

# MAGMA & ĐÁ MAGMA

**Các mục từ:** 1. Magma; 2. Đá magma; 3. Andesit; 4. Basalt; 5. Đá mafic; 6. Đá siêu mafic; 7. Granit; 8. Kimberlit; 9. Komatiit; 10. Lamproit; 11. Ryolit; 12. Các tinh thạch học lớn.

## Magma

Nguyễn Hoàng. Viện Địa Chất,  
Viện Hàn lâm Khoa học & Công nghệ Việt Nam.

### Giới thiệu

Magma là hỗn hợp silicat phức tạp tồn tại trong điều kiện áp suất và nhiệt độ cao. Hỗn hợp này bao gồm vật chất dạng nóng chảy, bán nóng chảy, chất rắn (tinh thể khoáng vật) và các hợp phần chất bốc. Thông thường, nhiệt độ magma dao động từ 700°C đến 1300°C và áp suất dao động trong khoảng 10 kbar đến 20 kbar (tương đương độ sâu từ 30 đến 60km dưới mặt đất). Từ dưới sâu magma được đẩy lên và gom lại trong các lò trung gian, chúng phun lên bề mặt theo các hoạt động núi lửa (gọi là magma phun trào) tạo thành các dòng dung nham hoặc phun nổ hình thành các sản phẩm tro bụi, bom hoặc dăm kết núi lửa. Magma bị tắc dưới mặt đất tạo thành các thể xâm nhập, có thể xuyên cắt, pha trộn và/hoặc đồng hóa với đá vây quanh.

Thông thường magma chỉ có thể hình thành tại các môi trường đặc biệt, và thành phần magma thể hiện mối tương quan với các môi trường sản sinh ra chúng. Các môi trường chính hình thành magma là các đới hút chìm, đới tách giãn lục địa, sống tách giãn giữa đại dương và các vùng dị thường nhiệt. Thành phần magma chủ yếu là các oxit silicat như SiO<sub>2</sub> (dao động từ 42 đến 75%), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (2 - 18%), MgO (0 - 15%), FeO (2 - 14%), CaO (3 - 12%), Na<sub>2</sub>O (0 - 7%) và K<sub>2</sub>O (0 - 5%). Magma có thành phần SiO<sub>2</sub> thấp gọi là mafic, SiO<sub>2</sub> cao thì gọi là felsic hay acid. Thành phần magma phụ thuộc vào thành phần vật chất tham gia nóng chảy và các quá trình phân dị tiếp theo. Vật chất như đá siêu mafic (thấp SiO<sub>2</sub> và cao MgO) trong manti cho đến vật chất vỏ Trái Đất có thể nóng chảy do mất cân bằng về nhiệt độ và áp suất (thí dụ, nhiệt độ tăng hoặc do áp suất giảm) để sản sinh ra các loại magma.

### Magma ban đầu

Magma là "dung thể đầu tiên" được hình thành do nóng chảy từng phần đá peridotit manti; dung thể này chưa trải qua bất kỳ sự phân dị hoặc đồng hóa nào. Một dung thể được gọi là magma ban đầu phải thỏa mãn các điều kiện sau: 1) nhiệt độ pha lỏng cao hơn các sản phẩm phân dị của nó, 2) giàu thành phần khoáng vật bị phân dị kết tinh so với các sản phẩm phân dị, 3) có thành phần ở trạng thái cân bằng với các pha manti nơi nó được sinh ra bằng nóng chảy từng phần dưới ảnh hưởng của áp suất cao. Tất cả các magma ban đầu

phải có MgO cao hơn 10% tổng hàm lượng. Trong một chuỗi phân dị, magma nào có hàm lượng MgO cao nhất thì gọi là magma mẹ.

Kết quả thực nghiệm cho thấy dung thể magma ban đầu hình thành từ nóng chảy từng phần đá peridotit manti cho chỉ số magne ( $Mg\# = 100Mg/(Mg + Fe)$ ) dao động trong khoảng 66 đến 75, hàm lượng Cr khoảng 1.000ppm (phần triệu) và Ni lớn hơn 400 - 500ppm.

### Nguồn magma

*Thành phần nguồn.* Thành phần vật chất nguồn là yếu tố quyết định để xác định thành phần của magma ban đầu. Thí dụ, nguồn ban đầu là lherzolit spinel thì khác với nguồn lherzolit granat, mặc dù cả hai đều là đá peridotit manti và đều có khả năng nóng chảy từng phần để hình thành magma basalt. Áp suất, nhiệt độ và các yếu tố khác như hàm lượng nước cũng quan trọng, tuy nhiên không phải là yếu tố quyết định [H.1].

*Sự tiến hóa.* Thành phần magma tạo thành do nóng chảy từ đá manti có thể bị thay đổi khi di chuyển qua vỏ Trái Đất và/hoặc lưu lại trong một buồng magma trung gian. Các quá trình làm thay đổi thành phần và tính chất cơ lý bao gồm phân dị magma trộn lẫn và đồng hóa với đất đá vây quanh.

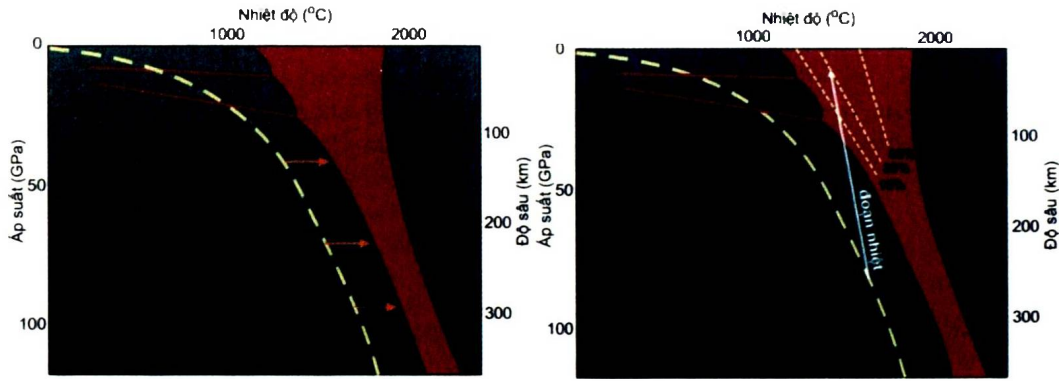
### Phân dị magma

Phân dị magma là quá trình tiến hóa và tạo thành một loạt các magma có thành phần hóa học và loại đá khác nhau từ thành phần đồng nhất ban đầu; các quá trình làm thay đổi này nhiều khi không cần phải có sự can thiệp của vật chất ngoại lai. Sự phân dị magma cần có các cơ chế vật lý dẫn đến thay đổi tính chất và đặc điểm hóa học.

### Dãy phản ứng Bowen

Đầu những năm 1900, nhà thạch học thực nghiệm Norman Bowen đã chứng minh rằng từ dung thể basalt, có những tinh thể được kết tinh và tách khỏi dung thể trước khi chúng tương tác với dung thể này; đó chính là cơ chế phân dị từ basalt đến ryolit.

Bowen cho rằng khoáng vật kết tinh từ dung thể magma có thể chia làm hai loạt, loạt tương tác liên tục và loạt không liên tục.



Hình 1. Cơ chế nóng chảy từng phần các peridotit manti tạo thành dung thể basalt.

a) Tăng nhiệt đến nhiệt độ pha rắn và cao hơn (pha lỏng); b) Giảm áp suất trong khi nhiệt độ không thay đổi (đoạn nhiệt), nóng chảy xuất hiện khi áp suất xuyên qua điểm pha rắn.

- Loạt tương tác liên tục bao gồm loạt dung thể plagioclas - felspat. Một dung thể basalt sẽ kết tinh plagioclas giàu Ca tiếp đến sẽ kết tinh các plagioclas giàu Na khi nhiệt độ giảm dần. Nếu plagioclas giàu Ca bị tách ra khỏi hệ thống, thành phần dung thể sót vẫn tiến hóa tới loại dung thể có thể kết tinh plagioclas giàu Na, thí dụ như dung thể rhyolit.

- Loạt tương tác không liên tục bao gồm các khoáng vật mà khi giảm nhiệt sẽ phản ứng với dung thể để hình thành một pha mới. Thí dụ, sự kết tinh olivin từ dung thể basalt sẽ đạt đến điểm nơi mà olivin sẽ tương tác với dung thể để tạo thành pyroxen thoi. Bowen dự đoán rằng, nếu nhiệt tiếp tục giảm, pyroxen thoi sẽ tương tác với dung thể mà tại thời điểm ấy đã trở nên giàu nước để tạo thành hornblend. Hornblend sau đó tương tác với dung thể để tạo thành biotit. Nếu các pha kết tinh bị tách khỏi hệ thống trước khi sự tương tác có thể xảy ra, dung thể sẽ trở nên giàu hợp phần silic.

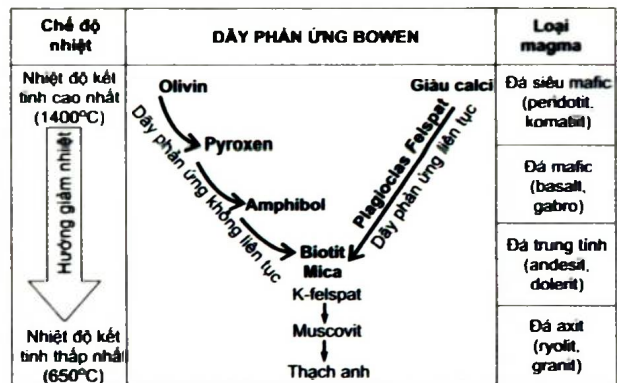
Ý tưởng trên phù hợp với những tổ hợp khoáng vật trong các loại magma khác nhau. Có thể dự đoán rằng, tăng hàm lượng SiO<sub>2</sub> thì các oxid khác như MgO và CaO sẽ giảm do chúng đã tham gia kết tinh thành các khoáng vật như olivin, pyroxen xiên,... Ngoài ra, có thể dự đoán rằng với thời gian, khi quá trình kết tinh phân đoạn càng phát triển thì hàm lượng các nguyên tố linh động trong dung thể càng giàu nhưng thành phần nguyên tố chính sẽ giảm. Đây là xu hướng chung quan sát được trong các khối magma. Kết tinh phân đoạn là cơ chế quan trọng nhất trong quá trình phân dị magma [H.2].

**Cơ chế phân dị magma**

**Nóng chảy từng phần**

*Nóng chảy cân bằng.* Nóng chảy từng phần một số đá có thể là cơ chế sản sinh một loạt các loại magma có thành phần khác nhau. Một chuỗi dung thể được hình thành do nóng chảy cân bằng liên tục, phụ thuộc vào tính kết tinh mà sản sinh một chuỗi các loại đá, quá trình này ngược với quá trình kết tinh phân đoạn.

*Nóng chảy phân đoạn.* Nóng chảy phân đoạn là cơ chế phân dị magma, trong đó hiệu quả phụ thuộc vào mức độ dung thể tách khỏi hệ nóng chảy. Nóng chảy phân đoạn không phải là cơ chế liên tục, mà có thể dừng lại một khoảng thời gian cho đến khi một trong các pha (rắn) nóng chảy hoàn toàn. Quá trình này sẽ tiếp tục khi nhiệt độ nóng chảy đủ cao để nóng chảy các hợp phần còn lại trong thể rắn còn lại. Kết quả là dung thể magma biểu hiện sự khác biệt trong thành phần (điều này khác với nóng chảy cân bằng).



Hình 2. Dây phản ứng kết tinh phân dị tạo thành các loại magma khác nhau (N. Bowen, 1922).

**Nóng chảy các nguồn khác nhau**

Khả năng thường xảy ra là các magma không liên quan gì nhau ngoại trừ có chung một nguồn nhiệt gây nóng chảy. Trong trường hợp này mỗi loại magma có thể là đại diện cho một quá trình nóng chảy của các nguồn khác nhau tại các thời điểm khác nhau nhưng cùng một nguồn nhiệt. Trong trường hợp này các biểu đồ hóa học không hẳn là cho một hướng tiến hóa. Tuy nhiên, sự biến thiên của các thành phần hóa học phụ thuộc vào một số oxid chủ chốt, và các oxid này được quy về 100%; nếu một oxid nào đó cao thì các oxid còn lại sẽ nhỏ đi, thí dụ nếu SiO<sub>2</sub> cao thì MgO nhỏ đi. Như vậy, ngay cả khi các loại magma không có quan hệ nguồn gốc với nhau cũng có thể tạo thành các hướng biến thiên như chúng có cùng nguồn gốc. Do đó, các quá trình nóng chảy khác nhau đôi khi có thể có quan hệ hay không quan hệ về nguồn gốc.

**Kết tinh phân đoạn**

Kết tinh phân đoạn là cơ chế phân dị quan trọng (phân đoạn là cơ chế, phân dị là hiện tượng) do sự khác nhau về hóa học giữa tinh thể và dung thể mặc dù chúng ở trong trạng thái cân bằng. Để cơ chế kết tinh phân đoạn hiệu quả, cả hệ kết tinh phân đoạn phải rất cơ động, hoặc tinh thể di chuyển qua thể magma, hoặc magma chảy qua đới kết tinh. Tóm lại, các cơ chế kết tinh phân đoạn bao gồm các trường hợp sau đây.

Khoáng vật kết tinh từ dung thể magma lắng chìm xuống đáy của lò magma dưới tác động bởi chính khối lượng vì chúng có tỉ trọng cao hơn dung thể. Ngay sau khi các tinh thể đầu tiên lắng xuống chúng vẫn còn tiếp xúc với dung thể sót của magma. Tuy nhiên, càng về sau khi có nhiều lớp tinh thể lắng xuống, các tinh thể đầu tiên sẽ thực sự bị tách biệt khỏi dung thể magma. Nếu tinh thể có tỉ trọng nhỏ hơn dung thể, chúng sẽ bị đẩy lên trên. Nếu các lớp tinh thể đầu tiên vẫn còn tiếp xúc với dung thể, về sau chúng dần dần bị tách khỏi hệ cân bằng với dung thể do có nhiều lớp tinh thể hơn. Do các thân magma có nhiệt độ cao hơn đá vây quanh, nhiệt từ thân magma sẽ di chuyển về phía đá vây quanh. Như vậy phần rìa của thân magma sẽ có nhiệt độ thấp hơn và magma sẽ kết tinh tại phần rìa này trước khi chuyển dần về phía trong. Như vậy, tinh thể kết tinh trước sẽ dần bị cách ly và tách hẳn khỏi hệ thống cân bằng với dung thể. Sự lắng xuống (và đẩy lên) của tinh thể kết tinh vào các giai đoạn đầu sẽ làm dung thể giàu thành phần silic hơn và độ dẻo tăng lên, các khoáng vật kết tinh muộn hơn sẽ khó chìm xuống hơn. Quá trình kết tinh và tách khỏi dung thể là cơ chế gây phân dị hiệu quả tạo thành các lớp khoáng vật tại khối magma mafic lớn.

*Phân dị do dòng chảy dung thể.* Vận tốc di chuyển của magma tại vùng trung tâm dòng chảy cao hơn so với các phần rìa do ít chịu ma sát hơn. Do vậy, tinh thể kết tinh có xu hướng chuyển vào trung tâm và làm độ hạt vùng này thô hơn.

*Cơ chế ép lọc.* Đây là cơ chế tách dung thể và hỗn hợp dung thể - tinh thể. Trong bối cảnh tập trung nhiều tinh thể, dung thể có thể bị ép - lọc khỏi các hỗn hợp dung thể - tinh thể bằng một cơ chế kiến tạo nào đó, dung thể được đẩy vào các khe nứt hoặc các không gian trống, còn tinh thể thì bị giữ lại phía sau. Cơ chế ép - lọc được áp dụng nhiều trong công nghiệp, tuy nhiên trong thực tế tự nhiên thì chưa quan sát được vì 1) các tổ hợp tinh thể thì giòn nên khó bị uốn để đẩy ra khỏi hỗn hợp với dung thể, và 2) các đứt gãy hình thành do cơ chế tách giãn, đẩy dung thể vào, trong khi cơ chế ép - lọc dung thể lại là nén ép.

**Thẩm thấu nhiệt - trọng lực**

Buồng magma có thể trở thành đá với các lớp có thành phần khác nhau. Các lớp này hình thành dưới tác động của phân đới nhiệt và trọng lực bên trong

buồng magma. Khi nhiệt độ tại đỉnh buồng magma hạ xuống do tương tác với tầng đá bên trên, phần vật chất này sẽ trở nên đặc hơn magma bên dưới. Nói cách khác, sự kết tinh dẫn đến sự phân đới thành phần trong buồng magma. Khi hiện tượng trao đổi nhiệt chấm dứt, buồng magma sẽ trở thành phân lớp.

**Dung ly**

Dung ly là hiện tượng xảy ra khi các dung dịch không trộn lẫn vào nhau. Thí dụ, trong một hệ hai hợp phần A và B nếu có một trường dung ly thì hai hợp phần A và B tiến về hai cực của mình và kết tinh khi nhiệt độ giảm. Như vậy, hai hợp phần có thành phần khác nhau nhưng kết tinh ở cùng một nhiệt độ. Quá trình kết tinh chấm dứt khi các dung thể không còn và tinh thể của hai hợp phần tồn tại cùng nhau. Từ đây có hai tính chất quan trọng của dung ly là: 1) Nếu các dung dịch riêng biệt ở trạng thái cân bằng với các thể rắn, hai dung dịch này phải ở trạng thái cân bằng với các thể rắn cùng thành phần. 2) Các thành phần khác biệt của hai loại dung dịch sẽ tồn tại ở cùng một nhiệt độ.

Dung ly từng được xem là cơ chế giải thích tất cả các hiện tượng magma phân dị. Nếu vậy, theo tính chất thứ 2, dung thể giàu silic và mafic phải hình thành tại cùng một nhiệt độ. Nhưng magma basalt rõ ràng nóng hơn dung thể rhyolit do vậy dung ly không thể dùng để giải thích sự khác nhau trong thành phần magma. Tuy nhiên, dung ly có thể giải thích các hiện tượng như: 1) Dung thể sulfide có thể tách khỏi magma giàu silicat; 2) Magma cao kiềm giàu CO<sub>2</sub> có thể tách thành 2 dung thể, một loại giàu carbonat, loại kia giàu silic và kiềm. Cơ chế này có thể giải thích sự thành tạo đá carbonatit; 3) Magma basalt giàu sắt có thể tạo thành hai dung thể - một là felsic giàu SiO<sub>2</sub>, hai là mafic giàu FeO.

**Biến đổi do chất bốc**

Chất bốc có thể thoát khỏi các khoáng vật chứa nước như mica, amphibol, v.v..., do chúng không bền trong điều kiện kết tinh gần bề mặt. Chất bốc thoát khỏi dung thể có thể dẫn tới mất cân bằng giữa dung thể và pha chất bốc đối với một số nguyên tố. Thí dụ các nguyên tố như Na, K, Si, F và Cl thường phân bố vào pha khí (chất bốc).

**Trộn lẫn magma**

Nếu hai hoặc nhiều loại magma có thành phần khác biệt tiếp xúc với nhau bên dưới bề mặt Trái Đất, có khả năng chúng sẽ tương tác và thành pha trộn để tạo ra các loại đá có thành phần trung gian của các thành viên tham gia trộn lẫn. Nếu thành phần của magma có khác biệt rất lớn (thí dụ, basalt và rhyolit), sẽ có nhiều yếu tố dưới đây ảnh hưởng đến quá trình pha trộn.

- *Nhiệt độ tương phản.* Basalt và rhyolit có thể có nhiệt độ rất khác nhau. Nếu chúng tiếp xúc nhau,

magma basalt sẽ bị nguội và có thể kết tinh, trong khi đó magma ryolit có xu hướng nóng thêm và tinh thể vừa mới kết tinh lại có thể nóng chảy.

- *Tỷ trọng khác biệt.* Basalt có tỷ trọng trong khoảng 26 đến 27 g/cm<sup>3</sup> trong khi ryolit thì chỉ 23 đến 25 g/cm<sup>3</sup>. Sự khác biệt này làm magma ryolit có xu hướng nổi trên basalt, như vậy làm gián đoạn quá trình pha trộn.

- *Tương phản độ dẻo.* Basalt và ryolit có độ dẻo rất khác nhau; khi đó để quá trình trộn lẫn xảy ra cần phải có một cơ chế khuấy trộn đặc biệt.

Nhiều bằng chứng cho thấy dù có các yếu tố cản trở quá trình pha trộn, nhưng sự pha trộn magma vẫn xảy ra. Sự chênh lệch trong thành phần giữa hai loại magma càng nhỏ thì sự khác biệt về nhiệt độ, tỷ trọng và độ dẻo sẽ càng nhỏ. Nếu các magma có thành phần khác biệt lớn tiếp xúc nhau thì cần thiết phải có cơ chế khuấy trộn, đó là đôi lưu tức là magma nóng hơn sẽ xuyên qua magma nguội hơn trộn lẫn hai loại magma có thành phần khác nhau sẽ hình thành một loại magma mới có thành phần trung gian. Để hai magma có thể trộn lẫn, chúng phải vượt qua sự chênh lệch về tỉ trọng vì ngược lại sự chênh lệch này sẽ làm chúng tách nhau. Hiện tượng trộn lẫn magma thường xảy ra tại các lò magma ở các sống đại dương, nơi các đợt magma vừa hình thành từ bên dưới, chưa phân dị (hoặc ít phân dị) bị đẩy vào các buồng magma phân dị tại các thung lũng ở bên dưới sống đại dương.

Sự trộn lẫn magma có thể theo các dạng sau đây.

- *Magma xen kẽ.* Nếu magma phun trào ở các giai đoạn đầu của quá trình pha trộn có thể bắt gặp hiện tượng đá có các màu sắc tương phản xen kẽ nhau; thí dụ sáng màu (ryolit) với sẫm màu (basalt); hiện tượng này gọi là xen kẽ magma. Cần lưu ý là đá có màu khác nhau không phải luôn luôn có thành phần khác nhau. Do vậy đôi khi quan sát thấy đá có kiến trúc vạch không có nghĩa chúng có thành phần khác nhau.

- *Tổ hợp khoáng vật bất cân bằng.* Sự không cân bằng giữa olivin giàu Mg của basalt trộn với ryolit chứa thạch anh chứng tỏ magma phun trào trước khi thạch anh hay olivin bị hòa tan hoặc phản ứng tạo thành một tổ hợp khoáng vật cân bằng.

- *Phân đôi ngược.* Khi một khoáng vật bị đưa vào một môi trường khác với môi trường kết tinh của nó thì khoáng vật này sẽ có thể phản ứng để đạt trạng thái cân bằng. Một số khoáng vật không bị hòa tan hoàn toàn, ngược lại một phần dung dịch rắn của chúng có thể kết tinh thành khoáng vật có thành phần khác nhưng cân bằng với môi trường hóa học mới hoặc chế độ nhiệt mới. Quá trình này có thể dẫn tới sự phân đôi ngược của tinh thể. Thí dụ, thông thường đối với olivin, hàm lượng Mg giảm dần từ nhân ra rìa tinh thể (và Fe lại tăng dần), trường hợp ngược lại gọi là phân đôi ngược.

### Đồng hóa magma và nhiễm vò

Thông thường thành phần vò rất khác với magma, do đó khi magma xuyên qua vò để phun lên thì nhiều khả năng xảy ra tương tác giữa chúng. Nếu vật chất vò bị cuốn vào và trở thành một hợp phần của magma, thì đó là bị magma đồng hóa. Ngược lại, magma có thể hòa tan một phần đá dọc theo kênh dẫn lên bề mặt, trường hợp này hình thành magma bị nhiễm vò. Cả hai quá trình đều làm thay đổi thành phần ban đầu của magma. Hiện tượng đồng hóa và nhiễm vò cũng giống như hiện tượng pha trộn, nhưng khác với quá trình pha trộn, chúng phức tạp hơn nhiều do ảnh hưởng của quá trình cân bằng nhiệt. Để đồng hóa đá vây quanh cần phải có đủ lượng nhiệt để nâng đá vây quanh đến nhiệt độ pha rắn (cũng là bắt đầu nóng chảy), khi đó nhiệt do magma tiếp tục cung cấp để chuyển đá vây quanh từ thể rắn sang dung thể. Trong trường hợp magma kết tinh, sự đồng hóa không thể xảy ra. Có hai cách để vượt qua trở ngại này: 1) Nếu nhiệt độ của magma rất cao (gần pha lỏng), nó có thể cung cấp nhiệt cho đá vây quanh trong lúc giảm nhiệt và kết tinh; 2) Nếu đá vây quanh có nhiệt độ gần với nhiệt độ nóng chảy, thì chỉ thêm một lượng nhiệt từ magma là có thể gây nóng chảy. Điều này xảy ra khi các mẻ magma liên tục xuyên qua và thải nhiệt cho đá vây quanh.

Trong tự nhiên các quá trình tương tác magma và đá vây quanh thường khác các mô hình lý thuyết vì các quá trình nóng chảy và kết tinh xảy ra không phải chỉ trong một nhiệt độ, mà trong một khoảng nhiệt độ. Dù vậy, nguồn nhiệt cần thiết cung cấp để nóng chảy đá vây quanh chỉ cần có nhiệt độ dao động trong một khoảng nhỏ. Để đồng hóa với magma chỉ cần một lượng nhỏ dung thể nóng chảy từ đá vây quanh pha trộn với magma đó. Trường hợp này gọi là magma bị nhiễm vật chất vò.

Dấu hiệu nhận biết đồng hóa:

- Xuất hiện các bao thể ngoại lai mà thành phần giống với đá vây quanh khối magma;
- Các tinh thể bị gặm mòn;
- Trên các biểu đồ hóa học magma phân bố giữa thành phần magma nguyên thủy và đá vây quanh;
- Tỉ số đồng vị <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr và δ<sup>18</sup>O cao.

### Tài liệu tham khảo

- DePaolo D. J., 1981. Trace element and isotopic effects of combined wallrock assimilation and fractional crystallization. *Earth and Planetary Science Letters*. 53: 189-202.
- Gill R., 2010. Igneous rocks and processes: a practical guide. *Wiley - Blackwell*. 428 pgs.
- Maaloe S., 1982. Geochemical aspects of permeability controlled partial melting and fractional crystallization. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 46: 43-57.
- McKenzie D., 1984. The generation and compaction of partially molten rock. *Journal of Petrology*. 25: 713-765.

- McKenzie D. and Bickle M. J., 1988. The volume and composition of melt generated by extension of the lithosphere. *Journal of Petrology*. 26: 625-679.
- Miyashiro A., 1974. Volcanic rocks series in island arc and active continental margin. *American Journal of Science*. 274: 321-335.
- Rollinson H.R., 1996. Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation. *Benjamin Cummings*. 384 pgs.
- Rudnick R. L. and Fountain D. M., 1995. Nature and composition of the continental crust: a lower crustal perspective. *Reviews of Geophysics*. 33(3): 267-309.
- Takahashi E. and Kushiro I., 1983. Melting of a dry peridotite at high pressure and basalt magma genesis. *American Mineralogist*. 68: 859-879.
- Wilson M., 2007. Igneous petrogenesis - a global approach. *Springer*. 485 pgs.