

Địa hóa môi trường

Mai Trọng Nhuận, Nguyễn Thị Hoàng Hà, Trần Đăng Quy.
Khoa Địa chất, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên (ĐHQG HN).

Giới thiệu

Địa hóa môi trường (ĐHMT) phát triển thành một lĩnh vực khoa học độc lập từ những năm 1970 nhưng những nghiên cứu liên quan tới ĐHMT đầu tiên được thực hiện từ những năm 1760. Các công trình nền tảng của ĐHMT là các nghiên cứu về sinh quyển, Địa hóa cảnh quan, Địa hóa biểu sinh, Địa hóa sinh thái, Địa hóa môi trường và sức khỏe. Vào những năm đầu của thế kỷ 21, ĐHMT phát triển theo các hướng như Địa hóa kỹ thuật, Địa hóa các chất ô nhiễm, Địa hóa y học, Địa hóa sinh thái, Địa hóa nông nghiệp, Địa hóa tai biến, Địa hóa Công trình, Địa hóa môi trường khu vực. Hiện nay, các hướng nghiên cứu mới về ĐHMT mở rộng sang quản lý và công nghệ xử lý môi trường, Địa hóa môi trường và sức khỏe, sử dụng đồng vị bền trong nghiên cứu chu trình dinh dưỡng và nguồn gốc chất ô nhiễm, biến đổi khí hậu (phục hồi lại điều kiện cổ khí hậu và cổ môi trường), v.v...

Ở Việt Nam, việc nghiên cứu ĐHMT được tiến hành từ năm 1990, tập trung vào hành vi địa hóa của một số nguyên tố trong môi trường nước, trầm tích vùng vịnh, biển nông ven bờ, nước ngầm. Ngoài ra, một số hướng nghiên cứu ứng dụng trong ĐHMT cũng đã và đang được triển khai như: 1) Ảnh hưởng của môi trường địa hóa đến sức khỏe mà cụ thể là nghiên cứu địa hóa Iod và các nguyên tố vi lượng khác đối với các bệnh rối loạn thiếu hụt iod ở Tây Bắc, vùng đồng bằng Bắc Bộ và hải đảo Miền Bắc, các bệnh nhiễm độc As ở các vùng khoáng hóa Tây Bắc, flour trong nước khu vực Ninh Hòa; 2) Sử dụng đồng vị bền trong xác định nguồn gốc vật chất hữu cơ trong trầm tích và khôi phục môi trường lắng đọng trầm tích trong hệ sinh thái rừng ngập mặn tại Tiên Yên, cửa Ba Lạt, cửa sông Cừ Long, Cà Mau; 3) Sử dụng thực vật trong xử lý ô nhiễm kim loại nặng, v.v...

Hầu hết các định nghĩa về ĐHMT đều đề cập đến mối quan hệ tương tác giữa các nguyên tố hóa học trong các thể địa chất bề mặt với môi trường sống, trong đó có con người. ĐHMT nghiên cứu thành phần hóa học của đá, đất, nước, khí và sinh vật gần bề mặt Trái Đất, các phản ứng hóa học xảy ra trong môi trường tự nhiên, cơ chế, nguyên nhân và yếu tố ảnh hưởng tới sự duy trì trạng thái ổn định hóa học, tập trung các hợp chất chủ yếu trong môi trường sống, tác động của môi trường hóa học đối với con người. ĐHMT nghiên cứu các chất ô nhiễm vô cơ, hữu cơ, quá trình quyết định tới mức độ linh động và tác động sinh học của chúng trong môi trường trên cạn và dưới nước. Đối tượng của ĐHMT là hành vi các nguyên tố hóa học (sự phân bố, dạng tồn tại,

sự di chuyển, tập trung, phân tán, nguồn gốc) trong môi trường sống, trong các quá trình thành tạo bề mặt Trái Đất và mối quan hệ giữa hành vi các nguyên tố và chất lượng môi trường sống.

ĐHMT có nhiệm vụ nghiên cứu lịch sử hành vi các nguyên tố hóa học trong môi trường, trong các thể địa chất và các quá trình tự nhiên, nhân sinh có ảnh hưởng đến con người và sinh vật. Nói cách khác, ĐHMT nghiên cứu bản chất địa hóa của môi trường sống với các nội dung cụ thể như: 1) Nghiên cứu đặc điểm hóa - lý, sinh địa hóa các hợp phần môi trường, thành phần hóa học, dạng tồn tại, lịch sử, hành vi, nguồn gốc các nguyên tố trong môi trường sống và các quá trình địa hóa xảy ra trong môi trường sống đó; 2) Nghiên cứu quy luật phân bố, tập trung, phân tán các nguyên tố hóa học trong các hợp phần môi trường sống; xác định mức độ độc hại, ảnh hưởng của các độc tố và các nguyên tố có ích đối với sinh quyển và con người; quan hệ giữa sự tích lũy, dạng tồn tại các nguyên tố có ích, có hại trong cơ thể con người và đặc điểm địa hóa của môi trường tự nhiên với bệnh tật và sức khỏe con người, đề xuất phương hướng phòng bệnh và các biện pháp nâng cao sức khỏe cộng đồng; 3) Nghiên cứu nguồn gốc và bản chất địa hóa của ô nhiễm môi trường, xác lập cơ sở khoa học địa hóa và các giải pháp sử dụng hợp lý tài nguyên, sử dụng và cải tạo đất, nâng cao năng suất cây trồng và bảo vệ môi trường; 4) Xây dựng cơ sở khoa học địa hóa trong nghiên cứu biến đổi khí hậu, v.v...

Đặc điểm địa hóa môi trường

Địa hóa môi trường khí

Khí quyển của Trái Đất được phân làm 4 tầng – đối lưu, bình lưu, trung lưu và nhiệt lưu (nhiệt lưu nằm trực tiếp trên tầng trung lưu và dưới ngoại quyển, tại đây bức xạ tia cực tím gây ra sự ion hóa). Tầng đối lưu có khối lượng chiếm khoảng 90%, độ cao từ mặt đất đến 10km tại các cực và 16km tại xích đạo. Trong khí quyển có các phân tử khí, hợp chất hóa học, hạt bụi, ion, gốc hóa học tự do, vi sinh vật, v.v... Thành phần của không khí khô ở lớp sát mặt đất không bị ô nhiễm như sau: N₂ (78,08%), O₂ (20,95%), Ar (0,93%) và các khí khác (CO₂, Ne, He, CH₄, Kr, H₂, v.v...) [Bảng 1].

Khí quyển đóng vai trò quan trọng, quyết định sự tồn tại và phát triển của sinh giới, cung cấp O₂ và CO₂, có tầng O₃ bảo vệ sinh vật khỏi tác động của tia cực tím, lớp đệm cân bằng nhiệt, lớp điều hòa nhiệt độ, môi trường di cư và tồn tại của nhiều sinh vật,

đặc biệt là vi sinh vật. Ngược lại, sinh giới cũng trực tiếp làm biến đổi thành phần khí quyển và tạo cân bằng khí quyển, trong khi hoạt động nhân sinh lại có thể phá hủy cân bằng đó. Khí quyển lại cũng là môi trường di chuyển thuận lợi của rất nhiều nguyên tố và hợp chất hóa học (O₂, H₂, N₂, CO₂, v.v...). Ngoài ra, khí quyển tương tác và làm biến đổi mạnh các địa quyển khác như trao đổi vật chất và năng lượng với thạch quyển, thủy quyển và sinh quyển vì sự chênh lệch lớn về thế năng hóa học và mức năng lượng của các địa quyển. Do tương tác này mà thành phần các địa quyển biến đổi nhanh và mạnh, O₂ trong khí quyển oxy hóa các nguyên tố đa hóa trị trong đá và thúc đẩy quá trình phá hủy đá, khoáng vật. Các kim loại có thể bị kết tủa bởi sulfur hydro (H₂S) của khí quyển. CO₂ trong khí quyển làm kết tủa một số hợp chất như ZnCO₃ (smithsonit), PbCO₃ (cerussit), thúc đẩy quá trình hòa tan của silic ở dạng silicat, làm cho thành phần trầm tích và đá thay đổi.

Bảng 1. Thành phần (% thể tích) không khí khô^a (Wedepohl, 1974).

Khí	Thể tích (%)
N ₂	78,08
O ₂	20,95
Ar	0,93
CO ₂	0,033
Ne	0,0018
He	0,00052
CH ₄	0,00015
Kr	0,00011
H ₂	0,00005

^aCác khí quan trọng khác: Xe, N₂O, NO, NH₃, H₂S, SO₂, CO, O₃, CClF₃ và CCl₂F₂ chiếm < 0,0001%.

Ô nhiễm không khí là sự thay đổi tính chất, thành phần của không khí vi phạm tiêu chuẩn môi trường khí, có ảnh hưởng xấu tới sinh vật và con người. Theo Tổ chức Y tế Thế giới, nồng độ tối đa cho phép các chất độc trong không khí được tính theo thời gian. Có rất nhiều chất gây ô nhiễm không khí, đáng chú ý nhất là CO, SO_x, NO_x, bụi, các hydro-carbur, hóa chất bảo vệ thực vật, các chất quang hóa, chlorofluorocarbon (CFC), freon, các chất phóng xạ, v.v... Phần nhỏ các chất gây ô nhiễm không khí có nguồn gốc tự nhiên như các sulfur oxid (SO_x), bụi từ hoạt động núi lửa, các khí carbon oxid (CO, CO₂), nitro oxid (NO_x) và bụi do cháy rừng tự nhiên, bụi từ đất, hạt muối từ biển, khí methan từ xác thực vật bị phân hủy, phân hoa. Tuy nhiên, phần lớn các chất gây ô nhiễm không khí có nguồn gốc nhân tạo thông qua đường bốc hơi, cọ xát và đốt cháy. Trong đó, đốt cháy là con đường quan trọng nhất tạo ra các khí độc và bụi. Nhiên liệu hydrocarbon thường có lẫn tạp chất như lưu huỳnh vô cơ và hữu cơ, N, Cl, các khoáng vật trong quá trình cháy sẽ thải ra CO₂ (nếu cháy hết); CO và các hydrocarbon (nếu cháy không hết); các khí SO₂, SO₃ (trường hợp nhiên liệu có S),

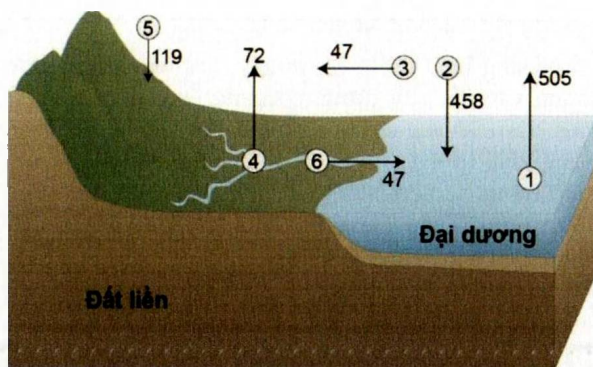
bụi Pb, Hg, các khí NO và NO₂.

Những hoạt động chính gây ô nhiễm khí là giao thông vận tải, xây dựng, công nghiệp, sinh hoạt. Ở Việt Nam, không khí bị ô nhiễm chủ yếu do các hoạt động giao thông vận tải đối với vùng đô thị và sản xuất nông nghiệp, sản xuất làng nghề tại các vùng nông thôn. Theo Tổng cục Môi trường (2009), trên phạm vi toàn quốc, ước tính hoạt động giao thông đóng góp gần 85% lượng khí CO; 95% lượng các hợp chất hữu cơ dễ bay hơi (VOCs); hoạt động công nghiệp là nguồn đóng góp chính khí SO₂; giao thông và sản xuất công nghiệp là nguồn đóng góp chính khí NO₂. Giao thông vận tải là nguồn phát thải chính gây ô nhiễm môi trường khí ở các khu đô thị, đặc biệt là CO, VOCs và NO₂. Hoạt động xây dựng cơ sở hạ tầng là nguồn chính phát thải bụi gây ô nhiễm không khí ở khu vực đô thị; hoạt động sản xuất xi măng, vật liệu xây dựng, khai khoáng là nguồn phát sinh bụi lơ lửng (TSP), bụi PM₁₀ như khu vực Thái Nguyên, Quảng Ninh. Hoạt động luyện kim tạo ra lượng khí CO rất lớn, các nhà máy nhiệt điện là nguồn đóng góp chính đối với khí thải NO₂ và SO₂; hoạt động sản xuất nông nghiệp thường phát sinh các khí CH₄, H₂S.

Nhìn chung, chất lượng môi trường không khí của Việt Nam đang bị suy giảm, đặc biệt là tại các khu đô thị lớn và các vùng khai thác chế biến khoáng sản. Kết quả quan trắc của mạng lưới quan trắc môi trường quốc gia năm 2010 cho thấy nồng độ bụi PM₁₀ tại Hà Nội, Đà Nẵng, Tp Hồ Chí Minh, tổng bụi lơ lửng (TSP) trong không khí xung quanh một số đô thị lớn đều vượt ngưỡng cho phép của QCVN 05:2009/BTNMT, đặc biệt là tại các tuyến đường giao thông chính của các đô thị lớn. Các khu vực sản xuất công nghiệp tập trung trên khắp cả nước cũng có chỉ tiêu tổng bụi lơ lửng (TSP) nhiều năm đều vượt ngưỡng cho phép. Khí NO₂ có xu hướng tập trung cao gây ô nhiễm tại các trục đường giao thông chính của các đô thị vì chúng có nguồn gốc chủ yếu từ hoạt động giao thông. Tương tự như vậy, khí CO cũng có nguồn gốc chủ yếu từ hoạt động giao thông, hàm lượng CO ở các khu vực đô thị phía nam đã vượt giới hạn, còn các đô thị phía bắc xấp xỉ bằng giới hạn của quy chuẩn. Nồng độ Pb, nồng độ benzen tại các trục đường giao thông chính của các đô thị đều vượt ngưỡng còn nồng độ các khí độc hại toluen, xylen vẫn nằm trong ngưỡng cho phép.

Địa hóa môi trường nước (thủy quyển)

Thủy quyển là toàn bộ nước tự nhiên gồm nước mưa, nước mặt và nước dưới đất. Khối lượng của thủy quyển khoảng 12,63.10⁹ km³ (chiếm 0,025% khối lượng Trái Đất), tập trung chủ yếu ở biển và đại dương (chiếm 97,2%), còn lại là trong khí quyển và trên lục địa. Chu trình của nước trong tự nhiên bao gồm các quá trình chính như bốc hơi, ngưng tụ mưa, tuyết, tạo nên dòng chảy mặt và dòng chảy ngầm, tích tụ ở hồ, biển và các bồn nước ngầm, v.v... [H.1].



Hình 1. Vòng tuần hoàn nước trên Trái Đất (Gleick, 1993) Các chữ số 47, 72, 119, 458, 506 là khối lượng nước tính bằng nghìn km³. **Chữ số trong vòng tròn:** 1 - bốc hơi từ đại dương vào khí quyển; 2 - mưa trên đại dương; 3 - tuần hoàn trong khí quyển từ đại dương vào lục địa; 4 - bốc hơi từ lục địa vào khí quyển; 5 - mưa trên lục địa; 6 - tuần hoàn từ lục địa ra đại dương.

Nước mặt, nước ngầm, nước sông, hồ, ao và nước biển khác nhau khá nhiều về thành phần và tính chất [Bảng 2, Bảng 3]. Trong nước tự nhiên, các nguyên tố có thể tồn tại ở nhiều dạng khác nhau

như ion chính (Na⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, và HCO₃⁻) [Bảng 2], khí (O₂, CO₂, H₂S, N₂, NH₃, v.v...), chất rắn lơ lửng, nguyên tố vi lượng [Bảng 3]. Trong nước biển, hàm lượng các ion chính giảm dần theo thứ tự Na⁺ > Mg²⁺ > Ca²⁺ và Cl⁻ > SO₄²⁻ > HCO₃⁻; trong khi trong nước lục địa thứ tự giảm dần lượt là Ca²⁺ > Na⁺ > Mg²⁺ và SO₄²⁻ > Cl⁻. Nước có ảnh hưởng quyết định tới dạng tồn tại của nguyên tố hóa học trong môi trường.

Nước vừa là môi trường, vừa là tác nhân của các phản ứng và quá trình xảy ra trong môi trường tự nhiên. Nước quyết định chiều, tốc độ và bản chất của hầu hết các quá trình khi nó tham gia trực tiếp như thủy phân, hydrat hóa, tạo keo, rửa trôi, tạo phức, v.v... Nước tham gia vào quá trình hình thành đá và khoáng vật, là tác nhân đặc biệt quan trọng trong quá trình phong hóa và trầm tích. Phần lớn khoáng vật biểu sinh và đá trầm tích được thành tạo trong môi trường nước. Nước đóng vai trò lớn trong việc di chuyển, tập trung, phân tán vật chất trong môi trường tự nhiên. Vật chất có thể di chuyển ở ba

Bảng 2. Hàm lượng trung bình (ppm) các ion chính và pH của nước mưa, nước sông, nước ngầm và nước biển.

Ion	Nước mưa ¹	Nước sông		Nước ngầm ³		Nước biển ⁴
		Trung bình ²	Khoảng ¹	Đá granit	Đá basal ¹	
Na ⁺	2,0	6,3	2-200	3-20	10-150	10,770
K ⁺	0,3	3,3	1-12	0,5-4	3-15	398
Mg ²⁺	0,3	4,1	1-40	0,3-7	1-20	1.290
Ca ²⁺	0,6	15,0	3-120	1-40	2-50	412
Cl ⁻	3,8	7,8	3-200	1-15	4-55	19.500
SO ₄ ²⁻	2,0	11,2	2-300	1-30	4-40	900
HCO ₃ ⁻	0,1	58,4	10-300	7-130	70-290	28
SiO ₂	-	13,1	2-30	6-45	30-80	2
F ⁻	-	-	0,05-2,7	0-1	0,2-8	1,3
HPO ₄ ²⁻	-	-	0,001-0,3	-	-	0,06
pH	5-7	6-8	7-9	8-10	8,0-8,3	6-8

Nguồn: 1 - Garrels and Mackenzie (1971); 2 - Livingston (1963); 3 - Bowen (1979); 4 - Boecker and Peng (1982).

Bảng 3. Hàm lượng trung bình (ppb) một số nguyên tố trong nước mưa, nước sông, nước ngầm và nước biển.

Nguyên tố	Nước ngọt		Nước biển ¹	Nguyên tố	Nước ngọt		Nước biển ¹
	Trung bình ¹	Khoảng ²			Trung bình ¹	Khoảng ²	
Al	50	8-3500	0,8 ^b	Li	12	0,07-40	170
As	1,7	0,2-230	1,7	Mn	8	0,02-130	0,3
B	18	7-500	4,500	Mo	0,5	0,03-10	10
Ba	60	3-150	14	N (NO ₃)	-	-	420
Br	20	0,05-55	67,000	Ni	2	0,02-27	0,5
Cd	0,1	0,01-3	0,08	Pb	1	0,06-120	0,002
Co	0,2	0,04-8	0,002 ^b	Rb	1,5	0,6-9	120
Cr	1	0,1-6	0,2	Se	0,2	0,02-1	0,1
Cs	0,03	0,005-1	0,3	Sr	60	3-1000	7,6
Cu	10	0,2-30	0,3	U	0,2	0,002-5	3
Fe	40	10-1400	0,06 ^b	Y	1	0,01-20	1
I	6	0,5-7	56	Zn	30	0,2-100	4

Nguồn: 1- Boecker and Peng (1982); 2 - Bowen (1979).

trạng thái rắn, lỏng, khí, trong đó di chuyển ở trạng thái lỏng quan trọng nhất, phổ biến nhất. Các nguyên tố do nước vận chuyển tồn tại ở nhiều dạng khác nhau - ion, vật liệu cơ học, keo, chất lơ lửng, hợp chất phức, v.v... Vật chất ở dạng ion và phức có thể bị mang đi xa nhất, vật chất ở dạng cơ học bị mang đi ở quãng đường ngắn nhất.

Mật độ sông ngòi của Việt Nam tương đối cao, trong đó có 13 hệ thống sông lớn có diện tích lưu vực trên 10.000km² nên tài nguyên nước mặt khá phong phú (xem "Tài nguyên địa chất"). Tuy nhiên, tài nguyên nước mặt của Việt Nam đang có nguy cơ cạn kiệt và bị ô nhiễm do phát triển các hoạt động như công nghiệp, nông nghiệp và nước thải đô thị. Tình trạng ô nhiễm chất hữu cơ xảy ra phổ biến ở vùng trung và hạ lưu của hầu hết các lưu vực sông ở Việt Nam, mạnh hơn về mùa khô khi lưu lượng dòng chảy giảm và đặc biệt mạnh ở các đoạn sông chảy qua các khu đô thị. Số liệu từ các trung tâm quan trắc môi trường năm 2010 cho thấy, các lưu vực sông chính của Việt Nam (sông Hồng, sông Cấm, sông Lam, sông Hương, sông Hàn, sông Đông Nai, sông Sài Gòn, sông Tiền, sông Hậu) đều có hàm lượng BOD₅ trung bình/năm vượt hoặc xấp xỉ bằng QCVN 08:2008/BTNMT [BOD₅ là lượng oxy cần thiết để oxy hóa hết các chất hữu cơ và sinh hóa do vi khuẩn (có trong nước nói chung và nước thải nói riêng) gây ra, với thời gian xử lý nước là 5 ngày ở điều kiện nhiệt độ là 20°C]. Đối với các đoạn sông chảy qua khu đô thị, chỉ tiêu BOD₅ phần lớn đều vượt ngưỡng cho phép, một số sông đã trở thành kênh dẫn nước thải của khu vực. Kết quả quan trắc trên ba lưu vực sông Nhuệ - Đáy, sông Cầu, sông Đông Nai cho thấy chất lượng nước bị suy giảm theo chiều hướng xấu, các thông số đều không đạt quy chuẩn, ô nhiễm mạnh nhất là chất hữu cơ.

Tài nguyên nước ngầm của Việt Nam khá phong phú, chủ yếu là trong các tầng chứa nước Đệ Tứ và tập trung ở các đồng bằng lớn (xem "Tài nguyên và trữ lượng nước dưới đất"). Nguyên nhân dẫn đến suy giảm chất lượng nước dưới đất là suy giảm tính chất của các tầng chứa nước, do khai thác quá mức, do thâm thấu chất ô nhiễm từ nước bề mặt, do xâm nhập mặn. Do khai thác quá mức mà các tầng chứa nước ven rìa và phía nam đồng bằng Bắc Bộ, trên đồng bằng sông Cửu Long đã bị nhiễm mặn và không còn đáp ứng được mục đích ăn uống. Bên cạnh đó, tình trạng nước ngầm bị ô nhiễm coliform diễn ra khá phổ biến ở nhiều nơi. Hàm lượng PO₄³⁻ trong nước ngầm có xu thế tăng theo thời gian và vượt ngưỡng giới hạn, có tới 71 % các giếng đang khai thác nước ngầm ở Hà Nội có hàm lượng NO₃⁻ vượt ngưỡng giới hạn. Ngoài ra, việc khai thác nước ngầm quá mức làm gương nước ngầm bị hạ thấp còn dẫn đến nước ngầm bị ô nhiễm As phổ biến ở đồng bằng Bắc Bộ và đồng bằng sông Cửu Long do cơ chế khử giải phóng As

trong trầm tích. Đối với khu vực phía tây Hà Nội, nước trong trầm tích Holocen và trầm tích Pleistocen đã có biểu hiện ô nhiễm As, trong trầm tích Pleistocen mạnh hơn trong trầm tích Holocen. Các huyện Ba Vì, Sơn Tây, Thạch Thất, Quốc Oai, Chương Mỹ, Mỹ Đức ít bị ô nhiễm hơn các huyện Hoài Đức, Phúc Thọ, Phú Xuyên, Thanh Oai, Ứng Hòa.

Giao thông vận tải biển, khai thác và vận chuyển dầu mỏ là những nguyên nhân gây nên sự cố tràn dầu trên biển gây ô nhiễm (xem "Tai biến Địa chất ngoại sinh và nhân sinh"). Kết quả quan trắc cho thấy có sự tồn dư hóa chất bảo vệ thực vật trong nước biển ven bờ và có xu thế giảm dần từ biển Miền Bắc vào biển Miền Nam. Nước biển ven bờ ở khu vực Đồ Sơn, Ba Lạt và Nha Trang, cửa Định An có biểu hiện bị ô nhiễm bởi lindan, DDD, DDT (kết quả phân tích giai đoạn 1996 - 1999).

Địa hóa môi trường và phong hóa

Sản phẩm tích tụ của quá trình phong hóa được gọi là vỏ phong hóa (xem thêm "Phong hóa"). Thành phần, tính chất vỏ phong hóa cũng như hành vi các nguyên tố hóa học trong vỏ phong hóa phụ thuộc vào nhiều yếu tố khác nhau - đá mẹ, các yếu tố phong hóa, thời gian phong hóa, hoạt động nhân sinh, v.v... Trong vỏ phong hóa, các nguyên tố có thể tồn tại ở nhiều dạng khác nhau, chủ yếu là khoáng vật biểu/thứ sinh (montmorillonit, illit, halurgit, kaolinit, goethit, gibbsit, v.v...), khoáng vật nguyên sinh sót lại trong vỏ phong hóa (thạch anh, ilmenit, felspat), chất keo, ion, khí.

Các nguyên tố linh động phân tán ra khỏi vỏ phong hóa gồm N, P, K, Ca, Mg (nguyên tố đa lượng có ích cần cho sinh vật), Cu, Zn, Mo, v.v... (nguyên tố vi lượng có ích cần cho sinh vật), Si trong khoáng vật silicat (không độc hại đối với sinh vật); Pb, Cd, As, Hg, v.v... (có hại cho sinh vật). Theo mức độ giảm khả năng di chuyển trong vỏ phong hóa có thể xếp các nguyên tố theo dãy S > Cl > (N, P) > U⁶⁺ > Na > K > Ca > Mg > Fe²⁺ > Si > Cu > Zn > Pb > Mo > U⁴⁺ > Fe³⁺ > Al > Ti, v.v... Tuy nhiên, mức độ linh động của các nguyên tố này có thể thay đổi tùy thuộc vào đặc điểm đá mẹ, chế độ trao đổi nước, lớp phủ thực vật và đặc biệt là hoạt động nhân sinh. Các nguyên tố di chuyển mạnh trong quá trình phong hóa thường có bán kính ion lớn và hóa trị nhỏ (Na, K, Ca, Cu, Zn, Cd, Pb, v.v...) hoặc hóa trị lớn (N, P, S, v.v...). Thế ion nhỏ làm nguyên tố dễ tạo cation hòa tan trong nước như Na, K hoặc rất lớn làm nguyên tố dễ tạo các phức anion dễ tan trong nước như NO₃⁻, Cl⁻, HCO₃⁻, SO₄²⁻, SiO₄²⁻. Mặt khác, các nguyên tố hóa trị nhỏ, bán kính lớn thường tạo các khoáng vật kém bền vững với quá trình phong hóa. Trong các khoáng vật này, chúng thường chiếm khoáng trống giữa các đơn vị cấu trúc tinh thể (giữa các tứ diện SiO₄ hoặc bát diện AlO₆) nên dễ dàng bị H⁺ của nước

(pH = 5,5 - 8,5) đẩy ra khỏi khoáng vật trong quá trình phong hóa. Các nguyên tố kém linh động trong vỏ phong hóa (Al, Fe, Ti, Zr, U⁴⁺, v.v...) có hành vi khác biệt. Đó là những nguyên tố dễ bị thủy phân tạo các hydroxid, oxid khó hòa tan trong khoảng pH phổ biến của vỏ phong hóa (4,0 - 8,0) hoặc tồn tại trong các khoáng vật nguyên sinh bền vững trong quá trình phong hóa.

Ở Việt Nam, việc nghiên cứu ĐHMT vỏ phong hóa đã được thực hiện ở Tây Nguyên và Miền Bắc Việt Nam, trong quá trình lập bản đồ vỏ phong hóa và trầm tích Đệ Tứ Việt Nam. Kết quả nghiên cứu cho thấy hành vi của các nguyên tố trong quá trình phong hóa, các loại khoáng sản liên quan (sét, quặng nhôm, sắt, vật liệu xây dựng, v.v...) phù hợp với các đặc trưng hành vi các nguyên tố hóa học nêu trên trong quá trình phong hóa.

Địa hóa môi trường đất

Đất là một loại tài nguyên quan trọng đối với sự phát triển của xã hội loài người cũng như là hợp phần quan trọng của môi trường tự nhiên, được hình thành qua quá trình thành tạo lâu dài và phức tạp (xem "Tài nguyên địa chất").

Thành phần hóa học các nguyên tố trong đất và đá mẹ liên quan chặt chẽ với nhau, nhất là ở giai đoạn đầu của quá trình hình thành đất, còn ở giai đoạn sau lại chịu sự chi phối của quá trình lý - hóa - sinh học và hoạt động nhân sinh. Ví dụ như silic giữa đá và đất gần giống nhau, Fe và Al được tích lũy trong quá trình phong hóa ở điều kiện nhiệt đới ẩm. Trong khi đó, các nguyên tố kiềm (Ca, Na, K, Mg) được giải phóng và bị rửa trôi trong quá trình hình thành đất nên chúng có hàm lượng ít hơn nhiều so với trong đá mẹ. Các nguyên tố nhóm sắt (Ni, Co, Mn, Cr) có hàm lượng trong đất thấp hơn trong đá mẹ khoảng 1,5 lần vì chúng bị mang đi ở dạng hợp chất phức với acid hữu cơ và amin. Các nguyên tố khác có ý nghĩa sinh học như C, S, N, P

được tích lũy trong đất do được sinh vật sử dụng (quá trình cố định, hấp thụ chọn lọc). Phụ thuộc vào hàm lượng, tính chất và đặc biệt là nhu cầu dinh dưỡng của thực vật, các nguyên tố hóa học trong đất được chia thành nhóm nguyên tố đa lượng (H, C, O, N, K, Ca, Mg, P, S), nhóm nguyên tố vi lượng (Fe, B, Mn, Zn, Mo, Co, v.v...), nhóm nguyên tố phóng xạ (U²³⁸, U²³⁵, Th²³², Ra²²⁶, Rn²²², Rn²²⁰, K⁴⁰, Rb⁸⁷, Sm¹⁴⁷, Ca⁴⁸, Zn⁹⁶, H³, Be⁷, B¹⁰, C¹⁴, v.v...) [Bảng 4].

Dựa vào dạng di chuyển và tác nhân di chuyển để phân chia các kiểu tập trung và phân tán của các nguyên tố trong đất: do sinh vật, tàn dư thối rữa, do nước, do khí. Loại tập trung và phân tán do sinh vật của các nguyên tố hóa học rất đặc trưng cho tầng mùn và tầng tập trung than bùn. Vi sinh vật có vai trò lớn trong sự hình thành tầng đó và di chuyển nguyên tố hóa học. Nhờ quá trình phân hủy tàn dư thực vật và động vật mà nhiều nguyên tố được giải phóng vào đất. Chúng lại tham gia vào thành phần của tầng mùn và các hợp chất hữu cơ phức tạp khác của đất và tập trung tại đó. Nhiều nguyên tố đa lượng (Ca, K, Mg, Na, P, S, N, O) và vi lượng (I, Bi, Mo, Zr, Cu, Co, Ni, Mn, Sr, v.v...) tham gia vào quá trình tổng hợp mùn và nuôi sống sinh vật. Quá trình phong hóa tàn dư thối rữa xảy ra mạnh nhất ở vùng khí hậu nhiệt đới nóng ẩm, sản phẩm của quá trình phong hóa và tạo tầng thổ nhưỡng là tầng đất đỏ giàu Al và Fe, nghèo Mg, Ca, Na, v.v... Các chất mùn bị phân hủy mạnh và bị mang đi khỏi các tầng trên. Quá trình tập trung và phân tán do dòng nước mao dẫn trong đất xảy ra mạnh nhất ở vùng đồng cỏ, đầm lầy nhiệt đới, vùng khô hạn vì nước ngấm theo dòng mao dẫn từ các tầng dưới sâu đi lên bề mặt, gặp nhiệt độ cao bị bay hơi và để lại các muối trong đất. Quá trình tập trung và phân tán do khí của các nguyên tố trong đất kém phổ biến hơn. Một phần các chất khí trong đất hòa tan vào nước dưới đất, phần khác được giải phóng từ tầng dưới sẽ thoát ra để đi vào khí quyển.

Bảng 4. Hàm lượng trung bình một số nguyên tố trong đất (Bowen, 1979).

Nguyên tố	Hàm lượng (%)	Nguyên tố	Hàm lượng (mg/kg)	Nguyên tố	Hàm lượng (mg/kg)	Nguyên tố	Hàm lượng (mg/kg)
O	49,0	Ag	0,05	Ga	20	Sc	7
Si	33,0	As	6	Hf	6	Se	0,4
Al	7,1	B	20	Hg	0,06	Sm	5
Fe	4,0	Be	0,3	La	40	Sn	4
Ca	1,5	Cd	0,35	Li	25	Sr	250
Na	0,5	Ce	50	Mn	1000	Ta	2
Mg	0,5	Cl	100	Nb	10	Th	9
K	1,4	Co	8	Nd	35	U	2,7
		Cr	70	Mo	1,2	V	90
		Cs	4	Ni	50	Y	40
		Cu	30	Pb	19	Zn	70
				Rb	67	Zr	300

Tại Việt Nam, nhiều công trình nghiên cứu về Địa hóa môi trường đất được thực hiện, tiêu biểu như công trình thành lập sơ đồ địa hóa Miền Bắc Việt Nam và thành lập bản đồ vành phân tán địa hóa thứ sinh Việt Nam.

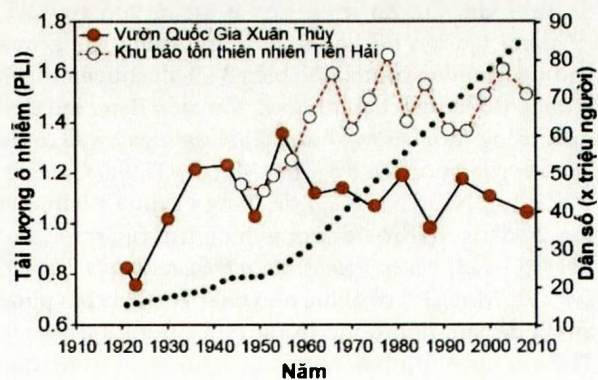
Đất nông nghiệp của Việt Nam đang bị ô nhiễm do sử dụng không hợp lý phân bón và thuốc bảo vệ thực vật. Hiệu suất sử dụng phân đạm, phân lân, phân kali ở Việt Nam mới chỉ đạt từ 30 - 50%, tương đương lượng còn tồn dư trong đất là 1,8 triệu tấn urê, 2 triệu tấn lân, 340 nghìn tấn KCl. Diện tích gieo trồng từ giai đoạn 1985 - 2007 tăng hơn 1,5 lần nhưng lượng phân bón tăng từ 4 lần đối với N đến 14 lần đối với K₂O. Theo Cục Bảo vệ thực vật, lượng hóa chất bảo vệ thực vật được sử dụng trong năm 2007 lên đến 75 nghìn tấn/năm với hơn 300 loại khác nhau. Theo Sở Tài nguyên và Môi trường tỉnh Vĩnh Long (2010), lượng hóa chất bảo vệ thực vật mà cây trồng hấp thụ vào khoảng 30 - 50%, phần còn lại được thải ra môi trường, trong đó có môi trường đất. Kết quả khảo sát của Sở Tài nguyên và Môi trường tỉnh Nam Định (2010) cho thấy đất nông nghiệp tại các xã Liêm Hải, Nam Dương, thị trấn Yên Định có dư lượng thuốc bảo vệ thực vật vượt giới hạn cho phép của QCVN 15:2008/BTNMT. Đất ở Việt Nam còn bị ô nhiễm Cu, Zn, Cd, Pb do xả các chất thải chưa được xử lý hoặc xử lý chưa triệt để của các khu công nghiệp, khu dân cư, chất thải từ các làng nghề; ô nhiễm cục bộ do tồn lưu các chất độc hóa học sử dụng trong chiến tranh. Quân đội Mỹ đã sử dụng hơn 77 triệu lít chất diệt cỏ trong chiến tranh Việt Nam, trong số đó một nửa là chất da cam quy đổi ra tương đương khoảng 366kg dioxin. Các khu vực bị ô nhiễm do phun rải chiếm khoảng 2,63 triệu ha phân bố rải rác trên toàn Miền Nam. Mức ô nhiễm dioxin trong đất với hàm lượng 1.000ppt TEQ phát hiện thấy ở vùng phía bắc và phía tây nam của sân bay Biên Hòa với tổng diện tích là 163.000m²; phía bắc sân bay Đà Nẵng với diện tích 88.000m² nằm ngay trong Tp Đà Nẵng và gần khu dân cư; ở trong sân bay Phù Cát với diện tích khoảng 4.000m².

Địa hóa môi trường trầm tích

Trầm tích là sản phẩm vô cơ, hữu cơ, hay hỗn hợp lắng đọng do kết quả của các quá trình vật lý - hóa học - sinh học và chưa chuyển hóa thành đá trầm tích, nằm trên bề mặt đáy của vùng lắng đọng (xem "Quá trình trầm tích"). Thành phần hóa học của trầm tích rất phức tạp với sự khác nhau về hàm lượng các nguyên tố hóa học. Trầm tích hồ nghèo Fe, Mn, Ca, Na và B, giàu Mg hơn trầm tích đại dương. Đá trầm tích sét và phiến sét, trầm tích đại dương khác nhau không nhiều về độ phổ biến của nhiều nguyên tố đa lượng (Si, Ti, Al, Ca, K, P, v.v...) và một số nguyên tố vi lượng (Li, Cs, Ba, B, V, Tl, Ge, Se, v.v...). Từ nguồn cấp, vật liệu trầm tích vô cơ có thể được dòng nước vận chuyển đi ở bốn dạng: rắn

(manh, cục, hạt), vật lơ lửng, dung dịch keo, dung dịch thật. Vật liệu trầm tích hữu cơ chủ yếu được vận chuyển ở ba dạng sau cùng. Các hạt sét, bột thường được dòng nước mang đi ở dạng vật chất lơ lửng. Dạng vật chất lơ lửng và dạng dung dịch keo là dạng di chuyển chủ yếu của các nguyên tố họ sắt (Fe, Mn, V, Cr, N, Co), Cu, P, Ca, Mg, Cl, S (dạng sulfat), Na và K được vận chuyển chủ yếu ở dạng dung dịch thật không bão hòa, còn bicarbonat Ca, Mg di chuyển ở dạng dung dịch thật không bão hòa hoặc dung dịch thật bão hòa. Để đặc trưng cho độ linh động các nguyên tố hóa học trong môi trường thành tạo trầm tích, người ta dùng chỉ số Kđ = Ld/Lc là tỷ số giữa lượng nguyên tố di chuyển ở dạng dung dịch thật (Ld) và lượng di chuyển ở dạng cơ học (Lc). Theo mức độ tăng dần chỉ số Kđ có thể xếp các nguyên tố vào dãy V → (Cr, Be, Ga, Zn) → Mn → (Pb, Sn) → Ca → Mg → Cu → K → Sr → Na.

Tại Việt Nam, từ 1990 đến nay đã tiến hành những nghiên cứu về hành vi địa hóa của một số nguyên tố trong môi trường nước, trầm tích vùng vịnh và biển nông ven bờ tỷ lệ 1:500.000 cho toàn vùng biển ven bờ và tỷ lệ 1:100.000 cho một số vùng biển. Trong trầm tích đới gian triều khu vực châu thổ sông Hồng, hàm lượng các nguyên tố kim loại nặng có xu thế tăng dần từ những năm 1950 đến nay. Hệ số tải lượng ô nhiễm (PLI) của các nguyên tố kim loại trong trầm tích rừng ngập mặn tăng theo thời gian và có mối tương quan với sự gia tăng dân số và phát triển kinh tế - xã hội [H.2]. Hàm lượng các nguyên tố Pb, Zn, Cu, Cr và Cd trong rừng ngập mặn ở đồng bằng sông Hồng đã vượt ngưỡng hướng dẫn đánh giá chất lượng môi trường trầm tích của Canada (ISQGs), có thể gây ra những ảnh hưởng lên sức khỏe của sinh vật bám đáy và chuỗi/lưới thức ăn.



Hình 2. Biến đổi giá trị tải lượng ô nhiễm (PLI) của trầm tích rừng ngập mặn ở cửa sông Hồng theo thời gian (Nguyễn Tài Tuệ và nnk, 2012).

Hàm lượng các kim loại Cu, Pb, Zn, Cd, As, Hg trong trầm tích đầm phá Miền Trung khá cao, trong đó một số nguyên tố đã vượt ngưỡng hướng dẫn đánh giá chất lượng môi trường trầm tích, gồm Cu (đầm Lăng Cô, Nước Mặn, Nước Ngọt, Thị Nại và Ô Loan); Pb (Thủy Triều, Nước Mặn, Cù Mông); Zn

(Đầm Nại); Hg (Nước Ngọt, Thủy Triều). Ở các vùng cửa sông khu vực Tp Hồ Chí Minh, hàm lượng một số kim loại trong trầm tích như Cd, Cr, Cu và Zn vượt ngưỡng cho phép. Hàm lượng một số nguyên tố kim loại nặng (mg/kg) trong trầm tích ở vùng cửa sông Mekong là: Pb (37), Zn (144), Cu (47), Ni (31), Mn (662), Cr (98), Cd (0,4), Hg (0,034). Hàm lượng (ng/g) của hóa chất bảo vệ thực vật trong trầm tích ven biển đồng bằng sông Hồng dao động trong khoảng: HCHs (1,2-33,7), DDTs (6,2-10,4), HCB (0,1-6,5), PCBs (0,47-28,1). Các cửa sông ở đồng bằng sông Cửu Long cũng có nguy cơ ô nhiễm hóa chất bảo vệ thực vật cao. Hàm lượng của hóa chất bảo vệ thực vật DDTs tăng cao trong cửa sông Hậu vào mùa mưa nhưng có xu thế giảm xuống vào mùa khô.

Yếu tố chính ảnh hưởng đến sự di chuyển của các nguyên tố trong môi trường tự nhiên

Sự di chuyển của nguyên tố hóa học trong môi trường phụ thuộc vào đặc điểm địa hóa môi trường (yếu tố di chuyển ngoài) và tính chất của nguyên tố (yếu tố di chuyển trong). Những tính chất quyết định hành vi nguyên tố gồm cấu tạo nguyên tử, nguyên tử lượng, bán kính nguyên tử, bán kính ion, số phối trí, thế ion hóa, hóa trị, ái lực điện tử, tính âm điện, thế oxy hóa khử, liên kết hóa học và khả năng tạo phức, độ hòa tan các hợp chất, pH - Eh, khả năng thay thế đồng hình, khả năng tạo keo, dạng tồn tại trong tự nhiên.

Thế ion

Thế ion được xác định theo công thức $Tn=Z/R$, trong đó Z là hóa trị, R là bán kính ion. Dựa vào Tn có thể phân các nguyên tố hóa học ra ba nhóm. 1) *Nhóm nguyên tố có thế ion nhỏ với $Tn < 3$* (Na, K, Ca, Mg, Ba, Sr, Fe²⁺, Mn, Cu, Zn, v.v...) có ái lực rất lớn với OH⁻, dễ dàng tạo ion dễ hòa tan và linh động trong môi trường tự nhiên có pH phổ biến 3 - 9, di chuyển mạnh ở dạng dung dịch thật, thường tồn tại ở dạng ion đơn giản trong môi trường nước. 2) *Nhóm nguyên tố có thế ion trung bình với $Tn = 3 - 10$* (Al, Fe³⁺, Ti, Be, Ga, Cr³⁺, Y, Zr, Ge, Nb, Th, v.v...) dễ dàng bị thủy phân, kết tủa ở dạng hydroxid trong môi trường nước với pH = 3 - 9. 3) *Nhóm nguyên tố có thế ion lớn với $Tn > 10$* (V⁵⁺, P⁵⁺, Mo⁶⁺, S⁶⁺) có ái lực nhỏ nhất với OH⁻, tạo phức anion dễ tan, linh động trong môi trường biểu sinh. Thế ion quyết định hành vi các nguyên tố trong quá trình trầm tích và mọi quá trình tạo khoáng xảy ra trong môi trường nước, khả năng phân dị và hấp thụ của nguyên tố trong quá trình tương tác giữa các hợp phần của môi trường tự nhiên.

Thế oxy hóa - khử

Thế oxy hóa - khử (Eo) là đại lượng đặc trưng cho khả năng nhường và nhận electron của cặp oxy hóa - khử. Phần lớn các kim loại có thế oxy hóa - khử

nhỏ (Na, K, v.v...) là những chất khử mạnh, dễ dàng tham gia các phản ứng hóa học, có khả năng di chuyển mạnh trong môi trường tự nhiên. Các nguyên tố có thế oxy hóa - khử rất lớn (Au, Pd, Ag, v.v...) khó tham gia các phản ứng hóa học, kém linh động trong điều kiện bề mặt Trái Đất, thường tồn tại ở dạng tự sinh. Thế oxy hóa - khử của nguyên tố quy định khả năng của nguyên tố tham gia vào các phản ứng hóa học và tạo các hợp chất, quyết định độ bền vững của các hợp chất cũng như dạng tồn tại của nguyên tố trong môi trường.

Độ hòa tan của hợp chất

Độ hòa tan của hợp chất (khoáng vật, quặng, đá, v.v...) là khả năng tan của chúng trong môi trường nào đó. Độ hòa tan của hợp chất quyết định khả năng di chuyển của nguyên tố ở dạng ion và quy định vai trò của nguyên tố với môi trường. Các độc tố có độ hòa tan càng lớn, càng linh động thì càng có khả năng lan truyền ô nhiễm mạnh trong các hợp phần môi trường khác nhau. Nguyên tố có độ hòa tan càng kém càng có khả năng tập trung cao trong môi trường tự nhiên.

Clark và clark tập trung

Clark là hàm lượng trung bình của nguyên tố trong một hệ địa hóa xác định (vỏ Trái Đất, Trái Đất). Clark có ý nghĩa rất lớn đối với hành vi các nguyên tố trong môi trường tự nhiên. Clark nguyên tố có ảnh hưởng lớn tới độ hòa tan của nguyên tố và hợp chất của nó. Clark quyết định số lượng khoáng vật độc lập có thể có, nguyên tố có Clark càng lớn càng có khả năng tạo nhiều khoáng vật, nguyên tố có Clark nhỏ tồn tại ở dạng phân tán. Đa số các nguyên tố độc hại có Clark nhỏ, dễ phân tán và lan tỏa trong nhiều hợp phần môi trường tự nhiên, do đó dễ dàng gây ô nhiễm cho môi trường. Clark tập trung (KK) được xác định bằng công thức $KK = Ci/Ct$; trong đó Ci là hàm lượng nguyên tố trong một thể địa chất cụ thể, Ct là Clark nguyên tố. Clark tập trung thể hiện khả năng của nguyên tố tập trung hay phân tán trong môi trường. Nhìn chung, các nguyên tố có độ phổ biến càng lớn thì clark tập trung sẽ càng nhỏ.

Dạng tồn tại các nguyên tố trong tự nhiên

Trong vỏ Trái Đất, các nguyên tố có thể tồn tại ở nhiều dạng khác nhau: khoáng vật độc lập, thay thế đồng hình, dung thể magma, dung dịch nước và hỗn tạp khí (phân tử, nguyên tử, ion, v.v...), cơ thể sinh vật và dạng phân tán. Trong môi trường gần bề mặt Trái Đất, các nguyên tố tồn tại ở hai dạng là dạng linh động và dạng trơ. Khi ở dạng linh động, các nguyên tố dễ dàng chuyển sang dạng dung dịch và di chuyển. Khi ở trạng thái trơ, các nguyên tố rất khó di chuyển. Do đó, mức độ nguy hại của nguyên tố ở dạng linh động lớn hơn nhiều ở dạng trơ. Theo khả

năng tồn tại ở dạng linh động hay tro, Perenman phân ra 7 dạng nguyên tố hóa học trong môi trường tự nhiên: 1) trạng thái khí (O_2 , N_2 , CO_2 , H_2 , Ar, CH_4 , He); 2) dạng muối dễ hòa tan và ion trong dung dịch ($NaCl$, Na_2CO_3 , $MnSO_4$, $CuSO_4$, $ZnSO_4$, v.v...); 3) dạng muối khó tan ($CaCO_3$, $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, $PbSO_4$, v.v...); 4) dạng keo rắn và dung dịch keo lỏng (humic, keo của hydroxid Fe, Mn, Al, khoáng vật sét, v.v...); 5) dạng ion hấp phụ (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Ni^{2+} , Cu^{2+} v.v...); 6) dạng sinh học và sản phẩm hoạt động của sinh vật (protein, mỡ, vitamin); 7) dạng chiếm chỗ trống của khoáng vật và nút mạng tinh thể khoáng vật (Si, Al, Zn, Hf, W, Sn, Ta, Nb, Th, v.v...).

Ảnh hưởng của hoạt động nhân sinh

Các phản ứng hóa học trong môi trường tự nhiên (đất, trầm tích, nước, khí) trên bề mặt Trái Đất thường giữ được trạng thái cân bằng. Tuy nhiên, hoạt động nhân sinh (chặt phá rừng, trồng trọt, khai thác và chế biến khoáng sản, v.v...) có thể phá vỡ thể cân bằng tự nhiên và làm thay đổi hành vi địa hóa của các nguyên tố trong môi trường. Do sự gia tăng dân số nên sự tác động này ngày càng tăng.

Tầng khí nhà kính. Khí nhà kính là những khí có khả năng hấp thụ các bức xạ sóng dài (hồng ngoại) được phản xạ từ bề mặt Trái Đất khi được chiếu sáng bằng ánh sáng Mặt Trời, sau đó phân tán nhiệt lại cho Trái Đất, gây nên hiệu ứng nhà kính. Các khí nhà kính chủ yếu gồm CO_2 , CH_4 , N_2O , O_3 , CFC, hơi nước. Trong những thập kỷ gần đây, những hoạt động phát triển kinh tế - xã hội với cường độ ngày một cao trong nhiều lĩnh vực như năng lượng, công nghiệp, giao thông, nông - lâm nghiệp và sinh hoạt đã làm tăng nồng độ các khí nhà kính, Trái Đất nóng lên, gây biến đổi hệ thống khí hậu và ảnh hưởng tới môi trường toàn cầu.

Mưa acid. Việc đốt nhiên liệu hóa thạch làm sản sinh ra các hợp chất CO_2 , SO_2 và NO_x . Các chất khí này kết hợp với hơi nước trong khí quyển gây ra mưa acid. Mưa acid làm độ pH của thủy vực giảm xuống, ảnh hưởng đến sinh vật sống trong các thủy vực. Độ chua của đất tăng, làm thay đổi hành vi địa hóa của các nguyên tố trong môi trường đất, đất suy thoái ảnh hưởng đến sự phát triển của thực vật. Ngoài ra, mưa acid còn phá hủy vật liệu kim loại, các công trình kiến trúc xây dựng bằng đá vôi. Tuy nhiên, mưa acid cũng có thể cung cấp dinh dưỡng (N và S) cho đất và làm giảm phát thải CH_4 từ các đầm lầy.

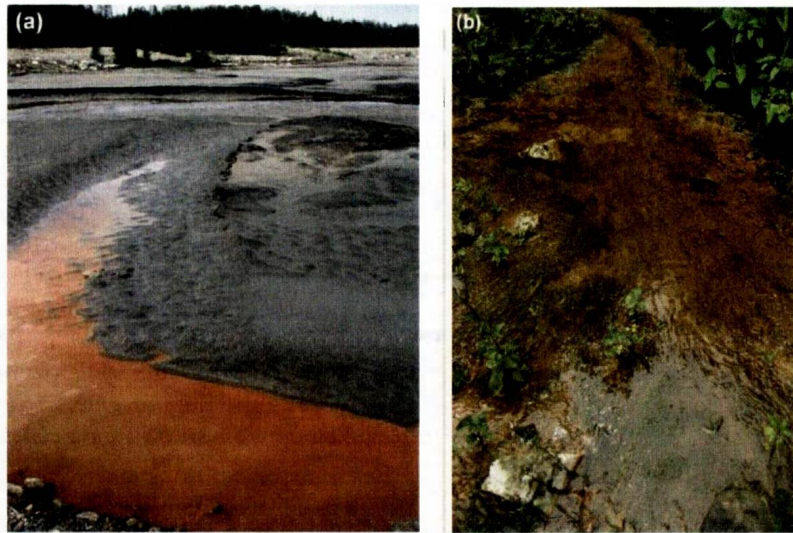
Phá hủy tầng ozon. Tầng ozon đóng vai trò rất quan trọng, hấp thụ phần lớn các tia cực tím từ Mặt Trời, bảo vệ bề mặt Trái Đất và thế giới sinh vật khỏi các tia bức xạ này. Ozon trong bầu khí quyển Trái Đất nói chung được tạo thành bởi tia cực tím, phá vỡ các phân tử O_2 , tạo thành oxy nguyên tử. Sau đó, oxy nguyên tử kết hợp với phân tử oxy để tạo thành O_3 .

Tia cực tím chiếu vào ozon, tách O_3 thành O_2 và oxy nguyên tử, quá trình liên tục này được gọi là chu trình ozon-oxy. Chu trình này có thể bị phá vỡ bởi sự có mặt của các nguyên tử Cl, F và Br trong khí quyển; các nguyên tố này có mặt trong những hợp chất bền vững, đặc biệt là chlorofluorocarbon (CFC) là chất có thể thấy ở tầng bình lưu và được giải phóng dưới tác động của tia cực tím. Đây là các hợp chất được sử dụng phổ biến trong các thiết bị làm lạnh, các dung môi, các khí tóa bọt, các chất phun bụi mỹ phẩm hoặc sơn phun tồn tại bền vững trong khí quyển. Khi các chu trình ozon-oxy bị phá vỡ, tầng ozon không thể hấp phụ tia cực tím sẽ gây tác động xấu đến môi trường sống của con người.

Chất thải. Hoạt động sản xuất và sinh hoạt đã xả thải ra môi trường một lượng lớn các chất gây ô nhiễm môi trường đất, nước và khí. Trong môi trường khí, bụi lơ lửng chứa các nguyên tố As, Cd, Pb, v.v... sinh ra do đốt than, dầu, xăng, v.v... thường thoát ra từ các nhà máy nhiệt điện và nhà máy hóa chất, phương tiện giao thông. Bụi amiang, bụi silic, bụi than, bụi phóng xạ, các nguyên tố Cu, Pb, Zn, Ag, Hg, Mo, Sb, các acid sulfuric, v.v... liên quan với khai thác, chế biến các khoáng sản. Khí SO_2 sinh ra trong quá trình đốt nhiên liệu, NO_x , CO sinh ra khi đốt các loại nguyên vật liệu (nhiệt điện, luyện kim, giao thông, nông nghiệp, v.v...). Các khu vực khai thác than thường có nồng độ khí độc (CO , SO_2 , NO_2 , H_2S) khá cao. Các quá trình địa chất - địa hóa (hoạt động núi lửa, thoát khí từ các khe núi do động đất) cũng có vai trò quan trọng trong việc cung cấp và phát tán chất ô nhiễm (SO_x , NO_x , CO_x , HCl, HF, v.v...) vào môi trường khí. Các nguồn phát thải nước thải cũng rất đa dạng - sinh hoạt, sản xuất công nghiệp, nông nghiệp, v.v... Chất thải sinh hoạt thường chứa nhiều hợp chất hữu cơ dễ phân hủy, chất dinh dưỡng, vi sinh vật, v.v... Nước thải công nghiệp có thể chứa những hóa chất độc hại như kim loại nặng, hợp chất hữu cơ. Nước thải từ khu khai thác mỏ sulfur thường có pH thấp và hàm lượng một số nguyên tố vượt quá giới hạn cho phép [H.3]. Nước thải từ sản xuất nông nghiệp có thể chứa NO_3^- , PO_4^{3-} , NH_4^+ , DDT, DDE, v.v...

Khả năng môi trường đồng hóa chất ô nhiễm

Sự di chuyển các nguyên tố trong môi trường sẽ dẫn đến sự tập trung hoặc phân tán nguyên tố tạo dị thường địa hóa. Dị thường địa hóa là khi hàm lượng nguyên tố hóa học trong môi trường (đất, đá, nước, trầm tích, thực vật, v.v...) khác biệt đủ lớn với trị số nền (phông) địa hóa của khu vực. Ô nhiễm môi trường là sự tập trung (gây dư thừa) hoặc phân tán (gây thiếu hụt) nguyên tố, hợp chất hóa học vượt quá giới hạn cho phép hoặc thấp dưới tiêu chuẩn/quy chuẩn môi trường và có hại cho sinh vật hoặc con người. Ngưỡng địa hóa môi trường là hàm lượng các nguyên tố trong thành phần môi trường của khu vực nghiên cứu tương ứng với các chuẩn



Hình 3. Nước thải acid từ mỏ chì kẽm.

(a) Tại khu khai thác chì kẽm Kristineberg, Thụy Điển (Lovgren, Umea University),
(b) Tại khu mỏ chì kẽm Chợ Điền (Bắc Kạn, Việt Nam).

quốc gia hoặc quốc tế quy định về thành phần môi trường đó.

Các quá trình xảy ra trong hệ sinh thái có tác động lớn tới khả năng đồng hóa chất ô nhiễm. Quá trình quang hợp đã chuyển CO_2 thành $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ làm giảm khả năng gây hiệu ứng nhà kính. Các quá trình trầm tích xảy ra trong hệ sinh thái dưới nước thúc đẩy sự lắng đọng và hấp phụ các nguyên tố, hợp chất vào trầm tích, hạ thấp nồng độ của chúng trong nước. Các loài động vật, thực vật có khả năng hấp thụ, chuyển hóa các chất ô nhiễm khác nhau làm giảm độc tính hoặc giảm hàm lượng của chúng trong môi trường. Môi trường địa chất có khả năng tự đồng hóa chất ô nhiễm phụ thuộc vào thành phần, tính chất và các quá trình xảy ra trong môi trường đó. Các thể trầm tích bờ rời, vỏ phong hóa và đất có khả năng tàng trữ, lưu giữ độc tố cao hơn các đá magma, đá biến chất. Trầm tích giàu bùn sét, vật liệu hữu cơ có khả năng tự đồng hóa kém, nhưng có khả năng tàng trữ, lưu giữ độc tố và vi sinh vật cao hơn trầm tích cát sạn. Các khoáng vật sét, khoáng vật keo, các chất vô định hình có khả năng hấp phụ độc tố cao hơn hẳn so với các khoáng vật nội sinh như thạch anh, ilmenit, fenspat, v.v... Các quá trình địa chất xảy ra trong môi trường, đặc biệt là quá trình hình thành đất, vỏ phong hóa, vận chuyển, lắng đọng và biến đổi trầm tích, v.v... cũng như đặc điểm khí hậu, thủy văn ảnh hưởng lớn tới khả năng tự đồng hóa chất ô nhiễm của môi trường. Các quá trình này làm thay đổi dạng tồn tại, cấu trúc, thành phần của các chất gây ô nhiễm và đặc tính của môi trường, đặc biệt là các hợp chất hữu cơ và các kim loại đa hóa trị.

Địa hóa môi trường và sức khỏe

Con người là thành phần của sinh quyển, luôn trao đổi vật chất và năng lượng với môi

trường xung quanh. Thành phần chủ yếu của cơ thể người là O, C, H và Ca (chiếm 98% trọng lượng), tiếp đó là S, P, Na, K, Cl, Mg. Các nguyên tố còn lại có hàm lượng rất thấp như Ni, V, Li, Co, v.v... Con người có thể rơi vào tình trạng bệnh lý khi hàm lượng các nguyên tố trong cơ thể giảm đi hoặc tăng lên so với hàm lượng cần thiết. Sự thiếu hụt hoặc dư thừa quá mức các nguyên tố trong cơ thể có thể dẫn đến tử vong.

Các nguyên tố vi lượng tham gia vào thành phần của cơ thể người có vai trò đặc biệt quan trọng đối với chức năng sinh lý - sinh hóa. Sự thiếu hụt hay dư thừa các nguyên tố vi lượng đều tác động đến tình trạng sức khỏe như xuất hiện nhiều loạn trong quá trình sinh hóa, sinh lý và quá trình trao đổi chất; xuất hiện pha trao đổi bù trừ và pha trao đổi không bù trừ; cuối cùng là tình trạng bệnh lý, tử vong.

Nguyên nhân chủ yếu của sự thiếu hụt và dư thừa các nguyên tố hóa học trong cơ thể có thể là do thành phần nước uống và thức ăn ban đầu. Thành phần nước uống và thức ăn lại phụ thuộc vào đặc điểm địa hóa của môi trường, quá trình sản xuất và chế biến thực phẩm. Trong các điều kiện khác nhau thì hàm lượng của nguyên tố và hợp chất của nó trong cơ thể người phụ thuộc gần như tuyến tính trong một khoảng hàm lượng xác định của chúng trong môi trường sống nói chung và trong thực phẩm, nước uống nói riêng. Ngoài ra, sự có mặt của một số nguyên tố và hợp chất của chúng trong môi trường có thể thúc đẩy hoặc kìm hãm sự hấp thụ các nguyên tố khác vào cơ thể con người. Ví dụ, sự có mặt của Ca, Mg trong thức ăn, nước uống gây cản trở sự hấp thụ iod; Cu cản trở hấp thụ Zn; Zn cản trở sự hấp thụ Fe vào cơ thể con người. Sự thiếu hụt và dư thừa của nguyên tố hóa học còn liên quan tới khả năng hấp thụ và đồng hóa thức ăn của người cũng như tình trạng bệnh lý.

Mức nồng độ cần thiết của các nguyên tố và hợp chất hóa học và sự tác động của chất độc đối với cơ thể người và các loại sinh vật rất khác nhau, phụ thuộc nhiều vào hàm lượng, dạng tồn tại và đặc tính sinh địa hóa của chúng cũng như giống, loài, độ tuổi sinh vật. Một số nguyên tố cần cho loài này nhưng lại độc hại đối với loài kia. Có những nguyên tố và hợp chất khi ở hàm lượng thấp thì có ích nhưng lại gây độc khi ở hàm lượng cao (As, Pb, Cd, v.v...). Nhôm được coi là nguyên tố có hoạt tính sinh hóa kém, nhưng khi sử dụng nguồn nước ăn chứa 100-1.000ppb Al thì sẽ bị các loại bệnh như thiếu máu, tổn hại trí nhớ và các bệnh về xương (ppb = một phần tỷ = part per billion). Nhiều kim loại có thể là chất độc với môi trường nhưng khi ở hàm lượng rất nhỏ lại là các nguyên tố dinh dưỡng cần thiết cho sự phát triển bình thường của con người và động vật (Cu, Zn, Co, Mo, As, Sb, Ag, Te, Tl, S, Ti, W, v.v...).

Ở Việt Nam, một số nghiên cứu về Địa hóa môi trường và sức khỏe đã được thực hiện, tiêu biểu là các công trình nghiên cứu về bệnh chết răng liên quan đến hàm lượng flour cao trong nước uống ở Đồng Xuân, Phú Yên, bệnh bướu cổ liên quan đến thiếu iod tại các khu vực Tây Bắc, đồng bằng sông Hồng và hải đảo; ô nhiễm As trong nước ngầm.

Tài liệu tham khảo

- Boecker W. S. and Peng T. H., 1982. Tracers in the sea. *Lamont-Doherty Geological Observatory, Palisades*: 690 pgs. New York.
- Bormann F. H., and Likens G. E., 1967. Nutrient cycling: small watersheds can provide invaluable information about terrestrial ecosystems. *Science* 55: 424-429.
- Bowen H. J. M., 1979. Environmental geochemistry of the elements. *Academic Press*. 333 pgs. New York.
- Bộ Tài nguyên và Môi trường, 2010. Báo cáo hiện trạng môi trường quốc gia năm 2010: Tổng quan môi trường Việt Nam. *NXB Tài nguyên, Môi trường và Bản đồ Việt Nam*. 201 tr. Hà Nội.
- Cenci R. M. and Martin J. M., 2004. Concentration and fate of trace metals in Mekong River Delta. *Science of The Total Environment*. 332: 167-182.
- Garrels R.M., and F.T. Mackenzie, 1971. Evolution of Sedimentary Rocks. *WW Norton and Co*. 397 pgs. New York.
- Gleick P. H., 1993. An Introduction to Global Fresh Water Issues. *Water in crisis: a guide to the world's fresh water resources. Oxford University Press*: 3-12. New York.
- Livingston D. A., 1963. Chemical composition of rivers and lakes (Paper 440-G). *Data of Geochemistry (Sixth Edition). United State Government Printing Office*: 1-61. Washington.
- Dặng Mai, Nguyễn Thùy Dương, Phạm Tiến Đức, Tống Thị Thu Hà, Văn Thùy Linh, Nguyễn Văn Niệm và Trần Đăng Quy, 2011. Ô nhiễm As trong nước dưới đất ở vùng phía tây Hà Nội: Hiện trạng và nguyên nhân. *Tạp chí Địa chất*. A/326: 17-27. Hà Nội.
- Minh N. H., Binh T. B., Natsuko K., Tatsuya K., Hisato I., Viet P. H., Tu N. P. C., Tuyen B. C. and Shinsuke T., 2007. Pollution sources and occurrences of selected persistent organic pollutants (POPs) in sediments of the Mekong River delta, South Vietnam. *Chemosphere*. 67: 1794-1801.
- Mai Trọng Nhuận, 2001. Địa hóa môi trường. *NXB Đại học Quốc gia Hà Nội*. 341 tr. Hà Nội.
- Tue N. T., Quy T. D., Amano A., Hamaoka H., Tanabe S., Nhuan M. T. and Omori K., 2012. Historical Profiles of Trace Element Concentrations in Mangrove Sediments from the Ba Lat Estuary, Red River, Vietnam. *Water, Air & Soil Pollution*. 223: 1315-1330.
- Sarkar D., Datta R., Hannigan R., 2007. Developments in Environmental Science. Volume 5. Concepts and Applications in Environmental Geochemistry. 778 pgs. *Elsevier*. England.
- Thuy H. T. T., Vy N. N. H. and Loan T. T. C., 2007. Anthropogenic Input of Selected Heavy Metals (Cu, Cr, Pb, Zn and Cd) in the Aquatic Sediments of Ho Chi Minh City, Vietnam. *Water, Air & Soil Pollution*. 182: 73-81.
- Wedepohl K. H., 1974. Handbook of Geochemistry. *Volumes 11-14. Springer-Verlag*. 930 pgs. Berlin.