

Mỏ ngoại sinh

Vũ Chí Hiếu. Khoa Địa chất,
 Trường Đại học Khoa học Tự nhiên (ĐHQG Tp. HCM)
 Nguyễn Quang Luật, Khoa Địa chất,
 Trường Đại học Mo - Địa chất, Hà Nội.

Giới thiệu

Sự hình thành các mỏ khoáng ngoại sinh liên quan với những quá trình địa chất xảy ra ở trên mặt đất hoặc ở những đới nông, gần mặt đất, dựa vào nguồn năng lượng bên ngoài của Trái Đất, chủ yếu là năng lượng Mặt Trời. Nhóm mỏ này gồm 2 loại hình nguồn gốc: *mỏ phong hóa* – thành tạo do các hợp phần có ích được tích tụ tại chỗ do quá trình phong hóa các loại đá hay quặng nguyên sinh (thành tạo trước); *mỏ trầm tích* – thành tạo do các hợp phần có ích (chủ yếu là từ vỏ phong hóa) được các dòng nước chảy hay các luồng gió mang từ nơi khác đến, rồi lắng đọng dần trong thung lũng sông hoặc trong các bồn nước. Đây là nguồn cung cấp nhiều loại khoáng sản quan trọng như bauxit, sắt, mangan, urani, vanadi, kim loại hiếm, vàng, kim cương, thiếc, tantan, niobi, than khoáng, v.v...

Mỏ phong hóa

Mỏ phong hóa gồm các mỏ khoáng có liên quan với quá trình phong hóa và nằm trong vỏ phong hóa. Tùy thuộc vào hình thái và điều kiện phân bố, các thân khoáng trong vỏ phong hóa được phân thành ba dạng: *mỏ dạng diện* (thê choàng, rộng nhưng mỏng, phủ trên đá gốc), *mỏ dạng tuyến* (dạng giống mạch, ăn sâu vào đá gốc theo các hệ thống khe nứt) và *mỏ cận tiếp xúc* (thân khoáng nằm bám dọc đới tiếp xúc). Trong vỏ phong hóa các thân khoáng có thể lộ trên mặt đất hoặc nằm ẩn dưới các lớp trầm tích trẻ. Theo thời gian thành tạo, mỏ phong hóa được phân thành mỏ cổ hoặc mỏ trẻ (Đệ Tứ). Cấu tạo và kiến trúc vật liệu vỏ phong hóa được xác định bởi sự phân hủy, rửa lũa và tái tập hợp các hợp chất khoáng ở trên mặt đất,

dẫn đến sự thành tạo các khối xốp rời và có sự tham gia các quá trình keo. Cấu tạo thường gặp là mảnh vụn, dăm, vò (keo biến tinh), lưới, mảng, dải, dạng đất, bọt biển, tổ ong, hạch phân tiết, kết hạch, và hạt đậu. Kiến trúc đặc trưng gồm các loại tàn dư, gắn kết, hạt vụn vò, lưới, đới nhíp, sợi, vẩy, dạng sét. Khoáng sản có giá trị có thể kể đến là sắt (quặng sắt nâu), mangan, quặng silicat nickel (lẫn cobalt), urani (lẫn vanadi), bauxit, kaolin, sét.

Quá trình thành tạo vỏ phong hóa và mỏ phong hóa

- *Giai đoạn vỡ vụn* – Dưới tác dụng của phong hóa vật lý, đá gốc bị vỡ vụn thành từng mảnh có kích thước khác nhau. Thành phần khoáng vật và hóa học của đá hầu như không bị biến đổi. Giai đoạn phong hóa này đặc trưng cho các vùng núi trẻ, vùng sa mạc và vùng cực.

- *Giai đoạn siallit kiềm* – là giai đoạn đầu của phong hóa hóa học. Các khoáng vật silicat và alumosilicat trong đá mẹ bắt đầu phân hủy, các cation kim loại kiềm, đất hiếm bị hoà tan dưới dạng dung dịch thật tạo nên môi trường kiềm, sau đó trôi khỏi vỏ phong hóa, thành tạo hydromica, hydrochlorit và montmorillonit. Phong hóa kiểu này đặc trưng cho vùng khí hậu ẩm và khô.

- *Giai đoạn siallit chua* – tiếp theo giai đoạn phong hóa trên, các cation và một phần silic bị trôi đi, môi trường trở nên acid, các khoáng vật nhóm hydromica hoặc montmorillonit bị phân giải thành nhóm kaolinit. Phong hóa kiểu này gọi là *phong hóa kaolin*, đặc trưng cho vùng khí hậu nóng ẩm có địa hình phân cắt và hơi dốc.

- *Giai đoạn alit* – giai đoạn phong hóa triệt để nhất (còn gọi là giai đoạn kiềm muộn), xảy ra trong vùng khí hậu nhiệt đới hoặc cận nhiệt đới có địa hình thoải. Các khoáng vật sét bị phân giải tiếp, tạo thành những hợp chất bền vững ở trên mặt đất (hydroxid sắt, nhôm). Các oxid Fe, Al được giữ lại trong vỏ phong hóa, còn các cation kiềm và Si hoà tan trôi đi. Kết quả là thành tạo *vỏ phong hóa laterit*. Quá trình này bị chi phối bởi nhiều yếu tố như đá gốc, khí hậu, địa hình, thảm thực vật, thời gian diễn biến. Mỗi vùng lãnh thổ có kiểu vỏ và kiểu mô phong hóa đặc trưng riêng.

Các tác nhân như nước, oxy, carbonic, các acid, dao động nhiệt độ, hoạt động của sinh vật, v.v... gây ra sự phân hủy các khoáng vật của đá gốc (các phản ứng oxy hóa, hydrat hóa và thủy phân), mang đi các thành phần dễ hòa tan, tạo nên các khoáng vật mới tại chỗ. Trong quá trình này, độ linh động của nguyên tố (biểu thị bằng hệ số di chuyển trong nước) đóng vai trò rất quan trọng [Bảng 1]. Chỉ những nguyên tố không bị mang đi mới có khả năng tạo mô.

Bảng 1. Các dãy nguyên tố di chuyển trong quá trình phong hóa.

Dãy	Mức độ linh động	Các nguyên tố	Hệ số di chuyển trong nước
I	Mang đi mạnh mẽ	Cl, Br, I, S	n.10 – n.100
II	Mang đi dễ dàng	Ca, Na, Mg, K(?), F	n
III	Linh động	Si, P, Mn, Co, Ni, Cu	n.10 ⁻¹
IV	Trơ	Fe, Al, Ti	n.10 ⁻²

Trong mô phong hóa các khoáng chất tích tụ theo hai phương thức. Thứ nhất – các nguyên tố kém linh động tạo các hợp chất khó hoà tan và khó di chuyển, được giữ lại tại chỗ, tích đọng dần đạt tới quy mô có giá trị, được gọi là *mô phong hóa tàn dư*. Phương thức thứ hai – sự hình thành các mô khoáng liên quan với sự hoà tan, thẩm lọc các hợp phần có giá trị trong đá và sự tái lắng đọng chúng ở phần dưới vỏ phong hóa, được gọi là *mô phong hóa thâm động*.

Các kiểu mô phong hóa

- *Mô phong hóa vụn* thành tạo chủ yếu do quá trình phong hóa cơ học (vật lý); các khoáng vật quặng khá bền vững, không bị phân hủy hoặc bị biến đổi không đáng kể, bị tách ra khỏi đá, sau đó tập trung lại trên vị trí các đá hoặc thân quặng gốc bị phong hóa, hoặc được dịch chuyển đi không xa. Những tích tụ này có giá trị được gọi là sa khoáng tàn tích và sa khoáng sừn tích. Ví dụ, sa khoáng tàn tích, sừn tích kim cương trên ống nổ kimberlit; sa khoáng tàn tích monazit từ đá granit chứa monazit bị phong hóa; sa khoáng tàn tích, sừn tích vàng; sa khoáng tàn tích, sừn tích casiterit.

- *Mô phong hóa tàn dư* thành tạo và phân bố trên các đá bị phong hóa hóa học. Khoáng sản có giá trị

của loại mô này là quặng silicat nickel, quặng sắt nâu, magnesit, talc, bauxit, mangan, sét, apatit, baryt, vàng và một số kim loại khác. Mô bauxit tàn dư liên quan mật thiết với vỏ phong hóa laterit, phát sinh từ đá magma acid, kiềm, basalt, hoặc từ đá gneis, đá phiến kết tinh, v.v... Quá trình tích tụ Al₂O₃ có độ linh động kém hơn Fe₂O₃ và SiO₂, nên Al₂O₃ được giữ lại hoặc do Fe₂O₃ và SiO₂ di chuyển đi. Thành phần khoáng vật có ích gồm chủ yếu boehmit, diaspor, gibbsit lẫn các khoáng vật kaolinit, halloysit, montmorillonit, beidelit, hydroxid sắt và mangan. Mô bauxit tàn dư dạng diện rất phổ biến ở Brasil, Ghinê, Hoa Kỳ; Ấn Độ, Bắc Ireland, Trung Quốc, Việt Nam. Ở Việt Nam, bauxit laterit thành tạo do phong hóa đá basalt tuổi Miocen muộn – Pliocen, phát triển rộng rãi ở vùng Tây Nguyên [H.1] với trữ lượng đã được thăm dò >2,2 tỷ tấn.

Thỏ nhưỡng		0 - 4m	Limonit, goethit, halloysit
Tầng chứa bauxit		5 - 7m	Matahalloysit, kaolinit, gibsit
Tầng chứa sét		2 - 3m	Kaolinit, hydromica, goethit
Tầng basalt phong hóa		> 10m	Iddingsit, chlorit, serpentin, uralit, zeolit, leucoxen, carbonat
Basalt tươi			Plagioclas, pyroxen, olivin, thủy tinh

Hình 1. Mặt cắt đứng mô bauxit tàn dư ở vùng Gia Lai – Kontum (theo Nguyễn Thành Vạn).

Mô quặng silicat nickel liên quan chặt chẽ với vỏ phong hóa đá mafic xảy ra trong điều kiện nhiệt đới và á nhiệt đới; phát triển nhiều ở miền Nam Ural, ở Brasil, New-Zealand, Madagasca, Cuba, Philippin, Australia, Serbia. Khoáng vật quặng gồm garnierit, revdinskit, nepuit, v.v... Trong đá gốc, nickel nằm trong olivin, pyroxen, serpentin; khi bị phân giải nickel được giải phóng và chuyển vào dung dịch nước dưới dạng bicarbonat, sulfat, gặp môi trường kiềm hơn thì lắng đọng, tạo các mô phong hóa kiểu diện. Mô quặng sắt nâu hình thành do quá trình phong hóa đá siêu mafic, trong điều kiện khí hậu

nhệt đới và địa hình thoải; trong thành phần luôn có mặt các nguyên tố “hợp kim” – nickel, cobalt, mangan và chrom. Mỏ kaolin tàn dư hình thành trong vỏ phong hóa kaolin phát triển trên đá giàu felspat (thuộc loại phong hóa chưa triệt để, chưa đạt tới giai đoạn tích đọng Al_2O_3 tự do, mặt khác nó là quá trình tẩy màu (Fe_2O_3 thoát ra khỏi vỏ phong hóa). Đá gốc thuận lợi cho phong hóa kaolin thường là các đá magma acid và kiềm. Phong hóa kaolin xảy ra mạnh mẽ trong môi trường acid, điều kiện khí hậu nóng ẩm, địa hình hơi dốc và phân cắt, SiO_2 và Al_2O_3 được giữ lại và cùng với nước chúng hóa hợp với nhau tạo thành kaolinit. Thành phần khoáng vật gồm kaolinit lẫn halloysit, montmorillonit, chalcedon và một ít khoáng vật sót lại của đá gốc. Ở Việt Nam, mỏ kaolin tàn dư phát sinh trên đá acid, đá phiến sét, gneis, đặc biệt là loại có chất lượng tốt phát triển trên đá pegmatit, (mỏ Thạch Khoán ở Phú Thọ, Vĩnh Phúc), granit sáng màu (Trại Mát – Đà Lạt)... Các mỏ tàn dư khác đáng lưu ý là mỏ magnesit, talc, mangan, phosphorit, v.v...

- Mỏ (phong hóa) thẩm đọng thành tạo từ vật chất quặng được nước ngầm mang đi rồi đọng lại trong đới ngoại sinh, nằm ngoài khu vực chúng rửa lữa. Khoáng sản có giá trị là urani, đồng, vanadi, sắt và các nguyên tố khác. Mỏ urani: các hợp chất urani quặng gốc bị oxy hóa và chuyển dần sang hợp chất rất linh động (tồn tại dưới dạng hydrosol của hydroxid urani, carbonat kiềm - urani phức hợp, các hợp chất humat kiềm - urani phức hợp và phức hợp carbonat urani), được nước ngầm mang đi khá xa, sau đó lắng đọng lại tạo thành những tích tụ thẩm đọng urani có giá trị và thường phân bố trong các đứt gãy của đất đá, các lớp cuội kết, cát kết, trong các vỉa than và vỉa đá chứa bitum. Mỏ đồng: đồng trong kiểu quặng tổng hợp urani - vanadi - đồng với thành phần khoáng vật gồm chalcopirit, chalcocin, covellin, đồng tự sinh, pyrit, marcasit, cuprit, tenorit, malachit, azurit, brochantit, chrisokolla. Các mỏ thẩm đọng khác là mỏ sắt, lưu huỳnh, thạch cao.

Mỏ trầm tích

Mỏ trầm tích gồm các mỏ được thành tạo trong quá trình trầm tích. Tùy thuộc vào phương thức lắng đọng và đặc điểm vật liệu trầm tích, loại mỏ này có các kiểu mỏ trầm tích cơ học, mỏ trầm tích hóa học, mỏ trầm tích sinh hóa và mỏ trầm tích - phun trào. Theo môi trường thành tạo, chúng được phân thành mỏ trầm tích sông, mỏ trầm tích hồ và mỏ trầm tích biển. Khoáng sản có giá trị gồm than, nguyên liệu gốm sứ, xi măng, vật liệu xây dựng, quặng sắt, mangan, bauxit, kim loại quý, kim loại hiếm.

Mỏ trầm tích cơ học

Do quá trình phong hóa, đá và quặng gốc bị phá hủy, các mảnh vụn được nước trên bề mặt, nước

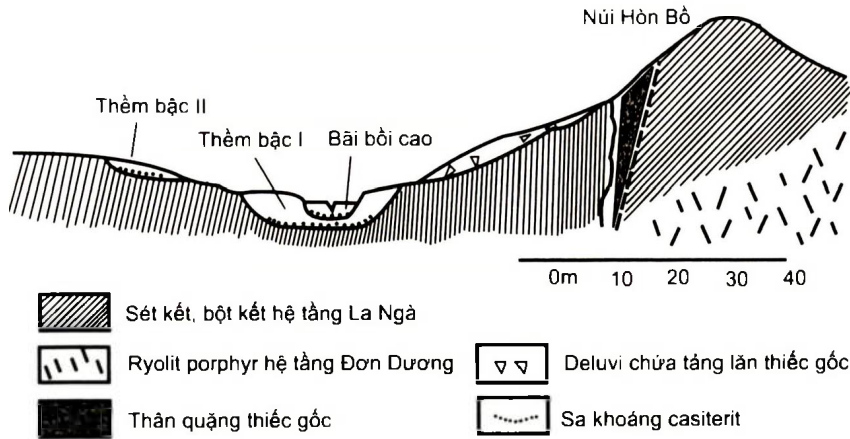
sông, băng hà vận chuyển đi; sau đó dưới tác dụng của trọng lực tích tụ lại ở những nơi thuận lợi. Sự tích tụ các mảnh vụn này tuân theo quy luật về “phân dị cơ học”, tùy thuộc vào các yếu tố như tốc độ dòng chảy, tỷ trọng và kích thước của mảnh vụn. Kiểu mỏ này bao gồm các mỏ đá vụn và mỏ sa khoáng.

- Mỏ đá vụn cung cấp các khoáng sản cuội, sỏi, cát và sét. Mỏ sỏi được phân theo nguồn gốc (lũ tích, bồi tích, trầm tích ven hồ và ven biển), dùng làm vật liệu xây dựng. Mỏ cát được phân theo điều kiện thành tạo như cát trầm tích, cát sông (lũ tích, bồi tích), cát hồ, cát biển, cát phong thành, cát băng thành (cát tàn tích và cát sườn tích được xếp vào loại phong hóa vụn). Cát đa khoáng dùng làm vật liệu xây dựng, cát đơn khoáng thạch anh là nguyên liệu thủy tinh, làm khuôn đúc (Việt Nam có trữ lượng lớn cát thạch anh phân bố ở quần đảo Vân Hải (phía đông vịnh Hạ Long) và dọc ven biển như Chu Lai, Nghĩa Bình, Cam Ranh, Bình Thuận...). Mỏ sét có các nguồn gốc sét sông, sét hồ, sét biển, sét băng thành, hoàng thổ; khoáng vật sét chủ yếu là kaolinit, halloysit, montmorillonit, pyrophyllit, allophan và hydromica. Khoáng sản gồm sét gạch ngói, sét gốm, sét chịu lửa.

- Mỏ sa khoáng hình thành do tích tụ trong các trầm tích vụn các khoáng vật có ích nặng (tỷ trọng lớn) bền vững hóa học và cơ lý như vàng, bạch kim, thân sa, columbit, wolframit, casiterit, sheelit, monazit, magnetit, ilmenit, zircon, corindon, rutil, granat, topaz, kim cương. Nguồn cung cấp vật chất cho sa khoáng có thể là các sa khoáng sườn tích, các mỏ gốc hoặc đá gốc chứa khoáng vật quặng; khoáng cách từ sa khoáng đến nguồn cung cấp vật liệu thường rất khác nhau. Dựa vào phương thức thành tạo và vị trí lắng đọng (yếu tố địa mạo), phân thành các kiểu sa khoáng lũ tích, sa khoáng aluvi - bồi tích (sa khoáng lòng sông, sa khoáng thung lũng), sa khoáng tam giác châu và vụng, sa khoáng ven bờ (biển, hồ), sa khoáng băng thành, sa khoáng phong thành, trong đó sa khoáng sông và sa khoáng bờ biển là có giá trị nhất. Theo thời gian thành tạo, phân ra sa khoáng cổ và sa khoáng hiện đại.

Quá trình hình thành sa khoáng aluvi. Sa khoáng lòng sông liên quan với sự phân bố và phát triển của lòng sông, trầm tích phân lớp xiên chéo, đặc trưng cho thung lũng trẻ. Sa khoáng thung lũng rất phổ biến, hình thành từ sa khoáng lòng sông do quá trình xâm thực bên, phân bố trong các thung lũng sông đã trưởng thành và tồn tại rất lâu. Khi vùng núi bị nâng lên hoặc xâm thực bị hạ thấp cục bộ thì chuyển thành sa khoáng bậc thêm (phân bố ở các thềm sông – là phần còn lại của thung lũng sông cũ), đồng thời xuất hiện sa khoáng lòng sông mới.

Quá trình hình thành sa khoáng ven biển. Loại sa khoáng này thành tạo dưới ảnh hưởng của thủy triều, sóng biển và dòng ven bờ. Dọc bờ biển, do



Hình 2. Mặt cắt sa khoáng thung lũng (mỏ thiếc Thái Phiên – Đà Lạt).

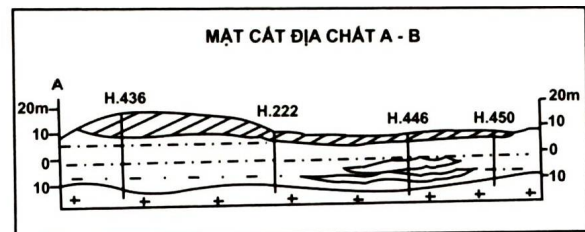
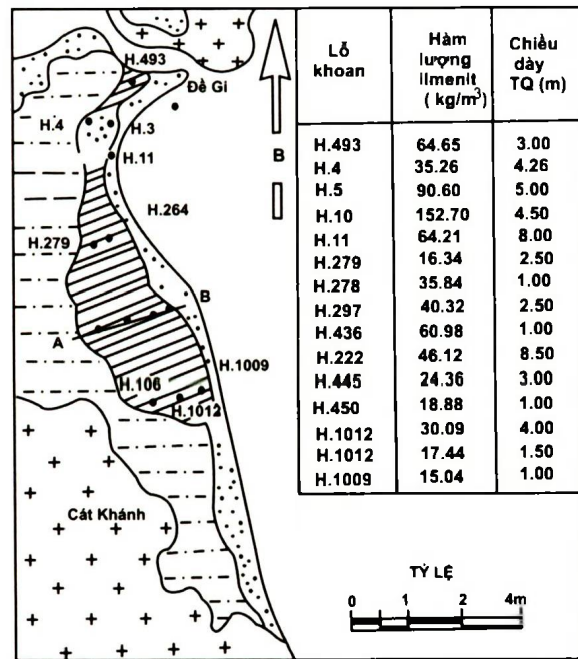
sóng vỗ bờ xảy ra một cách liên tục và lặp đi lặp lại sự di chuyển tịnh tiến, vật liệu vụn bị nghiền vụn, mài mòn, sàng lọc tái lắng đọng. Các khoáng vật nặng tích tụ lại ở phần trên của trầm tích bãi biển. Do tác động của dòng chảy ven bờ, sa khoáng trải dài dọc theo bờ, có khi đạt tới hàng trăm kilomet. Do hoạt động kiến tạo, sa khoáng biến cố có thể nâng lên tạo thành sa khoáng thềm biển, hoặc sụt xuống tạo nên sa khoáng âm, bị nén chắc và mang các đặc tính mỏ trầm tích. Tại vùng ven biển đôi khi gặp sa khoáng phong thành: các hạt mịn và nhẹ được gió cuốn đi, còn phần nặng và thô được giữ lại, tích tụ ở các phần đuôi dụn cát.

Mỏ trầm tích hóa học

- *Mỏ trầm tích hóa học từ dung dịch keo.* Điển hình của loại này là các mỏ sắt, mangan và nhôm. Nguồn vật liệu để tạo là vật chất của vỏ lục địa bị phong hóa; các sản phẩm hóa học được nước trên mặt và nước ngầm mang đi dưới dạng dung dịch keo (sắt chủ yếu ở dạng keo $Fe(OH)_3$, mangan ở dạng bicarbonat và keo hydrat mangan hóa trị 4, nhôm ở dạng hydrat nhôm và muối của nhôm). Khi gặp môi trường thuận lợi, chúng có thể tích đọng trong các bồn nước. Sự lắng đọng các hợp chất của 3 kim loại vừa nêu xảy ra trong đới gần bờ của hồ và biển, chủ yếu dưới tác động của các chất điện giải hòa tan trong nước làm keo tụ các hợp chất keo của kim loại. Quá trình này bị chi phối bởi "phân dị hóa học" – quặng bauxit lắng đọng ở đới gần bờ nhất, sau đó đến quặng sắt – ở phần trên của thềm lục địa, quặng mangan – ở phần dưới của thềm lục địa. Mỏ bauxit trầm tích và sắt thành tạo chủ yếu trong giai đoạn đồng sinh với trầm tích, còn quặng mangan – hình thành trong giai đoạn thành đá cùng với trầm tích.

Mỏ bauxit có thân khoáng dạng via, thấu kính, dài; trầm tích đá lót dưới thường là đá vôi bị karst hóa; thành phần khoáng vật gồm boehmit, diaspor, gibbsit, hematit, hydrohematit, goethit, hydrogoethit, kaolinit, halloysit, chlorit và oxid titan; cấu tạo trùng cá, hạt đậu, dăm kết, đặc sít, pelit, dài. Ở Việt

Nam gặp loại bauxit này tại Cao Bằng, Lạng Sơn, thân khoáng nằm trên mặt bào mòn của đá vôi Carbon - Permi.



Hình 3. Mặt cắt địa chất mỏ sa khoáng titan Đê Gi (Bình Định).

Mỏ sắt có thân khoáng dạng via hoặc thấu kính kéo dài, kích thước lớn; thành phần khoáng vật gồm limonit, goethit, hydrogoethit, hematit, đôi khi gặp cả magnetit; cấu tạo trùng cá rất đặc trưng. Mỏ mangan có thân khoáng dạng via, thấu kính, dài; thành phần khoáng vật gồm pyrolusit, psilomelan, manganit, rhodocrosit, rhodonit; cấu tạo đặc sít, dài. Ở Việt Nam có mỏ mangan tại Cao Bằng (mỏ Tóc Tát), thân khoáng nằm trong trầm tích carbonat silic

Devon thượng - Carbon hạ. *Mỏ mangan và sắt trên đây các đại dương hiện đại* chủ yếu gồm các kết hạch, phân bố trên một diện tích rộng lớn của đáy Thái Bình Dương (các kết hạch có đường kính từ 1mm đến 25cm, cấu tạo keo, gồm hỗn hợp phân tán các oxid và hydroxid Fe và Mn, các nguyên tố vi lượng hấp phụ; trữ lượng hàng tỷ tấn).

- *Mỏ trầm tích hóa học từ dung dịch thật*. Diễn hình của loại mỏ này là các *mỏ muối*, được thành tạo do kết đọng từ nước biển. Nước biển và đại dương có hàm lượng muối trung bình 3,5% (NaCl, KCl, MgCl, CaSO₄, K₂SO₄, CaCO₃, MgBr₂, v.v...), những muối này đều có mặt trong thành phần của mỏ muối và được kết tinh do dung dịch muối quá bão hòa. Trong quá trình kết đọng, carbonat lắng đọng trước tiên, tiếp theo là thạch cao khi nồng độ muối trong nước tăng lên 5 lần nồng độ trung bình; khi nồng độ muối tăng xấp xỉ 11 lần bắt đầu xuất hiện halit; muối kali và magie là loại dễ hòa tan nhất, chỉ có thể kết tinh khi nồng độ muối trong nước tăng lên 60 lần. Để thành tạo mỏ muối cần phải có điều kiện khí hậu khô nóng với lượng nước bốc hơi hàng năm lớn hơn lượng nước mưa và nước trên mặt mang đến (thường gặp ở những vùng nằm giữa vĩ tuyến 10° vĩ độ bắc và 50° vĩ độ nam). Bốn trầm tích muối phải là những vũng vịnh khép kín, cô lập với biển khơi; chế độ kiến tạo vùng chứa muối phải ổn định, tốc độ nhấn chìm trầm tích nhanh. Ở Nam Lào có nhiều mỏ muối với trữ lượng lớn.

- *Mỏ trầm tích sinh - hóa*. Diễn hình của loại này là các mỏ carbonat sinh vật, đá silic, phosphorit, diatomit, lưu huỳnh, than đá và dầu mỏ.

Mỏ than. Sự thành tạo than là một quá trình phức tạp, vật liệu thực vật bị chôn vùi, dưới tác động của các quá trình tự nhiên, bị biến đổi dần theo phương hướng tăng hàm lượng carbon (quá trình carbon hóa), gồm 3 giai đoạn: 1). Thành tạo than bùn và chôn vùi chúng, quá trình sinh hóa xảy ra chủ yếu trong điều kiện trên mặt hoặc gần mặt đất. 2). Tiếp theo, via than bùn bị các lớp vật liệu khoáng, trầm tích phủ lên, xảy ra các hiện tượng nén chặt và biến chất than. Than nâu là sản phẩm trung gian giữa hai giai đoạn hình thành than bùn và giai đoạn biến chất than. Sản phẩm của quá trình biến chất than là than đá và than. 3). Toàn bộ trầm tích chứa than bị lôi cuốn vào các hoạt động uốn nếp và các quá trình địa chất khác.

Dãy than gồm than bùn → than nâu → than đá → anthracit [Bảng 2]. Dây này được sắp xếp các sản phẩm theo mức độ biến đổi vật chất hữu cơ từ thấp đến cao (graphit, là sản phẩm cuối cùng của dãy biến đổi, không được xếp vào dãy than do đặc tính không cháy).

Than bùn, một khoáng sản cháy hiện đại, vẫn giữ kiến trúc của vật liệu thực vật (chủ yếu là thực vật bậc cao), được thành tạo do sự tích tụ các tàn tích

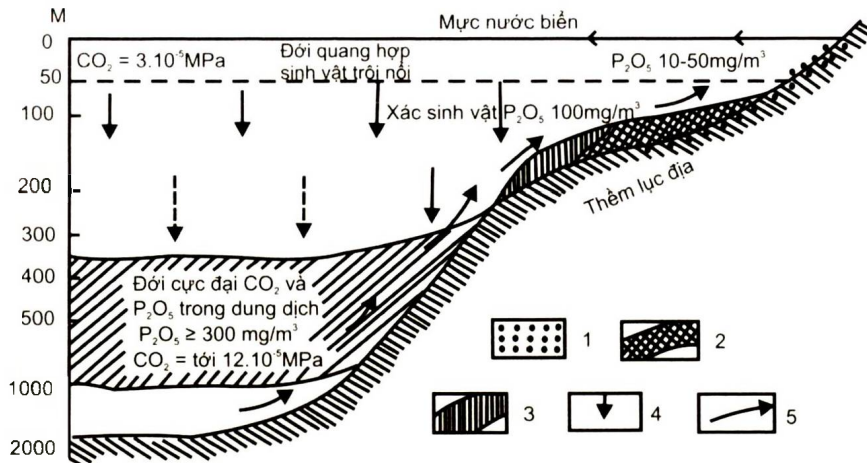
thực vật trong điều kiện ẩm ướt và thiếu không khí. Sự thành tạo các đồng than bùn là kết quả của quá trình đầm lầy hóa các vùng lãnh thổ. Sau khi than bùn bị các lớp vật liệu vô cơ phủ lên và bị nhấn chìm xuống sâu, chúng dần dần bị biến đổi (ở một số bể than, chiều sâu nhấn chìm có thể lên tới 15km). Khi đó các thể trầm tích, trong đó có than, chịu sự tác động của những điều kiện nhiệt động và điều kiện hóa lý mới, sinh ra do sự tăng dần nhiệt độ và áp suất theo chiều sâu nhấn chìm. Dưới ảnh hưởng của nhiệt độ và áp suất ngày càng tăng, than bị biến đổi sâu sắc về thành phần hóa học cũng như cấu trúc, đồng thời kéo theo sự biến đổi các tính chất hóa học và công nghệ của than. Hình thành than nâu, rồi than đá và anthracit [Bảng 2]. Nhiệt độ (trong điều kiện áp suất cao) là yếu tố cơ bản gây ra quá trình biến đổi của vật chất hữu cơ.

Bảng 2. Các pha và giai đoạn than hóa (theo V. N. Muratov)

Pha than hóa	Giai đoạn	Các quá trình hóa - lý		Kiến trúc	Yếu tố biến đổi
Thành đá	Than bùn	Oxy hóa	Mùn hóa, fuzen hóa	Kiến trúc vô định hình không trật tự	Sinh hóa
Biến đổi hậu sinh	Than nâu	Khử	Mất nước, Mùn hóa giảm dần	Có dấu hiệu yếu của trật tự hai chiều	Nhiệt độ <300°C, áp suất trung bình
	Than đá		Mất nước, phá hủy nhóm carboxyl	Tăng cường độ trật tự hai chiều	Nhiệt độ từ 325-345°C, tăng áp suất
Biến chất	Antra-cid		Carbon hóa ở mức độ cao	Ưu thế của trật tự hai chiều	Nhiệt độ và áp suất cao
	Trước graphit		Carbon hóa ở mức độ cao	Chuyển sang trật tự ba chiều và mạng lưới graphit	

Mỏ phosphorit. Đá trầm tích nguồn gốc biển chứa hàm lượng cao các khoáng vật phosphat có giá trị kinh tế (Fluorapatit - 3Ca₃(PO₄)₂, carbonat apatit - 3Ca₃(PO₄)₂. CaCO₃, hydroxid - apatit - 3Ca₃(PO₄)₂.Ca(OH)₂, trong đó loại fluorapatit phổ biến nhất). Thân khoáng dạng via, phân lớp nguyên sinh hoặc bị biến đổi thứ sinh. Cấu tạo kết vôi, kết hạch khung xương, trùng cá. Phospho có nguồn gốc hữu cơ: Xương, vỏ, mô và máu của sinh vật biển chứa một hàm lượng P đáng kể; khi chết hàng loạt (có thể do môi trường bị thay đổi), xác của chúng lắng xuống đáy bị phân hủy dần tạo thành carbonat và phosphat calci.

Trong nước biển, ở tầng nước 0 - 60m, do sinh vật hấp thụ mạnh mẽ, hàm lượng P₂O₅ không cao (10 - 50 mg/m³ nước); dưới tác dụng CO₂ phosphat chứa trong xác sinh vật chuyển vào dung dịch. Ở dưới sâu hàm lượng CO₂ và P₂O₅ mang lên đời phía trên, và do áp suất riêng phần CO₂ giảm đi vì nhiệt độ của



Hình 4. Sơ đồ thành tạo phosphorit (theo A. Kazakov)

1. Tường bờ: sỏi, cát; 2. Tường phosphorit; 3. Tường carbonat; 4. Hướng rơi xác sinh vật trôi nổi chết; 5. Hướng dòng chảy.

nước tăng nên hàm lượng P_2O_5 trở nên quá bão hòa và mất cân bằng, phosphat bắt đầu thành tạo ở độ sâu 100 - 150m [H.4].

Ở Việt Nam, đã phát hiện bể trầm tích Cambri hạ (hệ tầng Cam Đường) chứa phosphat biến chất thành apatit với các mỏ lớn như mỏ Cam Đường, mỏ Làng Cốc.

Mỏ trầm tích - phun trào

Nguồn cung cấp vật liệu cho kiểu mỏ này có sự tham gia của sản phẩm hoạt động phun trào ở gần bờ và đáy bồn trầm tích. Vật chất quặng tham gia bồn trầm tích trong quá trình phun trào có thể xuất hiện dưới các dạng như hơi phun khí; dung dịch nhiệt dịch; hấp phụ trên bề mặt các mảnh đá phun trào; vật liệu phun trào bị nước biển phân giải; các sản phẩm phun trào nằm ở phần sát đáy và ven bờ bị dung dịch khí nhiệt dịch sau phun trào rửa lùa. Tùy theo điều kiện trầm tích, có thể phân biệt 2 kiểu là phun trào - lục nguyên và phun trào - silic.

Mỏ sắt: thuộc kiểu phun trào - lục nguyên, sự thành tạo quặng sắt trong Tiền Cambri và Paleozoi sớm liên quan mật thiết với quá trình phun trào mafic dưới nước; các dòng dung nham nằm xen với đá trầm tích (cát kết, bột kết, sét kết, đá phiến sét, đá silic). Thân khoáng thường có dạng vĩa, nằm khớp với đá vây quanh và có kích thước khá lớn. Thành phần quặng gồm magnetit, hematit, hydrohematit, leptochlorit, ngoài ra còn gặp kết hạch pyrit, phosphorit, silic. **Mỏ mangan:** thuộc kiểu phun trào - silic, đá phun trào thuộc spilit - keratophyr và

phun trào acid; quặng thường giàu pyrolusit; gặp ở vùng Tòng Bá (Hà Giang).

Xem thêm:

- Mỏ than (xem mục từ "Khoáng sản nguồn năng lượng").
- Mỏ dầu (xem "Dầu khí")

Tài liệu tham khảo

Guilbert John M., Park Charles F., Jr., 1986. The Geology of Ore Deposits. ISBN 0-7167-1456-6. 985 pgs. W.H. Freeman and Company, New York.

Laurence Robb., 2005. Introduction to Ore-Forming Processes. 374 pgs. by Blackwell Publishing. Printed and bound in the United Kingdom.

Mead L. Jensen, Alan M. Bateman., 1981. Economic Mineral Deposits. 268 pgs. Third Edition by John Wiley & Sons, Toronto, Canada.

Nguyễn Văn Chũ (Chủ biên), Tô Linh, Vũ Chí Hiếu, Vũ Ngọc Hải, 1986. Địa chất khoáng sản. Tập I, 187 tr. NXB Đại học và Trung học chuyên nghiệp, Hà Nội.

Nguyễn Văn Chũ (Chủ biên), Tô Linh, Vũ Chí Hiếu, Vũ Ngọc Hải, 1987. Địa chất khoáng sản. Tập II, 182 tr. NXB Đại học và Trung học chuyên nghiệp, Hà Nội.

Trần Văn Trị & Vũ Khúc (Đồng chủ biên), 2009. Địa chất và Tài nguyên Việt Nam. 589 tr. NXB Khoa học tự nhiên và Công nghệ, Hà Nội.

Смирнов В.И., 1982. Геология полезных ископаемых. 4-е изд., перераб и доп. 669 с., "Недра", Москва.