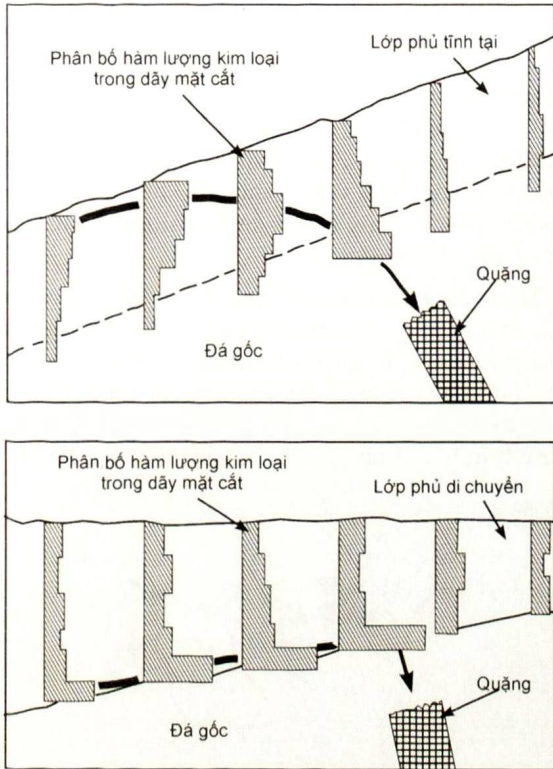
#### Các đối tượng lấy mẫu

Tùy thuộc vào cấu trúc địa chất, điều kiện cảnh quan các mẫu thạch địa hóa thứ sinh có thể được lấy trong trầm tích bờ rời, sườn tích hay trong vỏ phong hóa theo mạng lưới quy định.

Trong các trầm tích eluvi-deluvi và proluvi với độ dày không lớn (dưới 3 m); các dị thường có thể xuất hiện ngay trên mặt hoặc gần mặt đất dưới lớp thổ nhưỡng hoặc sâu hơn tùy thuộc vào lớp phủ. Khi lớp phủ tinh tại thì dị thường có thể phát hiện ngay trên mặt; còn khi lớp phủ bị chuyển dịch thì dị thường sẽ nằm sâu hơn [H.5].

Vỏ phong hóa cũng là đối tượng lấy mẫu địa hóa quan trọng, vì đây chính là các tầng đại diện cho các thể địa chất thứ sinh tại chỗ. Trong các vùng quặng Au, Ni, Co, Al (bauxit), v.v... đã tìm thấy nhiều mỏ hay biểu hiện quặng của các nguyên tố nói trên hình

thành trong mô laterit. Nói cách khác, chúng được tập trung trong quá trình phong hóa. Để lấy mẫu thạch địa hóa dưới sâu cần đào hố hoặc tận dụng các lỗ khoan, giếng nước đã có sẵn.



**Hình 5.** Dạng phân bố kim loại theo chiều sâu, theo đó có thể xác định vị trí thân quặng gốc.

**Độ sâu lấy mẫu**

Công tác lấy mẫu địa hóa trong trầm tích bờ rời được tiến hành ở độ sâu nhất định, thường lấy mẫu trong phần dưới trầm tích bờ rời để có thể định vị được các dị thường có liên quan tới đá gốc một cách rõ ràng hơn.

Các mẫu được lấy từ sườn thung lũng với độ dày lớp phủ vượt quá 3m, từ các khu vực bồi tích của thung lũng, trong các bồn trũng giữa núi và từ cấu trúc sụt lún được lấp đầy bằng các trầm tích bờ rời, bề dày có thể đạt tới 10-20m hoặc hơn nữa - cần sử dụng khoan lấy mẫu.

Trong điều kiện địa chất nhất định có thể phải lấy mẫu tất cả các tầng phong hóa phía trên. Ở một số vùng việc lấy mẫu tầng hữu cơ có hiệu quả, ở một số vùng khác thì lấy mẫu các đới phong hóa bên dưới lại tỏ ra hiệu quả hơn.

**Các dạng mẫu từ các thể địa chất bờ rời**

Đối với trầm tích bờ rời, để thu được khoáng vật nặng và bền cần tiến hành đãi mẫu. Việc nghiên cứu khoáng vật bền, nặng và các mảnh vụn phong hóa ngày càng trở nên hữu hiệu đối với tìm kiếm. Mẫu được lấy thường cần có trọng lượng 30-50g đối với các tập hợp hạt nhỏ xen giữa các tầng hoặc cát, bột.

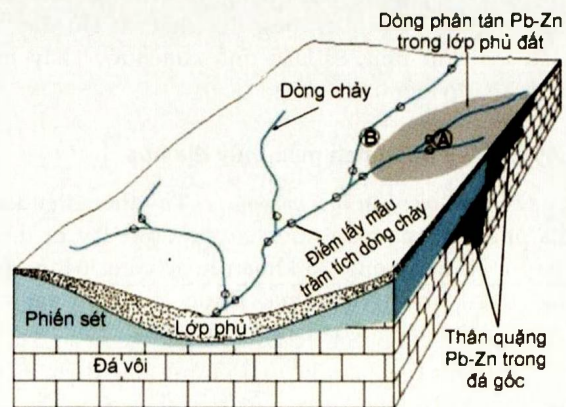
Tại các vùng quặng vàng, các mẫu được lấy cần có khối lượng lớn hơn 100-300g. Để phân tích các nguyên tố phân tán trong một số vùng, phân hạt mịn được lấy mẫu có thể là các mảnh vụn và các tầng lân (như các tầng thạch anh, các tầng mù sắt, galenit). Điều này đã chứng minh hiệu quả trong việc phát hiện ra một số kiểu mô khoáng nhất định. Các mảnh vụn nặng hay nhẹ gặp dọc theo các tuyến mạng lưới lấy mẫu được ghi nhận trực quan và được đưa lên tại mỗi điểm lấy mẫu. Khi tất cả các dữ liệu từ phân tích mảnh vụn được vẽ lên bản đồ, các quạt và các dòng phân tán địa hóa thường được đưa ra mà các điểm đỉnh hoặc bắt đầu thường đánh dấu các vị trí của khoáng hóa nằm dưới.

**Phương pháp thủy địa hóa**

Phương pháp thủy địa hóa dựa trên nghiên cứu thành phần hóa học của nước mặt và nước dưới đất nhằm phát hiện dị thường có liên quan với các mỏ khoáng. Việc phát hiện và luận giải các dị thường đó tạo ra nền tảng của phương pháp tìm kiếm thủy địa hóa. Phương pháp thủy địa hóa đã được áp dụng rộng rãi ở nhiều nước trên thế giới và trở thành công cụ hữu hiệu trong tìm kiếm mỏ khoáng urani, các mỏ sulfur và các khoáng hóa nhiệt dịch khác.

**Sự hình thành dị thường thủy địa hóa**

Khi nước thấm vào thân quặng gần bề mặt trong đới phong hóa, các khoáng vật quặng bị phân hủy và một số nguyên tố bị hòa tan và bị mang đi. Kết quả là tạo ra những dị thường với hàm lượng các nguyên tố tăng cao trong nước ở khu vực lân cận mỏ khoáng. Khi nước dưới đất thoát vào dòng chảy mặt cũng làm hàm lượng các nguyên tố của những dòng nước này cao hơn so với trị số bình thường trong nước [H.6].



**Hình 6.** Thân quặng Pb-Zn bị phong hóa tạo ra vành phân tán địa hóa trong lớp phủ rồi đi vào nước bằng cách cơ học (A) và ngấm theo nước ngầm (B).

Nước mặt và nước dưới đất từ các nguồn lộ là đối tượng chính để nghiên cứu và xác lập những dị thường thủy địa hóa khu vực có liên quan tới

khoáng hóa. Còn nước dưới đất từ các lỗ khoan được sử dụng để tìm kiếm mỏ và thân quặng dưới sâu. Ngoài ra, trong tìm kiếm thủy địa hóa còn kết hợp với lấy các mẫu trầm tích dòng chảy...

Thông thường hàm lượng các nguyên tố chính trong nước ngầm cao hơn trong nước từ các dòng chảy mặt [Bảng 2]. Phần lớn các nguyên tố vết trong nước ngầm cũng có hàm lượng cao hơn so với các dòng chảy mặt.

**Bảng 2.** Hàm lượng các nguyên tố chính trong nước mặt và nước ngầm.

Nguyên tố	Các nguyên tố chính	
	Nước mặt (mg/l)	Nước ngầm (mg/l)
C (HCO <sub>3</sub> )	58	200
Ca	15	50
Cl	7,8	20
K	2,3	3
Mg	4,1	7
Na	6,3	30
S (SO <sub>2</sub> )	3,7	30
Si (SiO <sub>2</sub> )	14	16
pH	-	7,4
TDS	120	350

Nguồn: Rose, Hawkes và Webb, 1987.

Hành vi các nguyên tố trong nước ở đới tiếp xúc với khoáng hóa phụ thuộc vào kiểu khoáng hóa, loại đá chứa, môi trường hóa học và đặc điểm thủy văn. Các yếu tố quyết định sự hình thành và hình dạng của các vành phân tán thủy địa hóa bao gồm: 1) Tính chất lý học và hóa học của dạng di chuyển các nguyên tố; 2) Thành phần của đới khoáng hóa; 3) Khí hậu khu vực (biến đổi khí hậu theo mùa); 4) Địa hình; 5) Thành phần và độ thấm của đá chứa quặng và lớp phủ trên quặng; 6) Hướng chảy của nước ngầm; 7) Môi trường địa chất; 8) Độ dày và kiểu loại lớp phủ; 9) Đặc tính của nước chảy qua (pH, Eh, độ kiềm, v.v...).

### Lấy mẫu và phân tích mẫu thủy địa hóa

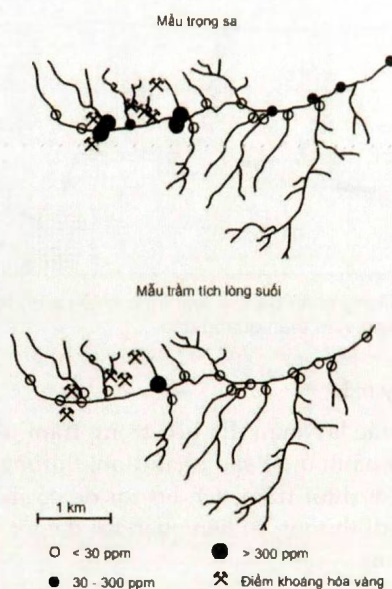
**Lấy mẫu và phân tích mẫu nước:** Tùy theo điều kiện địa phương, các mẫu nước có thể được lấy từ dòng chảy mặt, hồ, giếng, lỗ khoan hoặc công trình khai đào trong mỏ. Nước mặt được lấy mẫu tại các khoảng đều đặn theo mạng sông suối.

Lấy mẫu thủy địa hóa có những đặc điểm riêng tùy thuộc vào việc xử lý mẫu tiếp theo. Các chỉ tiêu pH, Eh và oxy hòa tan (DO) của nước được xác định tại hiện trường. Các mẫu được lấy vào các bình, chai nhựa dung tích từ 0,1 - 0,5 lít. Nước từ các lỗ khoan được lấy bằng dụng cụ chuyên dụng có dung tích từ 0,5 - 1,0 lít. Nếu các mẫu dùng cho phân tích các anion thì không cần lọc, còn các mẫu để phân tích

các nguyên tố vết thì nhất thiết phải lọc qua giấy lọc 0,45µm, sau đó acid hóa đến pH dưới 2 để tránh hấp phụ hay giải phóng CO<sub>2</sub> hoặc oxy hóa các hợp phần nhất định và phải được bảo quản ở nhiệt độ dưới 4°C cho đến khi đem phân tích.

Hàm lượng các nguyên tố vết trong nước thường rất thấp, nhỏ hơn 100ppb, do đó các phương pháp phân tích chính xác và độ nhạy cao là một yêu cầu trong khảo sát thủy địa hóa. Các phương pháp quang phổ hấp thụ nguyên tử (AAS), huỳnh quang (đối với urani) và khối phổ plasma cộng hưởng kép (ICP-MS) là thích hợp nhất trong phân tích các mẫu nước.

**Lấy mẫu và phân tích mẫu trầm tích dòng chảy:** nghiên cứu trầm tích dòng chảy và khoáng vật nặng được thực hiện để xác định hướng di chuyển của các nguyên tố phân tán và khoáng vật dọc theo các dòng chảy mặt trong khu vực [H.6]. Phương pháp này tỏ ra rất hữu hiệu trong tìm kiếm các mỏ vàng [H.7].



**Hình 7.** Các kết quả khảo sát mẫu trọng sa và trầm tích dòng chảy trên mỏ vàng

Các mẫu được thu thập từ trầm tích tươi ở đáy các dòng chảy, phần hạt mịn < 0,063 mm (lưới 80 mesh) thường được sử dụng để phân tích các nguyên tố phân tán hóa học bằng phương pháp ICP-MS hoặc AAS. Các khoáng vật nặng phân tán cơ học thu được từ dải trầm tích được phân tích dưới kính hiển vi và phân tích từ cảm.

### Các nguyên tố chỉ thị thủy địa hóa

Mối liên quan giữa thành phần hóa học của nước với sự có mặt các nguồn lộ xuất phát từ các vỉa quặng là nguyên nhân tạo nên các dị thường thủy địa hóa. Mỗi kiểu mỏ khác nhau tạo ra những dị thường đặc trưng gồm những tổ hợp nguyên tố khác biệt. Những tổ hợp nguyên tố này chính là những

chỉ thị thủy địa hóa cho các kiểu mỏ [Bảng 3]. Sau đây là các chỉ thị có ý nghĩa quan trọng được sử dụng hiệu quả trong tìm kiếm thủy địa hóa.

**Bảng 3.** Các nguyên tố chỉ thị thủy địa hóa của các kiểu mỏ khác nhau.

Kiểu mỏ	Các nguyên tố chỉ thị khoáng hóa	
	Oxy hóa mạnh	Oxy hóa yếu
Đồng - pyrit	Cu, Zn, Pb, As, Ni, Co, F, Cd, Se, Ge, Au, Ag, Sb	Zn, Pb, Mo, As, Ge, Se, F
Đa kim	Pb, Zb, Cu, As, Mo, Ni, Ag, Cd, Sb, Se, Ge	Pb, Zn, As, Mo, Ni
Molybden	Mo, W, Pb, Cu, Zn, Be, F, Co, Ni, Mn	Mo, Pb, Zn, F, As, Li
Wolfram - beryli	W, Mo, Zn, Cu, As, F, Li, Br, Rb	W, Mo, F, Li
Thủy ngân - antimon	Hg, Sb, As, Zn, F, B, Se, Cu	Ag, As, Zn, B, F
Quặng vàng	Au, Ag, Sn, As, Mo, Se, Pb, Cu, Zn, Ni, Co	Ag, Sb, As, Mo, Zn
Quặng thiếc	Sn, Nb, Pb, Cu, Zn, Li, F, Be	Sn, Li, F, Be, Zn
Titan - magnetit	Ti, Fe, Ni, Co, Cr	Ni, Fe
Đồng - nickel	Ni, Cu, Zn, Co, Ag, Ba, Sn, Pb, U	Ni, Zn, Ag, Sn, Ba
Baryt - đa kim	Ba, Sr, Cu, Zn, Pb, As, Mo	Be, Sr, As, Mo
Urani	U, Th, Se, Y, REE, Ti, Fe, As, Pb, P	U, Cu, Ba, Sr, Zn, Pb, As, V

(Theo Beus và Grigorian, 1975)

- Fluor là chỉ thị thủy địa hóa rất tốt cho nhiều kiểu khoáng hóa nhiệt dịch khác nhau [Bảng 3]. Nguyên tố này đã được ứng dụng thành công trong khảo sát ở cả quy mô khu vực và chi tiết bằng cách lấy mẫu nước mặt từ các dòng chảy, đã phân biệt được các kiểu magma granit khác nhau trong các khu vực nghiên cứu và các dị thường tạo nên khoáng hóa. Hiện nay, trong tìm kiếm, phương pháp phân tích các mẫu nước được áp dụng theo đa

nguyên tố, trong đó ngoài chức năng chỉ thị cho khoáng hóa nhiệt dịch, fluor còn được sử dụng làm công cụ kiểm tra nước uống với nồng độ F<sup>-</sup> tối đa cho phép là 1,5mg/l (QCVN 01-2009/BYT).

- Vàng: hàm lượng vàng trong nước đã được phân tích và sử dụng làm chỉ thị trực tiếp trong tìm kiếm các mỏ vàng ở các vùng có các trầm tích phù di chuyên. Các mẫu nước được acid hóa bằng HCl tới pH < 2. Bột than hoạt tính được đưa vào để hấp phụ vàng, sau đó bột than được sấy khô và phân tích bằng phương pháp quang phổ hấp thụ nguyên tử.

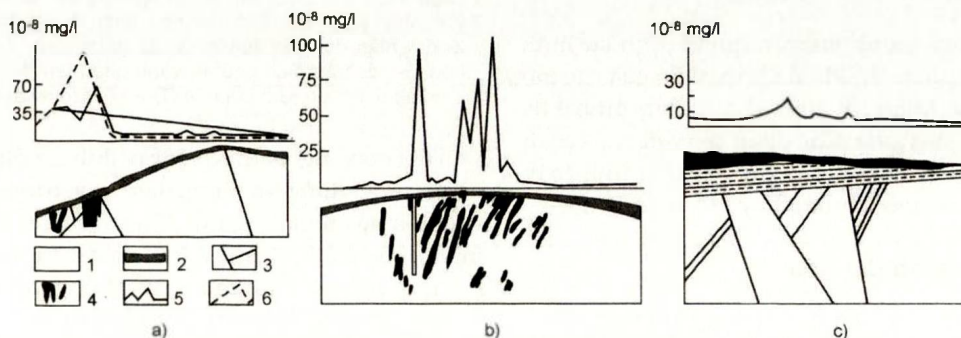
- Urani: với bản chất địa hóa là nguyên tố ưa đá (litophile) và ưa oxy (oxyphile), urani dễ bị oxy hóa thành U<sup>6+</sup> rất linh động khi có mặt của oxy trong nước tự nhiên và ion quan trọng nhất là uranyl UO<sub>2</sub><sup>2+</sup>. Trong nước suối, urani tạo thành các hợp chất với các ion phosphat, carbonat, fluor và sulfat. Dưới điều kiện khử, urani không linh động và được lắng đọng từ dung dịch, nhất là khi có mặt vật chất hữu cơ đang phân hủy. Những biến động theo mùa như thay đổi độ sâu mực nước ngầm đã ảnh hưởng đến quy mô và cường độ của dị thường urani thứ sinh.

**Phương pháp khí địa hóa**

**Các đối tượng lấy mẫu khí địa hóa**

Các khí được sử dụng trong tìm kiếm khoáng sản rất đa dạng, gồm các hydrocarbon, hydro sulfur (H<sub>2</sub>S), và carbon dioxit (CO<sub>2</sub>); các nguyên tố dễ bay hơi như thủy ngân và các vật chất dạng hạt trong không khí có thể được sử dụng làm đối tượng lấy mẫu.

Các khí hydrocarbon được sử dụng rất hiệu quả trong tìm kiếm dầu mỏ và khí tự nhiên. Khí thủy ngân đã được sử dụng rộng rãi trong khảo sát địa hóa khí làm chỉ thị cho các mỏ thủy ngân và các mỏ khoáng sulfur ẩn [H.8]. Lưu huỳnh dioxit (SO<sub>2</sub>) đã được sử dụng làm chỉ thị cho các sulfur bị oxy hóa. Radon và heli là các sản phẩm phân rã dạng khí của các khoáng vật urani nhận được sự chú ý đáng kể làm các chỉ thị địa hóa của khoáng hóa urani. Nồng độ khí radon và heli trong khí đất và trong nước ngầm đã giúp phát hiện được các mỏ khoáng urani ẩn.



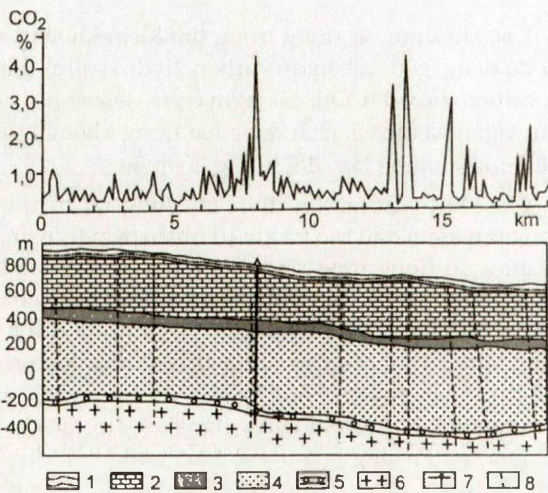
**Hình 8.** Dị thường khí Hg trong khí đất: a) trên các mỏ thủy ngân; b) trên các mỏ đa kim và c) trên các mỏ chì kẽm ẩn. 1- trầm tích bờ rời; 2- tầng trầm tích phù; 3- đứt gãy kiến tạo; 4- thân quặng; 5- đồ thị hàm lượng khí thủy ngân; 6- đồ thị hàm lượng thủy ngân trong pha rắn. (Theo V.V. Aristov, 1984).

Do việc lấy mẫu khí khá phức tạp nên phần lớn các khí được xác định nhờ sử dụng các thiết bị phân tích khí xách tay hiện đại tại hiện trường.

**Nguồn gốc các chất khí**

Trong số các khí của các mỏ quặng có thể phân ra thành 3 nhóm chính: 1) khí sinh cùng với quá trình tạo quặng; 2) khí từ các đứt gãy kiến tạo; 3) khí sinh ra trong quá trình biểu sinh.

Khí sinh ra trong quá trình tạo quặng được chứa trong các bao thể của khoáng vật quặng hay khoáng vật mạch. Đối với nhóm mỏ nhiệt dịch, đó là khí CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>, các halogen bay hơi và các khí khác. Khí từ các đứt gãy kiến tạo có nguồn gốc dưới sâu [H.9], di chuyển theo các đứt gãy kiến tạo không chế quặng, trong đó có các thân quặng. Các khí này (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, He, H<sub>2</sub>) là sản phẩm của các quá trình magma cũng như các sản phẩm phân rã hạt nhân xảy ra trong lòng đất. Nhóm thứ ba gồm các hợp phần (CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> và các khí khác) được tạo ra do các quá trình diễn ra trong đứt biểu sinh của mỏ quặng. Những biến đổi hóa lý của các khoáng vật quặng xảy ra tích cực nhất trong đứt oxy hóa các mỏ quặng sulfur.



**Hình 9.** Hàm lượng CO<sub>2</sub> tăng cao theo các đứt gãy kiến tạo của mặt cắt địa chất. 1-các trầm tích Đệ tứ; 2- đá vôi; 3- argilit; 4-cát kết; 5-cuội kết; 6-granit; 7- lỗ khoan; 8- đứt gãy kiến tạo (Theo Aristov, 1984).

Các khí của cả ba nhóm trên quyết định sự hình thành các vành phân tán khí đa hợp phần của các mỏ quặng; công tác khảo sát thực địa khẳng định khả năng phát hiện ra chúng. Các dạng cân đối của các dị thường khí trên bình đồ theo các kết quả tính toán tương ứng với các mỏ dầu khí hay các vỉa quặng.

**Phương pháp sinh địa hóa**

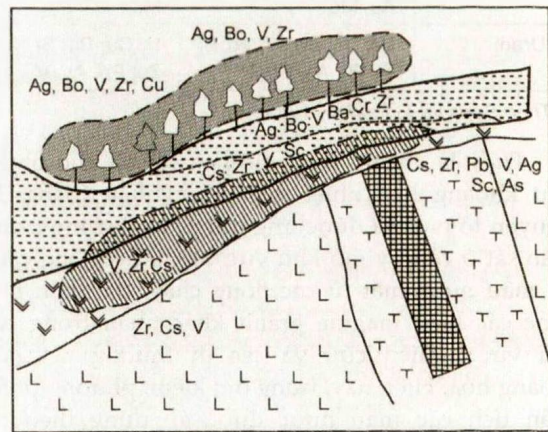
Phương pháp sinh địa hóa tìm kiếm khoáng sản dựa trên nghiên cứu thành phần hóa học của sinh vật, chủ yếu là thực vật. Giữa thành phần hóa học của sinh vật và thành phần của môi trường sống có

mối liên quan hữu cơ và trong một số trường hợp thành phần hóa học của môi trường sống làm xuất hiện một số đặc điểm hình thái của sinh vật. Trong tìm kiếm sinh địa hóa, ngoài việc phân tích thành phần hóa học của sinh vật, còn cần theo dõi đặc điểm hình thái của cây cối, tạo cơ sở cho nghiên cứu địa thực vật.

**Phương pháp sinh địa hóa thực thụ**

Bản chất của phương pháp sinh địa hóa thực thụ là xác định thành phần hóa học của thực vật thông qua mẫu thực vật được thu thập, đốt thành tro và phân tích tro, từ đó phát hiện các dị thường các nguyên tố có trong lớp phủ thực vật. Thông thường, các mẫu được thu thập từ các bộ phận của các cá thể thuộc cùng một loài thực vật, chẳng hạn như cành, lá và hạt.

Kết quả nghiên cứu cho thấy trên các mỏ khoáng đồng, urani, nickel, vàng, bor... xuất hiện những vành phân tán sinh địa hóa [H.10]. Tuy nhiên, phương pháp này chưa được ứng dụng rộng rãi và khi ứng dụng vẫn cần có những thử nghiệm vì vấp phải những khó khăn sau đây: 1) Việc lấy mẫu và xử lý mẫu sinh địa hóa khá phức tạp, do các thảm thực vật thường rất đa dạng và phức tạp; 2) Khi đốt mẫu một số nguyên tố bị bay hơi mất; 3) Kết quả phân tích phụ thuộc vào loại thực vật và thời gian trong năm.



**Hình 10.** Vành phân tán thạch địa hóa tàn dư bị chôn vùi với vành phân tán sinh địa hóa tách rời. 1- thân quặng, 2- đứt biến đổi gần quặng, 3- đá phun trào, 4- vỏ phong hóa, 5- các trầm tích phủ, 6- vành phân tán thạch địa hóa, 7- vành phân tán sinh địa hóa (Theo Glazovskaya, 1972).

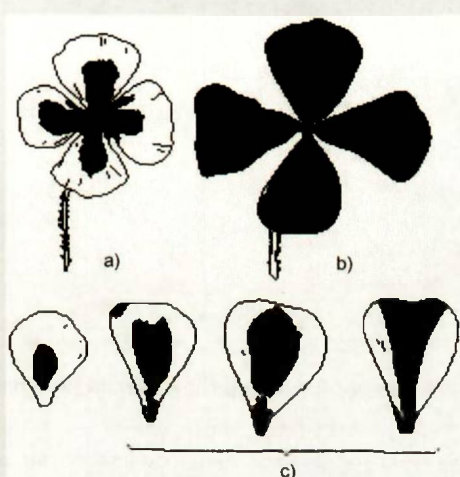
Hiện nay, ngoài thực vật ra, những động vật khác nhau cũng được sử dụng làm đối tượng lấy mẫu sinh địa hóa như cá (gan), động vật thân mềm (phần mềm), côn trùng (toàn cơ thể) và các vi sinh vật. Các kết quả nghiên cứu cho thấy những động vật này thường phản ánh sự có mặt khoáng hóa trong khu vực chúng sống với hàm lượng các nguyên tố khác nhau cao hơn so với hàm lượng bình thường. Sự thích nghi sinh học giữa các loài vi sinh vật với hàm



lượng cao của các nguyên tố ưa lưu huỳnh (chalcophile) đã được nghiên cứu và kiến nghị bổ sung vào công nghệ tìm kiếm các khoáng sản kim loại. Hiệu quả của phương pháp sinh địa hóa thực thụ được nâng cao hơn khi kết hợp với phương pháp địa thực vật.

**Phương pháp địa thực vật**

Phương pháp địa thực vật dựa trên các kết quả nghiên cứu về sự phát triển hình thái thực vật trong quần thể hay từng chủng loại để phát hiện dị thường có liên quan tới khoáng hóa. Những thực vật phát triển trên đất chứa hàm lượng cao kim loại thường có những biến đổi về hình thái và xuất hiện những chứng bệnh như úa vàng, còi cọc hay biến sắc ở lá và hoa [H.11].



**Hình 11.** Biến đổi về màu sắc các cánh hoa anh túc do ảnh hưởng của khoáng hóa Co-Mo. a - hoa bình thường; b - hoa bị biến sắc; c - mức độ biến đổi cánh hoa và tràng hoa (Theo Malyuga, 1964).

Những biến đổi về hình thái của quần thể thực vật trong một vùng có thể được phát hiện trên cơ sở phân tích ảnh viễn thám. Ví dụ, tại Mỹ đã phát hiện sự khác biệt về phổ phản xạ của một số loại cây sinh sống trên diện tích có dị thường Cu và Mo; ở vùng rừng nhiệt đới Amazon đã phát hiện dị thường của những tập hợp thực vật đặc trưng phát triển trên diện tích có quặng đồng porphyrit. Tất nhiên, cũng như phương pháp sinh địa hóa thực thụ, phương pháp này còn phải thử nghiệm và chưa thể thay thế việc phân tích các mẫu địa hóa thông thường.

**Xử lý và luận giải tài liệu tìm kiếm địa hóa**

Xử lý và luận giải các dữ liệu là khâu cuối cùng và rất quan trọng trong tìm kiếm địa hóa. Xử lý dữ liệu địa hóa là hệ thống hóa dữ liệu và biểu diễn chúng dưới dạng toán học hay đồ giải. Luận giải các dị thường địa hóa là sự diễn đạt lý luận về nguồn gốc, xác định sự phân bố các nguyên tố hóa học trong phạm vi trường địa hóa và cuối cùng là thể

hiện mối liên quan của chúng với các khoáng hóa và các mỏ quặng. Công việc này không những đòi hỏi phải có kiến thức tốt về lý thuyết địa hóa mà còn cần có kinh nghiệm thực hành trong việc kiểm tra và đánh giá các dị thường (trên mức nền) của các nguyên tố để từ đó phát hiện được mỏ khoáng.

**Xử lý dữ liệu địa hóa**

Công cụ duy nhất trong xử lý dữ liệu địa hóa là phương pháp toán thống kê, phương pháp này cho phép hệ thống hóa dữ liệu một cách khoa học. Hiện nay, việc sử dụng các phần mềm máy vi tính đã hỗ trợ rất nhiều trong các khâu xử lý. Có ba loại quy trình xử lý dữ liệu thường được sử dụng. 1) Thể hiện các dữ liệu địa hóa theo không gian hai chiều liên quan đến quy trình vẽ đồ thị và khoanh nổi tự động; 2) Thống kê đơn biến – xác định các sưu tập mẫu, các khoảng giá trị nền và ngưỡng dị thường đối với từng nguyên tố; 3) Thống kê đa biến – xác lập các mối tương quan giữa các tổ hợp và giữa một số nguyên tố với nhau trên cơ sở xây dựng các đồ thị của tất cả các cặp dữ liệu, phân tích thành phần chính, phân tích cụm và kiến thức dựa trên các chỉ số của tổ hợp.

Hầu hết các dữ liệu địa hóa đều có phân bố chuẩn (chuẩn thường hoặc chuẩn loga) [H.12]. Các tham số thống kê chủ yếu gồm:

$\bar{x}$  là hàm lượng trung bình hay hàm lượng nền;

S là độ lệch chuẩn;

$\bar{x} \pm S$  là hàm lượng dị thường tối thiểu hay ngưỡng dị thường.

Xác định hàm lượng nền là rất quan trọng, vì chỉ có trên cơ sở hàm lượng nền mới đánh giá được các dị thường. Song hàm lượng nền của mỗi nguyên tố không phải là một đại lượng tuyệt đối mà là một dãy các giá trị, tạo nên khoảng dao động hàm lượng nền [H.12].

**Luận giải dị thường địa hóa**

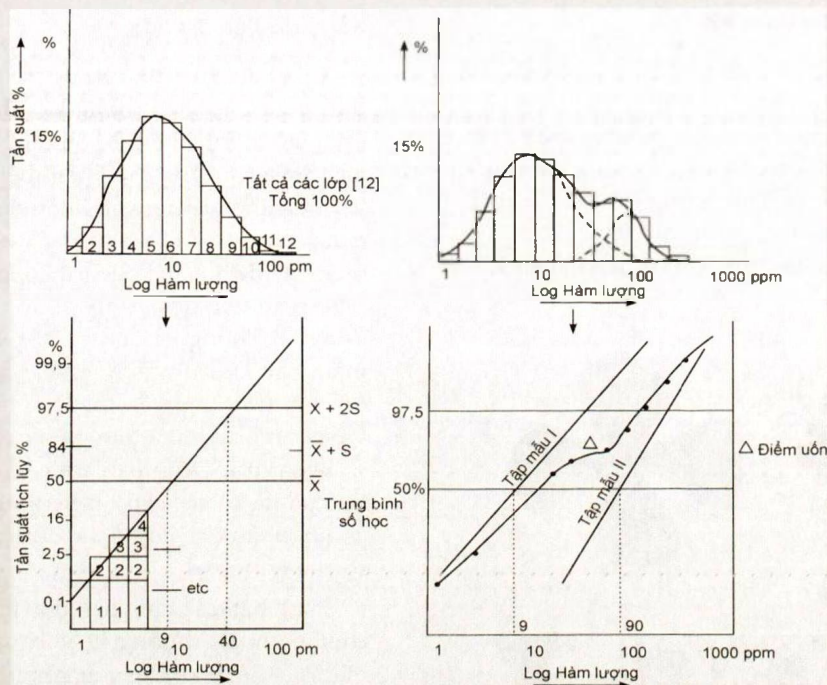
Luận giải các dị thường địa hóa được tiến hành nhằm mục đích đánh giá được các khu vực có triển vọng và gồm các tiêu chí sau: 1) mức trị số hàm lượng các nguyên tố và nền; 2) kích thước của các khu vực dị thường; 3) đặc điểm địa chất; 4) phạm vi ảnh hưởng của môi trường địa phương đến hàm lượng kim loại và hình dáng dị thường; 5) tính phân đới địa hóa của các dị thường và mỏ quặng.

**Tư liệu Việt Nam**

Phương pháp thạch địa hóa thứ sinh đã được các nhà địa chất Xô Viết đưa vào Việt Nam từ những năm 60 của thế kỷ trước và được gọi là phương pháp kim lượng. Các mẫu đất được lấy và phân tích bằng phương pháp quang phổ bán định lượng. Những kết

quả của phương pháp này đã góp phần phát hiện một số mỏ như: mỏ thiếc Sơn Dương, mỏ titan-ilmenit Thái Nguyên, v.v... Vào các năm 70 thế kỷ trước, một số tác giả đã công bố kết quả ứng dụng phương pháp thủy địa hóa trong tìm kiếm mỏ chì kẽm và đồng. Nhưng kết quả phân tích còn tàn mạt

và chưa khoan nổi được các dị thường gần các vùng quặng cụ thể, do đó những kết quả này chỉ mang tính tham khảo. Ngày nay, kỹ thuật phân tích hiện đại đã được phát triển, tuy nhiên do giá thành phân tích cao nên trong các đề án sản xuất, phương pháp địa hóa không được coi trọng.



Hình 12. Biểu đồ tần số (histogram) và đường cong tần suất tích lũy của phân bố log chuẩn các dữ liệu gồm một và hai tập mẫu.

### Tài liệu tham khảo

- Cohen D. R., Kelley D. L., Anand R., and Coker W. B. 2010. Major advances in exploration geochemistry, 1998-2007. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, v. 10, no. 1: 3-16.
- Dunn C. E., 2007. Biogeochemistry in Mineral Exploration. 9 (Handbook of Exploration and Environmental Geochemistry). Elsevier. 480 pgs.
- Goldberg I. S., Abramson G. J., Haslam C. O. and Los V. L., 2003. Depletion and enrichment of primary haloes: their

importance in the genesis of and exploration for mineral deposits. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*. v.3: 281-293.

- Govett G. J. S. (ed), 1983. Rock Geochemistry in Mineral Exploration. *Handbook of Exploration Geochemistry*. v.3. 1-461. Elsevier. Amsterdam.
- Rose, A.W., Hawkes, H. E., and J. S. Webb, 1987. *Geochemistry in Mineral Exploration* (second edition). Academic Press. London. 657 pgs.