

Tài nguyên địa chất

Mai Trọng Nhuận⁽¹⁾, Vũ Chí Hiếu⁽²⁾, Nguyễn Thị Thu Hà⁽¹⁾,
Nguyễn Tài Tuệ⁽¹⁾.

⁽¹⁾Khoa Địa chất, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên (ĐHQGHN); ⁽²⁾Khoa Địa chất, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên (ĐHQG Tp.HCM).

Giới thiệu

Tài nguyên địa chất (TNĐC) là một bộ phận quan trọng của tài nguyên thiên nhiên, gồm các vật liệu tự nhiên dạng rắn, khí hoặc lỏng tồn tại trong hoặc trên lớp vỏ Trái Đất cho phép khai thác có hiệu quả kinh tế trong hiện tại hoặc trong tương lai phục vụ cho cuộc sống và sự phát triển của loài người. Với nghĩa rộng hơn, TNĐC là các dạng vật chất hình thành do các quá trình địa chất, tồn tại trong hoặc trên lớp vỏ Trái Đất mà con người có thể sử dụng. Dựa vào đặc điểm và khả năng sử dụng, TNĐC được phân loại thành tài nguyên đất, tài nguyên nước, tài nguyên khoáng sản, cảnh quan - địa du lịch, v.v... Các nguồn TNĐC đóng vai trò quan trọng hàng đầu đối với quá trình phát triển và

tiến hóa của nhân loại. Chất lượng cuộc sống (L) phụ thuộc vào nguồn tài nguyên thiên nhiên (R), năng lượng (E), năng lực sáng tạo (I) và dân số (P): $L = (R.E.I)/P$ (Mckelvey, 1973).

Cùng với sự phát triển kinh tế - xã hội và quá trình bùng nổ dân số, nhu cầu khai thác và sử dụng các loại tài nguyên ngày càng mạnh mẽ, dẫn đến tình trạng khai thác quá mức, gây suy thoái và cạn kiệt, gây tác động xấu lên môi trường tự nhiên và môi trường địa chất. Quá trình khai thác và chế biến TNĐC có thể tạo ra nhiều chất thải gây ô nhiễm môi trường, tàn phá cảnh quan, cường hóa một số loại tai biến (sụt lún đất, trượt lở đất, nổ khí methan, v.v...). Địa chất môi trường có vai trò quan trọng trong

nghiên cứu, đánh giá tiềm năng và giá trị TNĐC, đề xuất chiến lược, quy hoạch, giải pháp khai thác hợp lý, sử dụng có hiệu quả TNĐC; xử lý chất thải, bồi hoàn và bảo vệ môi trường sau khi khai thác TNĐC (xem “*Địa chất Môi trường*”).

Tài nguyên đất

Vài nét chung

Đất là một thành tố cơ bản của môi trường tự nhiên, cung cấp tư liệu sản xuất chính và đặc biệt cho các hoạt động của con người. Tài nguyên đất bao gồm đất (thô nhưỡng) và đất đai. *Đất/thổ nhưỡng* là các dạng vật chất bề rời trên bề mặt có độ phì hình thành trong các quá trình phong hóa, lắng đọng trầm tích. *Đất đai* là một diện tích cụ thể của bề mặt Trái Đất bao gồm tất cả các thành phần của môi trường sinh thái ngay trên và dưới bề mặt như khí hậu bề mặt, thổ nhưỡng, dạng địa hình, mặt nước, các lớp trầm tích sát bề mặt cùng với nước ngầm và khoáng sản trong lòng đất; tập đoàn động vật, thực vật, trạng thái định cư của con người, những dấu ấn của con người trong quá khứ và hiện tại (san nền, hồ chứa nước hay hệ thống tiêu thoát nước, đường sá, nhà cửa, v.v...). Đất đai là tài sản của mỗi quốc gia, gồm đất trên mặt bằng lãnh thổ để sử dụng cho mọi hoạt động phát triển kinh tế - xã hội. Đất đai là tài nguyên vô cùng quý giá, là địa bàn phân bố các khu dân cư, xây dựng các cơ sở kinh tế, văn hóa, xã hội, an ninh và quốc phòng. Đất đai có các đặc điểm như có quá trình thành tạo riêng, tính hạn chế về số lượng, tính không đồng nhất, tính không thay thế, tính cố định vị trí, tính vĩnh cửu. Đất đai là tư liệu sản xuất vĩnh cửu, phụ thuộc vào phương thức sử dụng – sử dụng hợp lý làm tăng tính chất sản xuất (độ phì) và hiệu quả sử dụng đất, còn sử dụng không hợp lý thì ngược lại, gây suy thoái đất. Giá trị tài nguyên đất được thể hiện qua các chức năng, chất lượng, giá trị sử dụng, diện tích, vị trí. Đất đai có các chức năng như sản xuất, môi trường sống, cân bằng sinh thái, lưu giữ và cung cấp nước, dự trữ, chứa đựng chất thải, bảo tồn và lưu giữ tư liệu lịch sử, vật mang sự sống và phân dị lãnh thổ. Theo lĩnh vực sử dụng, phân biệt đất nông nghiệp, đất lâm nghiệp, đất chuyên dụng, đất dân cư và đất chưa sử dụng. Hệ thống phân loại tài nguyên đất theo FAO/UNESCO được xây dựng dựa theo hình thái và định lượng các chỉ tiêu lý - hóa của đất được áp dụng trong phân loại tài nguyên đất Việt Nam.

Đặc trưng của đất

Thành phần cấu tạo trung bình của đất gồm các hạt khoáng với kích thước từ mịn đến thô, (chiếm 45%), hợp chất hữu cơ (5%), không khí (20%) và nước (30%). Tính chất cơ bản của đất gồm: 1) *Tính chất vật lý, cơ-lý học* (thành phần độ hạt, kích thước hạt, trạng thái cấu trúc; dung trọng và tỉ trọng, độ lỗ

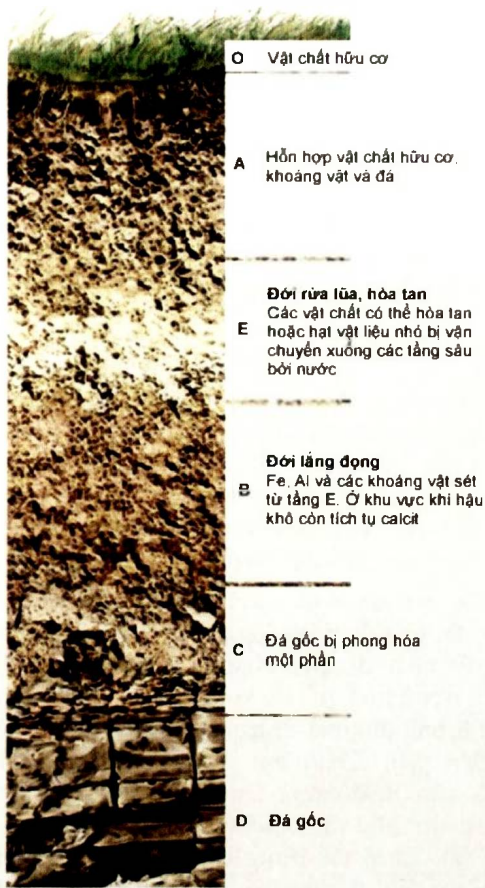
hổng, tính dính, tính dẻo, độ chày, độ co, sức chống nén, sức chống ma sát, v.v...); 2) *Tính chất hóa học* (thành phần nguyên tố hóa học chính, nguyên tố vi lượng, chất hữu cơ, thành phần và tính chất của dung dịch đất, khả năng hấp phụ và trao đổi ion, v.v...); 3) *Tính chất sinh học* (thành phần các loại sinh vật, các quá trình chuyển hóa sinh học, v.v...).

Tổ hợp những tính chất của đất đảm bảo cho năng suất cây trồng được gọi là *độ phì nhiêu* của đất. *Độ phì nhiêu tự nhiên* (tiềm tàng) có trong tất cả các loại đất, đặc biệt ở các đất hoang hóa, đất rừng chưa khai thác, được xác định bằng tổng lượng các chất dinh dưỡng, chế độ nước, không khí và nhiệt tự nhiên của đất, xuất hiện trong quá trình thành tạo đất dưới ảnh hưởng của các yếu tố tự nhiên. *Độ phì nhiêu hiệu lực* là khả năng thực tế của đất cung cấp nước, dưỡng chất và những điều kiện sống khác cho cây trồng, được thể hiện thông qua năng suất của cây trồng. *Độ phì nhiêu nhân tạo* được hình thành và phát triển trong quá trình sử dụng đất của con người thể hiện ở việc bổ sung hàm lượng cao những nguyên tố dinh dưỡng linh động, tạo điều kiện tốt nhất về chế độ nước, không khí và nhiệt độ đối với sự sinh trưởng và sự phát triển của thực vật.

Phẫu diện đất là mặt cắt thẳng đứng cắt qua các tầng của đất cho đến đá mẹ. Một phẫu diện đất chuẩn thường được chia ra các tầng chính từ trên xuống dưới [H.1] gồm: 1) *Tầng thảm mục* hay tầng rêu có gồm xác cành, lá cây rơi rụng hàng năm phủ trên bề mặt đất, đã hoặc đang bị phân hủy; 2) *Tầng mùn* chứa các chất hữu cơ bị phân hủy thành hợp chất mùn, lẫn với các khoáng vật; 3) *Tầng rửa trôi* là tầng mà tại đó, vật chất hòa tan và vật liệu mịn bị rửa trôi xuống các tầng dưới, nên tầng này thường nghèo chất dinh dưỡng, đất chua, nghèo vi sinh vật; 4) *Tầng tích tụ* là tầng mà tại đó diễn ra sự tích tụ các chất hòa tan hoặc những phần tử cơ học nhỏ như đất sét bị rửa trôi từ tầng trên xuống; 5) *Tầng saprolit* bề rời là tầng mà đá bị phong hóa một phần, nhưng vẫn giữ được hình dạng và cấu tạo vốn có của chúng, chưa hình thành đất; và 6) *Tầng đá gốc* hay còn gọi là đá mẹ. Tùy theo điều kiện phong hóa mà phẫu diện đất có thể có đủ hay không đầy đủ các tầng trên. *Bề dày đất* là chiều sâu tổng cộng của phẫu diện đất, có mức độ thay đổi lớn từ vài centimet đến vài mét, tùy thuộc vào điều kiện hình thành đất và loại đất.

Quá trình thành tạo đất

Đất được thành tạo trong quá trình phong hóa hoặc trầm tích và trải qua nhiều quá trình biến đổi, tiến hóa khác nhau. Quá trình thành tạo đất chịu ảnh hưởng của các yếu tố vật lý, hóa học, hoạt động của sinh vật, các quá trình địa chất ngoại sinh, đá mẹ, khí hậu, địa hình, thời gian và tác động của con người [H.2, H.3]. Quá trình hình thành đất xảy ra với tốc độ cao ở vùng nhiệt đới ẩm, và thường tạo các tầng đất có bề dày lớn [H.3].

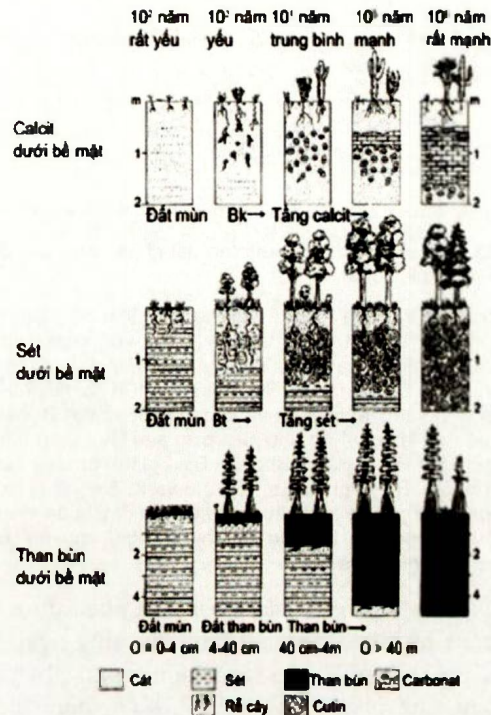


Hình 1. Một phẫu diện đất tiêu biểu (Miller, 1988).

Quá trình thành tạo đất do phong hóa từ đá gốc. Sự thành tạo đất phong hóa phụ thuộc vào các yếu tố phi sinh vật (đá gốc, khí hậu, thủy văn và môi trường nước, địa hình, địa mạo) và hữu sinh (động vật, thực vật, vi sinh vật, con người). Ở vùng nhiệt đới như Việt Nam, các quá trình hình thành đất gồm: 1) *Quá trình feralit hóa* chủ yếu xảy ra ở vùng đồi núi, trung du, diễn ra sự tích tụ tương đối các ion Fe và Al, nghèo dinh dưỡng do quá trình rửa trôi mạnh và thành tạo mùn ít, quá trình tích lũy Fe, Al tuyệt đối gọi là quá trình laterit, hình thành đá ong; 2) *Quá trình macgalit hóa* xảy ra khi đá gốc có thành phần mafic, sản phẩm giàu cation kiềm, giàu dinh dưỡng; 3) *Quá trình siallit hóa* thường xảy ra ở những vùng trũng, đồng bằng, thành phần giàu Si, Al. Quá trình thành tạo đất diễn ra đồng thời với quá trình xói mòn, rửa trôi, nhất là ở vùng đồi núi, làm cho độ phì giảm dần, đất mất dần khả năng trồng trọt. Ở Việt Nam, các loại đất phong hóa rất phổ biến, chiếm 3/4 diện tích, thường được gộp thành nhóm “đất dốc” phân bố ở các vùng đồi núi, trung du, cao nguyên (xem “Phong hóa”).

Quá trình thành tạo đất phù sa. Đất phù sa được thành tạo do quá trình lắng đọng vật chất lơ lửng có nguồn gốc từ vỏ phong hóa tại những vùng trũng thuộc các lưu vực sông, đầm lầy ven biển, v.v... Quá trình bồi tụ phù sa đã hình thành đồng bằng có diện

tích lớn của Việt Nam là châu thổ sông Cửu Long và sông Hồng. Đất phù sa đồng bằng sông Hồng có độ phì tự nhiên cao, có phản ứng trung tính, độ no mafic cao và hàm lượng kim loại kiềm, kiềm thổ cao. Đất phù sa ở đồng bằng sông Cửu Long có thành phần cơ giới nặng, hàm lượng mùn, đạm, lân tổng số trung bình, được bồi đắp phù sa hàng năm nên độ phì tự nhiên cao. Quá trình bồi tụ hình thành đất bằng ở miền núi có thể tạo thành đất dốc tụ thung lũng và đất phù sa ven sông suối (xem “Quá trình trầm tích”).

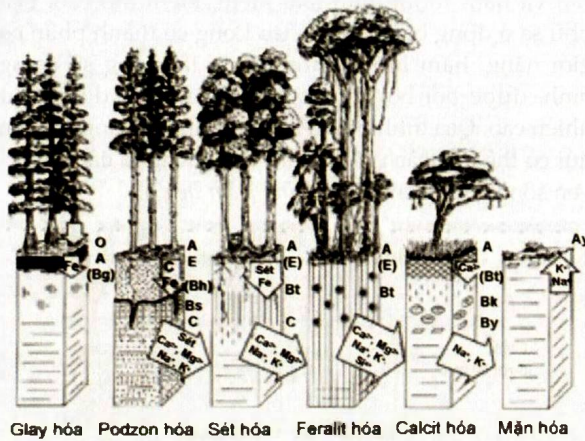


Hình 2. Các giai đoạn hình thành đất gồm các quá trình tích tụ carbonat dưới bề mặt (các hình hàng trên cùng), quá trình tích đọng vật liệu sét dưới bề mặt (các hình hàng giữa), và hình thành than bùn dưới bề mặt (các hình ở hàng dưới cùng) (Retallack, 2005).

Quá trình thành tạo đất glây. Quá trình này phát sinh ở độ sâu 0 - 50cm khi có đủ ba điều kiện – môi trường khử, có chất hữu cơ và vi sinh vật kỵ khí [H.3]. Đó là những nơi ẩm thường xuyên hay từng thời kỳ (ruộng lúa nước, ruộng úng trũng, đất lầy thụt, có mực nước ngầm nông). Đất có màu vàng xanh da trời, xám xanh hay xanh nhạt do màu của Fe²⁺ kết hợp với silica, nhôm và có những vệt rỉ sắt theo đường rễ cây. Đất glây mất cấu trúc, chứa nhiều độc tố ảnh hưởng xấu đến cây trồng. Đất này tập trung ở vùng trũng đồng bằng sông Hồng, Bắc Trung Bộ, rải rác ở Tây Nguyên, duyên hải Nam Trung Bộ và Nam Bộ.

Quá trình thành tạo đất mặn. Đất mặn phát sinh ở vùng bị ngập mặn ven biển và một ít mặn nội địa do tích tụ muối theo mao quản đất trong điều kiện khí hậu bán khô hạn [H.3]. Đất mặn chia thành mặn kiềm và mặn sú, vẹt, được vớt mức độ mặn khác nhau. Theo nguồn gốc hình thành, đất mặn được phân thành đất mặn nguyên sinh (hình thành do tác

động của nước biển) và đất mặn thứ sinh (do tưới tiêu không hợp lý, nhiễm mặn ở những vùng đất canh tác nông nghiệp ven biển).



Hình 3. Một số quá trình thành tạo đất chính theo các đới khí hậu (Retallack, 2005).

Ghi chú: từ trái qua phải là các hệ sinh thái đất đầm lầy có thành phần thực vật chính là bách, rừng vân sam, rừng sồi, rừng nhiệt đới ẩm, savan và cây bụi. Ký hiệu của các tầng thổ nhưỡng gồm O: thành tạo vật chất mùn hữu cơ dưới bề mặt; A: hỗn hợp vật chất hữu cơ và khoáng vật vô cơ; B: các tầng dưới bề mặt khác (ví dụ như Bt - giàu sét, By - giàu muối mố và thạch cao, Bk - giàu carbonat; Bs - giàu vật chất hữu cơ, sắt và nhôm, Bo - nghèo Ca, Mg, Na và K, Bw - lit bị oxy hóa và phong hóa); C: bề mặt chuyển tiếp giữa đất và đá mẹ; R: đá mẹ chưa phong hóa. Mũi tên lớn chỉ hướng di chuyển của các thành phần chính của đất.

Quá trình thành tạo đất phèn. Đất phèn được hình thành và phát triển ở vùng đầm lầy rừng ngập mặn, cửa sông hình phễu, do sản phẩm bồi tụ phù sa với vật liệu sinh phèn - pyrit (FeS_2 , hình thành do xác thực vật rừng ngập mặn chứa nhiều lưu huỳnh). Trong phẫu diện đất phèn có tầng sinh phèn, giàu pyrit (đất phèn tiềm tàng). Theo thời gian, cốt đất mỗi ngày cao dần, sự ngập nước triều giảm đi, quá trình khử yếu dần và tăng quá trình oxy hóa, pyrit bị oxy hóa thành sulfat Fe và acid sulfuric làm đất chua đã biến phèn tiềm tàng thành phèn hoạt tính, chứa jarosit ($KFe_3(SO_4)_2(OH)_6$). Quá trình này xảy ra có sự tham gia của vi khuẩn khử sulfat và vi khuẩn *Thiobacillus ferroxydans*. Đất phèn hoạt động có pH = 3 - 4, độ mặn thấp, hàm lượng các cation Fe^{2+} , Fe^{3+} cao, hàm lượng Al^{3+} (di động) cao, gây độc cho cây. Đất phèn giàu chất hữu cơ, nitro tổng số cao, hàm lượng phosphor thấp (0,02 - 0,04%). Diện tích đất phèn ở Việt Nam là khoảng 2.140.000 ha, phân bố chủ yếu ở các tỉnh thuộc đồng bằng sông Cửu Long.

Tác động của hoạt động nhân sinh. Tác động của con người lên môi trường đất được thể hiện chủ yếu thông qua các hoạt động sản xuất, đặc biệt là nông nghiệp, lâm nghiệp, xây dựng và khai khoáng. Đất canh tác luôn luôn chịu các tác động nhân sinh như xói xáo, bón phân, làm cỏ, tưới nước nhằm cải thiện cơ bản các tính chất lý-hóa-sinh học để tăng năng suất cây trồng. Những hoạt động này chuyển hóa

đất tự nhiên thành "đất đã được cải tạo" (hoặc còn gọi là "đất thực hóa"). Trong trường hợp sử dụng đất không hợp lý (bón phân hóa học không hợp lý, lạm dụng hóa chất bảo vệ thực vật, khai thác quá mức, v.v...) sẽ gây thoái hóa đất, suy giảm chất lượng đất, tạo ra "đất bạc màu", thậm chí "đất chết" không còn khả năng canh tác. Hoạt động nhân sinh làm cơ cấu sử dụng đất thay đổi theo hướng tăng diện tích đất phi nông nghiệp, và giảm diện tích đất nông nghiệp theo thời gian.

Thoái hóa đất

Thoái hóa đất là sự biến đổi, suy giảm chất lượng, diện tích đất do các quá trình tự nhiên hoặc nhân tạo. Tài nguyên đất trên Trái Đất đang bị suy thoái nghiêm trọng do nhiều quá trình như xói mòn, rửa trôi, bạc màu, nhiễm mặn, nhiễm phèn, sa mạc hóa, ô nhiễm, mất đất do nước biển dâng, v.v...

Xói mòn đất là quá trình phá hủy và chuyển dời tầng đất mặt do hoạt động của nước và gió hoặc các nguyên nhân địa chất khác, bao gồm cả quá trình sạt lở do trọng lực. Tốc độ xói mòn đất được tính bằng khối lượng đất mất đi trong một năm trên một đơn vị diện tích ($T/ha/năm$). Tốc độ xói mòn đất phụ thuộc vào chế độ mưa, tốc độ gió, chiều dài sườn, độ dốc, thảm thực vật và khả năng chống chịu xói mòn của đất. Dưới tác dụng của dòng chảy sườn, *quá trình rửa trôi* diễn ra liên tục, bắt đầu là di chuyển các chất lơ lửng, các chất dinh dưỡng, khoáng chất hòa tan (các nguyên tố bị rửa trôi từ mạnh đến yếu có thể xếp theo thứ tự $Na > K > N > Mg > P$) theo bề mặt đất hoặc theo chiều thẳng đứng của phẫu diện đất, làm cho đất chua, nghèo chất dinh dưỡng - đất trở nên "bạc màu". Khi các thành phần mịn của đất bị rửa trôi hết, đất trở thành "trơ sỏi đá". Hiện tượng này chủ yếu xảy ra ở đất đồi núi dốc và rất phổ biến ở Việt Nam, nhiều vùng tốc độ xói mòn đạt > 200 $T/ha/năm$, đất xói mòn trơ sỏi đá chiếm 505.298ha (xem "Xói mòn", "Quá trình xâm thực").

Đá ong hóa hay laterit hóa là quá trình tích lũy tuyệt đối Fe^{3+} và Al^{3+} trong đất. Sắt và nhôm có nguồn gốc tại chỗ và từ nơi khác được nước ngầm mang đến, tích lũy lại trong đất. Vào mùa mưa, sắt bị hòa tan trong nước dưới dạng Fe^{2+} , trôi xuống tích lũy lại trong nước ngầm. Đến mùa khô, nước ngầm theo mao quản dẫn lên gần mặt đất, bị oxy hóa biến thành Fe^{3+} , kết tủa thành các loại oxit và hydroxid sắt. Theo thời gian, các lớp oxit và hydroxid sắt liên kết thành một lớp dày, rắn chắc, có nhiều hang hốc (giống tổ ong) bao bọc ở giữa nhiều ô kaolinit hoặc các chất khác - nên thường được gọi là đá ong. Đá ong ở Việt Nam phổ biến tại các vùng đồi thấp (Sơn Tây, Phú Thọ, v.v...), bán sơn địa (Thạch Thất, Đức Thọ, v.v...), cao nguyên (Tây Nguyên). Thảm thực vật càng trụi thì quá trình phát triển đá ong càng mạnh do nước ngầm bốc hơi mạnh. Đá ong dạng kết

vón gồm nhiều hạt oxid Fe, Al, Mn hình tròn nhỏ như hạt đậu gắn chặt với nhau (Tây Nguyên, Tây Ninh, v.v...) (xem "Quá trình phong hóa").

Mặn hóa là quá trình xâm lấn của nước biển hoặc tích tụ các muối và kim loại kiềm (K, Na, Mg, Ca, Ba, v.v...) trong đất. Đất bị nhiễm mặn do tích tụ muối thường xảy ra ở những vùng có hệ thống thủy lợi kém, ngược lại mặn hóa do kim loại kiềm xảy ra trong điều kiện khô hạn (tại một số khu vực của đồng bằng sông Cửu Long, các tỉnh Ninh Thuận, Bình Thuận).

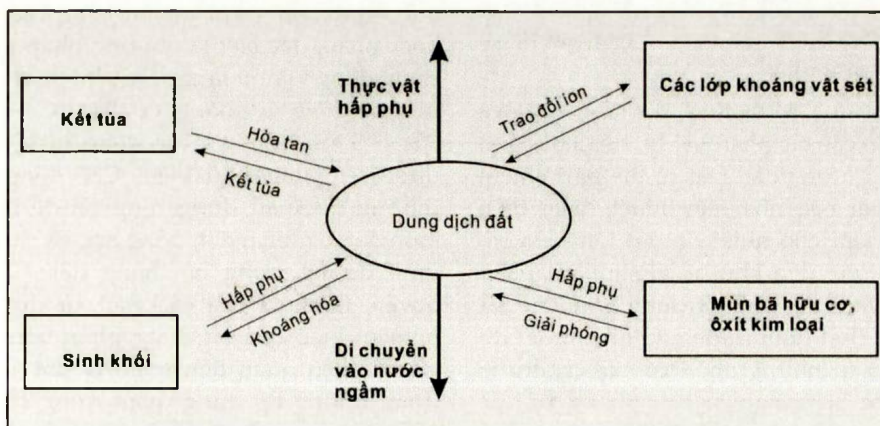
Sa mạc hóa là quá trình xảy ra ở vùng khô, bán khô, thường xuyên bị hạn hán và rất ít mưa. Đất bị sa mạc hóa có thảm thực vật nghèo, cằn, không có cây lâu năm. Đất bị khô hạn liên tục làm cho mặt đất bị khô và dễ dàng bị xói mòn bề mặt do gió, gây ra hiện tượng cát bay và hạ thấp mực nước ngầm. Một nguyên nhân khác gây sa mạc hóa là quá trình tăng cường khai thác đất liên tục không đúng cách làm cho đất bị mất các tính chất hóa - lý, nghèo chất dinh dưỡng, mất dần chức năng canh tác dẫn đến năng suất sản xuất giảm liên tục. Quá trình này diễn ra chậm nhưng gây hậu quả lớn. Tốc độ sa mạc hóa được đánh giá theo tốc độ giảm năng suất sản xuất. Sa mạc hóa bắt đầu khi năng suất sản xuất giảm 10 - 20%, mức độ trung bình khi giảm 25 - 50%, mức độ nghiêm trọng khi giảm > 50%. Hậu quả của quá trình sa mạc hóa là tạo ra cảnh quan hoang mạc, đất cát chiếm phần chủ yếu, không còn chức năng làm giá đỡ cho thực vật, suy giảm đa dạng sinh học bản địa, du nhập giống loài mới có khả năng thích nghi với điều kiện khắc nghiệt, nhưng khả năng tạo sinh khối thấp (xương rồng, cây gai, cây bụi, v.v...). Quá trình sa mạc hóa ở Việt Nam xảy ra ở vùng ven biển Nam Trung Bộ từ Ninh Thuận đến Bình Thuận.

Các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình sinh địa hóa trong đất. Đất gồm thành phần vô cơ (các khoáng vật) và thành phần vật chất hữu cơ. Trong môi trường đất, các ion kim loại tham gia vào chuỗi các phản ứng liên quan với các pha rắn và lỏng. Các pha này có mức độ biến đổi mạnh theo không gian và thời

gian. Thành phần hóa học của dung dịch đất có mức độ biến đổi mạnh và ảnh hưởng bởi nhiều quá trình cân bằng pha, gồm: 1) Pha rắn liên quan đến quá trình trao đổi với các lớp khoáng vật sét như kaolin, illit, smectit, các oxid và hydroxid của Mn, Fe, Al, và các vật chất hữu cơ; 2) Pha lỏng gồm nước và các thành phần hòa tan (các ion tự do, các ion phức của kim loại, carbon hữu cơ hòa tan, v.v...). Các quá trình sinh địa hóa của kim loại trong đất liên quan tới các phản ứng với các thành phần vô cơ và hữu cơ [H.4]. Các hiện tượng và quá trình xảy ra gồm quá trình trao đổi ion (hấp phụ - giải phóng), trong dung dịch (kết tủa - hòa tan) và hấp phụ (cố định) bởi thực vật. Quá trình chuyển hóa các nguyên tố hóa học bởi vi sinh vật và rễ thực vật từ các dung dịch đất có thể ảnh hưởng đến quá trình hòa tan và vận chuyển các hợp chất này. Các quá trình hoạt động của vi sinh vật và thực vật ảnh hưởng lên khả năng hòa tan, di chuyển của các thành phần nguyên tố trong pha rắn và pha lỏng của đất. Trong điều kiện tự nhiên, do đặc điểm biến đổi giữa các yếu tố sinh địa hóa và môi trường đất là cân bằng động nên tương tác giữa các hợp phần của đất với các nguyên tố cũng thường đạt trạng thái cân bằng động.

Cần chú ý rằng các quá trình như phong hóa, phân hủy, các phản ứng trung hòa và oxy hóa-khử tác động mạnh đến phân bố của các nguyên tố trong môi trường đất. Các nguyên tố kim loại trong đất có khả năng di chuyển vào nước ngầm theo sự di chuyển của các dung dịch đất.

Thành phần đồng vị bền trong đất. Giá trị tỷ số đồng vị $\delta^{15}N$ của nitrat trong đất dao động trong khoảng từ -10‰ đến +15‰, nhưng phần lớn giá trị nằm trong khoảng từ +2‰ đến +5‰. Đất canh tác có giá trị tỷ số đồng vị $\delta^{15}N$ là $+0,65 \pm 2,6\%$ và thấp hơn so với đất không canh tác ($\delta^{15}N$: $+2,73 \pm 3,4\%$). Giá trị dương của tỷ số đồng vị $\delta^{15}N$ trong đất thường liên quan với quá trình giải phóng đồng vị nhẹ ^{14}N trong quá trình phân hủy các nguồn nitro hữu cơ. Các yếu tố ảnh hưởng lên đặc điểm biến đổi giá trị tỷ số đồng vị $\delta^{15}N$ của nitrat trong đất là khá phức tạp và khó



Hình 4. Sơ đồ mô tả các quá trình chính xảy ra trong đất ảnh hưởng lên quá trình di chuyển và tích tụ các kim loại trong môi trường đất (Adriano, 2001).

định lượng. Giá trị tỷ số đồng vị $\delta^{15}\text{N}$ của nitrat và các vật chất hữu cơ trong đất phụ thuộc vào các yếu tố như thủy văn, vị trí địa lý, thảm thực vật, vật chất hữu cơ, nhiệt độ, lượng mưa và sử dụng đất. Căn cứ vào hiện trạng sử dụng đất và khoảng cách đến các nguồn phát thải hợp chất nitro, giá trị tỷ số đồng vị $\delta^{15}\text{N}$ có thể dùng để xác định môi trường đất là có đặc điểm tự nhiên hay bị ảnh hưởng bởi các hoạt động của con người. Đất được bón phân vô cơ có giá trị tỷ số đồng vị $\delta^{15}\text{N}$ là $+4,7 \pm 5,4\%$, thấp hơn so với đất bón phân hữu cơ có nguồn là chất thải động vật ($\delta^{15}\text{N}$: $+14,0 \pm 8,8\%$). Đất trong các vùng có độ dốc thấp (các vùng trũng hoặc thung lũng) thường có giá trị tỷ số đồng vị $\delta^{15}\text{N}$ cao. Đất tại các vùng có cây hoặc thảm thực vật thường có giá trị tỷ số đồng vị $\delta^{15}\text{N}$ thấp và tăng dần theo độ sâu, do quá trình tích tụ vật chất hữu cơ có nguồn từ thực vật. Mặc dù thành phần hữu cơ trong đất có khối lượng đáng kể, nhưng giá trị tỷ số đồng vị bền carbon ($\delta^{13}\text{C}$) của vật chất hữu cơ trong đất chưa được nghiên cứu chi tiết. Giá trị tỷ số đồng vị $\delta^{13}\text{C}$ phụ thuộc vào đặc điểm quang hợp của các loài thực vật trong vùng và các thành phần hợp chất sinh hóa của vật chất hữu cơ rơi rụng từ thực vật. Các thành phần hợp chất sinh hóa của vật chất hữu cơ rơi rụng có các giá trị tỷ số đồng vị $\delta^{13}\text{C}$ khác nhau và có tốc độ phân hủy khác nhau. Ví dụ, các hợp chất cellulose thường có giá trị tỷ số đồng vị $\delta^{13}\text{C}$ cao hơn khoảng 1 - 2‰ so với các hợp chất lignin, hay lignin có giá trị tỷ số đồng vị $\delta^{13}\text{C}$ thấp hơn khoảng 2 - 6‰ so với tổng vật chất hữu cơ rơi rụng. Trong các vùng đất khô, giá trị tỷ số đồng vị $\delta^{13}\text{C}$ thường cao hơn 1 - 3‰ so với giá trị tỷ số đồng vị của các loài thực vật trong vùng, có xu thế tăng theo độ sâu. Đặc điểm tăng giá trị tỷ số đồng vị $\delta^{13}\text{C}$ theo độ sâu là do các quá trình phân hủy và chuyển hóa vật chất hữu cơ bởi vi sinh vật. Trong những vùng có điều kiện thuận lợi để hình thành đất carbonat, giá trị đồng vị $\delta^{13}\text{C}$ của khoáng vật carbonat trong đất thường xấp xỉ -12‰ trong vùng có thực vật C_3 sinh trưởng (nhóm thực vật quang hợp theo chu trình Calvin tạo ra acid phosphoglyceric có chứa 3 nguyên tử carbon) và +2‰ trong các vùng có thực vật C_4 sinh trưởng (nhóm thực vật quang hợp theo chu trình Hatch-Slack tạo ra acid oxaloacetic có chứa 4 nguyên tử carbon).

Ô nhiễm đất là quá trình thay đổi tinh chất và thành phần đất do các tác nhân vật lý, hóa học, sinh học làm giảm chất lượng đất. Đất có thể bị ô nhiễm nhiệt do nước thải của nhà máy nhiệt điện, điện nguyên tử, v.v... làm cho nhiệt độ đất tăng lên 5 - 15°C, gây ảnh hưởng đến khu hệ vi sinh vật phân giải chất hữu cơ và trong nhiều trường hợp làm đất bị chai cứng, mất chất dinh dưỡng. Ô nhiễm đất do các chất phóng xạ từ những phế thải của các trung tâm khai thác, chế biến, nghiên cứu phóng xạ, các nhà máy điện nguyên tử, các bệnh viện dùng chất phóng xạ và những vụ thử vũ khí hạt nhân. Các chất

phóng xạ thâm nhập vào đất và theo chu trình dinh dưỡng tới cây trồng, động vật và con người. Ô nhiễm đất do chất thải đô thị và khu công nghiệp chứa nhiều chất rất khó bị phân hủy sinh học, thậm chí có độc tính cao, các kim loại nặng như Hg, Cd, Pb, Ni, As, Cr, Mn, Zn, Sn... nên khi thâm nhập vào đất, làm thay đổi thành phần lý, hóa và sinh học của đất, làm giảm năng suất sinh học của cây trồng, ảnh hưởng đến chất lượng nông sản. Ô nhiễm đất canh tác do phân bón hóa học và thuốc bảo vệ thực vật chứa những hóa chất độc, có khả năng tồn dư lâu, khiến cho đất thay đổi lớn về số lượng các loài vi sinh vật, trở nên chua, chai cứng và hàm lượng nitrat (NO_3^-) cao trong nông sản, ảnh hưởng tới sức khỏe con người. Ô nhiễm đất do tác nhân sinh học như ký sinh trùng (giun, sán, v.v...), trực khuẩn lỵ, thương hàn hoặc amip, gây ra bệnh ở người và động vật. Sự ô nhiễm này xuất hiện là do xả chất thải mất vệ sinh hoặc sử dụng bùn ao tưới, bùn kênh lẫn chất thải sinh hoạt bón trực tiếp vào đất. Đất ở Việt Nam cũng đang bị ô nhiễm do sử dụng phân hóa học, thuốc bảo vệ thực vật, do chất thải từ hoạt động công nghiệp. Theo kết quả khảo sát của Bộ Tài nguyên và Môi trường (2010), khi bón phân hóa học, có trên 50% lượng đạm, 50% lượng kali và xấp xỉ 80% lượng lân dư thừa trực tiếp hay gián tiếp. Phân vô cơ thuộc nhóm chua sinh lý như K_2SO_4 , KCl , super phosphat còn tồn dư acid, đã làm chua đất, nghèo kiệt các cation kiềm và xuất hiện nhiều độc tố trong môi trường đất như ion Al^{3+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , giảm hoạt tính sinh học của đất và năng suất cây trồng. Tại cụm công nghiệp Phước Long, hàm lượng Cr cao gấp 15 lần so với tiêu chuẩn, Cd cao từ 1,5 đến 5 lần, As cao hơn tiêu chuẩn 1,3 lần. Đất bạc màu do khai thác quá mức, canh tác liên tục (tăng vụ, dùng quá nhiều phân bón hóa học, thuốc bảo vệ thực vật, v.v...) làm cho đất không có thời gian "nghỉ ngơi", không kịp "hồi phục". Hậu quả là độ phì nhiêu của đất giảm, không thể duy trì năng suất cây trồng.

Để có được các giải pháp hạn chế thoái hóa đất, nâng cao hiệu quả sử dụng và quản lý đất cần hiểu rõ các chức năng sinh thái của đất, mối quan hệ giữa đất - thực vật - khí quyển bằng các phương pháp khác nhau, đặc biệt là phương pháp phân tích và sử dụng đồng vị như là các chất chỉ thị đánh dấu. Trong đó, các đồng vị phóng xạ (^3H , ^{14}C , ^{226}Ra , ^{137}Cs , ^{32}P , ^{89}Sr , ^{35}S và ^{65}Zn) và các đồng vị bền (^{13}C và ^{15}N) được sử dụng phổ biến. Các đồng vị phóng xạ thường được sử dụng rộng rãi để nghiên cứu xói mòn đất, ô nhiễm đất, động học và chu trình các chất dinh dưỡng trong hệ thống đất - thực vật - khí quyển, hành vi của các chất sử dụng trong nông nghiệp, hiệu quả sử dụng phân bón cũng như các vấn đề liên quan đến quản lý đất - thực vật. Một trong những áp dụng quan trọng của các đồng vị phóng xạ là sử dụng ^{137}Cs để đánh giá quá trình xói mòn đất, ví dụ như nghiên cứu xói mòn đất tại Tây

Nguyên. Tương tự, các đồng vị bền (ví dụ ^{15}N) thường được áp dụng rộng rãi để nghiên cứu quá trình sử dụng chất dinh dưỡng và sinh trưởng của thực vật trên đất. Các đồng vị của carbon như ^{14}C và ^{13}C thường được sử dụng như các chỉ thị quan trọng để nghiên cứu quá trình di chuyển của carbon trong đất, nghiên cứu chu trình carbon trong đất và mối liên hệ giữa các bậc dinh dưỡng trong đất. Tại Việt Nam, đồng vị bền ^{13}C đã được sử dụng để nghiên cứu chu trình carbon trong các hệ sinh thái rừng ngập mặn tại Tiên Yên, cửa sông Hồng, khu dự trữ sinh quyển Cần Giờ, cửa sông Cửu Long, mũi Cà Mau. Kết quả nghiên cứu cho thấy giá trị đồng vị bền $\delta^{13}\text{C}$ trong đất rừng ngập mặn dao động trong khoảng $-27,7\text{‰}$ đến $-20,4\text{‰}$.

Quỹ đất và sử dụng đất

Tài nguyên đất trên thế giới có tổng diện tích 14.777 triệu ha; trong số 13.251 triệu ha đất không phù băng có 12% là đất canh tác, 24% là đồng cỏ, 32% là đất rừng và 32% là đất cư trú, đầm lầy. Diện tích đất có khả năng canh tác là 3.300 triệu ha, hiện mới khai thác hơn 1.500 triệu ha. Đất có khả năng canh tác nông nghiệp trên toàn thế giới là có hạn, diện tích đất có năng suất cao chỉ chiếm 14%, có năng suất trung bình – 28%, và có năng suất thấp – 58%. Tài nguyên đất trên thế giới hiện đang bị suy thoái nghiêm trọng do xói mòn, rửa trôi, bạc màu, nhiễm mặn, nhiễm phèn, ô nhiễm đất, và biến đổi khí hậu. Mỗi năm trên thế giới bị mất 12 triệu hecta do chuyển đổi đất nông nghiệp năng suất cao thành đất phi nông nghiệp và 100 triệu hecta đất nông nghiệp bị ô nhiễm do phân bón và các loại hóa chất bảo vệ thực vật. Do quỹ đất có hạn, dân số thế giới tăng nhanh nên không gian sinh sống của con người ngày càng bị thu hẹp.

Đất Việt Nam

Tài nguyên đất của Việt Nam có tổng diện tích 330,957 triệu ha, được chia thành 19 nhóm, 54 loại. Căn cứ vào mục đích sử dụng, đất Việt Nam được phân loại thành ba nhóm lớn là đất nông nghiệp, đất phi nông nghiệp và đất chưa sử dụng. Diện tích đất nông nghiệp là 10,1261 triệu ha (33,1%), đất lâm nghiệp là 15,3665 triệu ha (46,4%), đất chuyên dụng là 1,8238 triệu ha (5,5%), đất phi nông nghiệp là 3,705 triệu ha (11,2%) trong đó đất ở là 0,6839 triệu ha (2,1%), đất chưa sử dụng là 3,1643 triệu ha (9,6%). Nhóm đất nông nghiệp bao gồm các loại: đất trồng cây hàng năm gồm đất trồng lúa, đất đồng cỏ dùng vào chăn nuôi, đất trồng cây hàng năm khác; đất trồng cây lâu năm; đất rừng sản xuất; đất rừng phòng hộ; đất rừng đặc dụng; đất nuôi trồng thủy sản; đất làm muối; đất nông nghiệp khác theo quy định của Chính phủ. Nhóm đất phi nông nghiệp bao gồm các loại: đất ở gồm đất ở tại nông thôn, đất ở tại

đô thị; đất xây dựng trụ sở cơ quan, xây dựng công trình sự nghiệp; đất sử dụng vào mục đích quốc phòng, an ninh; đất sản xuất, kinh doanh phi nông nghiệp gồm đất xây dựng khu công nghiệp, đất làm mặt bằng xây dựng cơ sở sản xuất và kinh doanh, đất sử dụng cho hoạt động khoáng sản, đất sản xuất vật liệu xây dựng và làm đồ gốm; đất sử dụng vào mục đích công cộng gồm đất giao thông và thủy lợi, đất xây dựng các công trình văn hóa, y tế, giáo dục và đào tạo, thể dục thể thao phục vụ lợi ích công cộng, đất có di tích lịch sử - văn hóa, danh lam thắng cảnh, đất xây dựng các công trình công cộng khác theo quy định của Chính phủ; đất do các cơ sở tôn giáo sử dụng; đất có công trình là đình, đền, miếu, am, từ đường, nhà thờ họ; đất làm nghĩa trang, nghĩa địa; đất sông, ngòi, kênh, rạch, suối và mặt nước chuyên dùng; đất phi nông nghiệp khác theo quy định của Chính phủ. Nhóm đất chưa sử dụng bao gồm các loại đất chưa xác định mục đích sử dụng.

Quản lý tài nguyên đất

Nhằm sử dụng hợp lý, có hiệu quả và bảo vệ bền vững tài nguyên đất, khoa học Địa chất môi trường thực hiện các nhiệm vụ: 1) Điều tra cơ bản, đánh giá và xây dựng hệ thống cơ sở dữ liệu về tài nguyên đất; 2) Nghiên cứu các quá trình thành tạo và thoái hóa đất, xây dựng bản đồ đất cho toàn quốc và các địa phương, đánh giá các yếu tố, chức năng và phù hợp của đất đai trên cơ sở Địa chất môi trường; 3) Lập quy hoạch, kế hoạch sử dụng đất; 4) Đề xuất các giải pháp quản lý và sử dụng hiệu quả tài nguyên đất, ngăn chặn các quá trình thoái hóa và ô nhiễm đất, bảo vệ quỹ đất, nâng cao khả năng chống chịu của tài nguyên đất với thiên tai, biến đổi khí hậu.

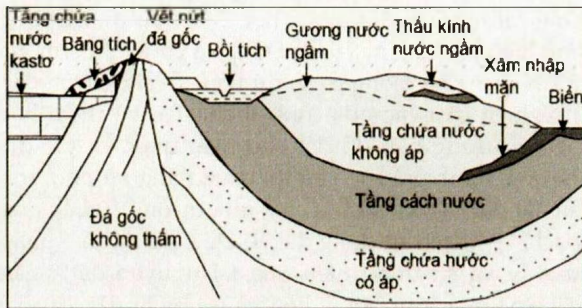
Tài nguyên nước

Đặc điểm

Nước là thành tố cơ bản của môi trường tự nhiên, bao phủ hơn 70% bề mặt Trái Đất, là tài nguyên địa chất có ý nghĩa sống còn, trực tiếp cung cấp dạng vật chất cần thiết nhất cho cuộc sống con người và sinh vật. Nhưng lượng nước có thể sử dụng để ăn uống và sinh hoạt chỉ chiếm 0,4% tổng lượng nước, còn lại 1,6% trong băng và 98% là nước biển và đại dương. Tài nguyên nước gồm các nguồn nước mặt, nước dưới đất, nước mưa và nước biển của một vùng hay toàn lãnh thổ của một quốc gia mà con người có thể sử dụng vào những mục đích khác nhau trong sinh hoạt, trong các hoạt động nông nghiệp, công nghiệp, v.v... *Nguồn nước* là các dạng tích tụ nước tự nhiên hoặc nhân tạo có thể khai thác, sử dụng, bao gồm sông, suối, kênh, rạch, hồ, ao, đầm, phá, biển, các tầng chứa nước dưới đất, mưa, băng, tuyết và các dạng tích tụ nước khác. Theo vị trí tàng trữ, tài nguyên nước được phân biệt hai loại: 1) Tài nguyên nước mặt là nước tồn tại trên mặt đất liền hoặc hải đảo (nước ngọt trong

mạng sông, suối, hồ trên lục địa, trên các đảo) và 2) Tài nguyên nước dưới đất là nước tồn tại trong các tầng chứa nước dưới đất [H.5]. Theo Luật tài nguyên nước Việt Nam (2012), nguồn nước liên tỉnh là nguồn nước phân bố trên địa bàn từ hai tỉnh, thành phố trực thuộc trung ương trở lên. Nguồn nước nội tỉnh là nguồn nước phân bố trên địa bàn một tỉnh, thành phố trực thuộc trung ương. Nguồn nước liên quốc gia là nguồn nước chảy từ lãnh thổ Việt Nam sang lãnh thổ nước khác hoặc từ lãnh thổ nước khác vào lãnh thổ Việt Nam hoặc nguồn nước nằm trên đường biên giới giữa Việt Nam và quốc gia láng giềng.

Tài nguyên nước là hữu hạn, trong khi dân số và các hoạt động kinh tế xã hội ngày càng tăng, nên nhu cầu nước toàn cầu đã tăng lên gấp chín lần và bình quân đầu người đã tăng gấp bốn lần từ năm 1990 tới nay. Nhu cầu sử dụng nước lớn nhất là nông nghiệp (chiếm 70%), ngành công nghiệp chiếm 20% và 10% còn lại được sử dụng cho sinh hoạt. Hiện nay, tài nguyên nước đã và đang bị khai thác quá mức và suy giảm chất lượng do bị ô nhiễm bởi các nguồn thải.



Hình 5. Sơ đồ các thực thể chứa nước (Bennett & Doyle, 1997).

Vòng tuần hoàn nước trên Trái Đất

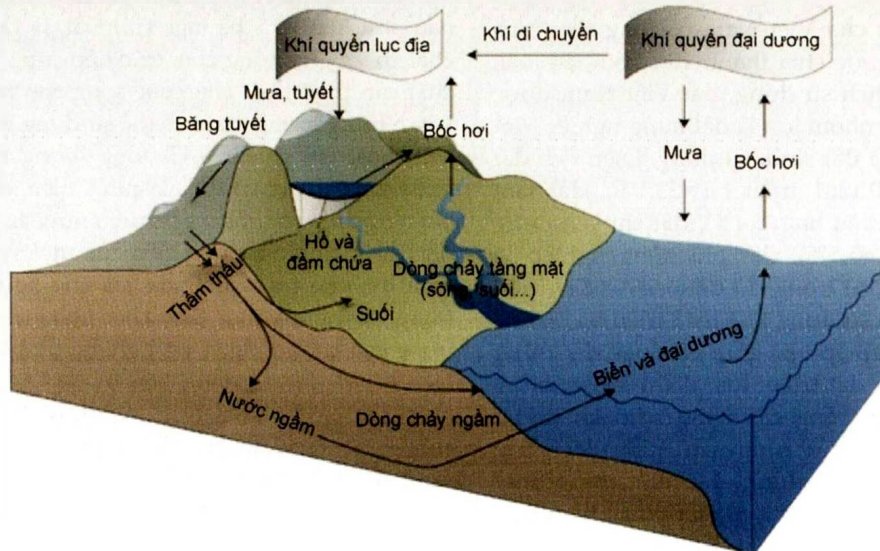
Nước luôn tuần hoàn một cách tự nhiên trên Trái Đất, khi bốc hơi nước chuyển từ trạng thái lỏng sang

hơi, khi bốc lên cao gặp các lớp khí có nhiệt độ thấp, các khối hơi nước được ngưng tụ và chuyển sang dạng lỏng hoặc rắn tạo thành mưa và tuyết rơi xuống bề mặt Trái Đất [H.6]. Chu trình nước là lớn và quan trọng nhất trong các chu trình vật chất xảy ra trên Trái Đất. Chu trình nước liên quan đến nhiều thành phần và quá trình di chuyển trong các quyển của Trái Đất như thủy quyển, khí quyển, sinh quyển và thạch quyển. Sự di chuyển của nước qua các quyển khác nhau của Trái Đất tạo nên chu trình sinh địa hóa của nước, trong đó các phân tử nước di chuyển từ nơi này sang nơi khác thông qua các quá trình sinh học, hóa học, vật lý, địa chất và khí tượng. Chu trình nước được coi như một chu trình kín và hầu như không bị mất đi trong các quyển hoặc thành phần của Trái Đất. Khi con người và động vật sử dụng nước, nước sẽ bị mất các đặc trưng của nó như độ sạch, nhiệt, thành phần hóa học, v.v... Tuy nhiên, các tính chất ban đầu của các nguồn nước đã bị sử dụng sẽ được khôi phục lại nhờ chu trình tuần hoàn nước tự nhiên.

Tài nguyên nước mặt

Tổng lượng tài nguyên nước mặt chỉ chiếm 3% nước ngọt và phân bố không đồng đều theo không gian và thời gian. Các thông số thường được sử dụng để đánh giá tiềm năng tài nguyên nước cho một vùng lãnh thổ là mật độ sông, suối tính theo số km dòng chảy trên một kilomet vuông; modul dòng chảy (l/s.km²); tốc độ dòng chảy (m/s); lưu lượng dòng chảy (m³/s); thành phần, hàm lượng các chất vô cơ, hữu cơ ở dạng hòa tan, lơ lửng; tổng lượng nước chảy qua lãnh thổ trong một năm (km³/năm) thường được sử dụng.

Lãnh thổ Việt Nam có mật độ sông suối cao (0,5 - 2km/km²), lượng mưa lớn, tổng lượng nước tiếp nhận hàng năm tương đối lớn (khoảng 900km³). Trong đó gần 57% tổng lượng dòng chảy mặt thuộc



Hình 6. Chu trình tuần hoàn của nước trong tự nhiên.

lưu vực sông Cửu Long, 16% thuộc lưu vực sông Hồng và sông Thái Bình và hơn 4% thuộc lưu vực sông Đồng Nai. Do độ dốc địa hình lớn (3/4 diện tích là đồi núi), khí hậu nhiệt đới gió mùa với mùa mưa và mùa khô rõ rệt nên lưu lượng và tốc độ dòng chảy giữa hai mùa chênh lệch rất cao và thường tạo ra lũ lụt vào mùa mưa, hạn hán vào mùa khô. Modul dòng chảy mùa mưa rất lớn, có thể lên tới 70 - 100 l/s/km² nhưng giảm chỉ còn 5 l/s/km² vào mùa khô. Đặc điểm phân bố dòng chảy theo không gian và thời gian dẫn đến tiềm năng sử dụng nước mặt của Việt Nam không cao, 150/900 km³ (khoảng 17%). Tiềm năng thủy điện của Việt Nam tương đối nhỏ, tối đa khoảng 85.000 GWh/năm, so với 130.000 GWh/năm của Nhật Bản, 320.000 GWh/năm của Ấn Độ và 1.300.000 GWh/năm của Trung Quốc.

Tài nguyên nước ngầm (xem "Địa chất Thủy văn").

Tác động của biến đổi khí hậu đến tài nguyên nước

Mức độ xuất lộ và mức độ tổn thương của tài nguyên nước do các hiện tượng cực đoan khí hậu và thiên tai phụ thuộc nhiều vào sự thay đổi về khối lượng, chất lượng và chu kỳ của nguồn tài nguyên nước; sự thay đổi về dân số; thiết bị và hệ thống sử dụng nước cũng như sự thay đổi về mức độ xuất lộ của chúng trước hiểm họa liên quan đến nước. Mức độ xuất lộ và mức độ tổn thương tăng khi nhu cầu sử dụng nước tăng (do tăng dân số, tăng lượng nước sử dụng hoặc do tăng xả thải) và giảm khi công tác quản lý nước được cải thiện, quy hoạch tài nguyên nước hợp lý, hoặc khi khả năng phục hồi của tài nguyên nước được tăng cường. Mặt khác, mức độ xuất lộ và mức độ tổn thương của tài nguyên nước còn phụ thuộc vào những thay đổi về cường độ, tần suất các hiện tượng cực đoan khí hậu và thiên tai.

Kết quả nghiên cứu của nhiều tác giả khác nhau về tác động của biến đổi khí hậu đến thủy văn Việt Nam cho thấy những năm gần đây, dòng chảy các hệ thống sông, suối đều nhỏ hơn nhiều so với trung bình nhiều năm, có nơi tới 60 - 90%; mực nước nhiều nơi đạt mức thấp nhất lịch sử như sông Hồng, sông Thái Bình, sông Mã, sông Cà, sông La, sông Trà Khúc, sông Ba, v.v... đã gây thiếu nước cho sản xuất nông nghiệp, mặn xâm nhập sâu vào lục địa. Dòng chảy mùa cạn trong tương lai trên sông Mekong (tại trạm Tân Châu ở Tây Ninh) trung bình thời kỳ 2010 - 2050 thể hiện xu thế tăng khoảng 10%. Trên hầu hết hệ thống sông trong lãnh thổ Việt Nam đều có xu hướng giảm 3 - 10%, với các mức giảm khác nhau khá lớn giữa các sông, thậm chí giữa thượng, trung và hạ lưu trên cùng một con sông. Dự báo vào thời kỳ 2040 - 2059, mức độ giảm của dòng chảy trung bình mùa cạn dao động trong phạm vi từ dưới 1,5% ở các sông Đà, sông Gâm, sông Hiếu, đến trên 10% tại sông Ba; còn các sông khác thường giảm 3,0 - 10,0%, các sông La, sông Ba, sông Thu Bồn, sông

Đồng Nai, dòng chảy giảm từ 1% đến 10%. Trên các sông Hồng, sông Thái Bình, sông Cà, dòng chảy năm có xu hướng tăng nhỏ hơn 5%. Dòng chảy trên sông Mekong vào đồng bằng sông Cửu Long, trung bình thời kỳ 2010 - 2050 tăng khoảng 4 - 12%. Dòng chảy mùa lũ trên sông Hồng, sông Thái Bình, sông Cà, sông Ba, sông Thu Bồn có xu hướng tăng 2 - 9%, nhưng trên hệ thống sông Đồng Nai, dòng chảy mùa lũ giảm 4 - 7%. Đối với sông Mekong, so với thời kỳ 1985 - 2000, dòng chảy mùa lũ (tại Kratie ở Campuchia) trung bình thời kỳ 2010 - 2050 chỉ tăng khoảng 5 - 11%, dòng chảy mùa cạn (trạm Tân Châu) trung bình thời kỳ 2010 - 2050 có thể hiện xu thế tăng khoảng 10%. Dựa vào những số liệu này cùng với kịch bản biến đổi khí hậu cho Việt Nam có thể nhận định rằng tình hình hạn hán do thiếu hụt nguồn nước trong tương lai sẽ gia tăng ở các lưu vực sông ở Việt Nam. Kết quả đánh giá mức độ hạn hán tại hai khu vực trọng điểm gồm đồng bằng sông Hồng (đại diện cho khu vực Miền Bắc) và dải ven biển Nam Trung Bộ cho thấy vào năm 2020 và giữa thế kỷ 21 các chỉ số hạn thủy văn ($K_{hạn}$) của khu vực Miền Bắc gia tăng và ở trong khoảng 0,3 - 0,6 (có dấu hiệu sinh hạn đến hạn nhẹ), đối với khu vực Nam Trung Bộ trong khoảng 0,6 - 0,9 cho các thời đoạn tháng kiệt, ba tháng kiệt, và mưa kiệt tương ứng với mức hạn nhẹ và đến giữa thế kỷ sẽ tiếp tục bị hạn nặng với các mức độ ngày càng cao hơn.

Theo báo cáo quốc gia lần thứ 2 của Việt Nam cho Công ước khung của Liên hợp quốc về biến đổi khí hậu thì biến đổi khí hậu có thể gây suy giảm đáng kể mực nước ngầm, đặc biệt là giai đoạn sau 2020 do áp lực của hoạt động khai thác phục vụ sản xuất và suy giảm lượng nước cung cấp cho dòng chảy ngầm trong mùa khô. Tại vùng đồng bằng Nam Bộ, nếu lượng dòng chảy mùa khô giảm khoảng 15 - 20% thì mực nước ngầm có thể hạ thấp khoảng 11 m so với hiện tại. Vào mùa cạn, mực nước ngầm bị suy giảm do ít được bổ sung từ mưa kết hợp với nước biển dâng dẫn đến nước ngầm tại các vùng đồng bằng ven biển bị xâm nhập mặn, làm giảm lượng nước nhạt có thể khai thác, sử dụng.

Sử dụng, quản lý tài nguyên nước và những vấn đề địa chất môi trường

Cơ cấu sử dụng nước vào năm 2009 và 2020 của Việt Nam tương ứng như sau: nông nghiệp 82% và 72%, công nghiệp 5% và 9%, đô thị 3% và 5%, thủy sản 11% và 14%. Với giải pháp xây dựng các công trình đập - hồ, Việt Nam đã tăng cường được công tác quản lý tài nguyên nước. Hơn 1.000 hồ nhân tạo đã chủ động lưu giữ nước vào mùa mưa, cung cấp nước vào mùa khô, giảm thiểu tai biến lũ lụt, hạn hán và tăng sản xuất điện năng cho nền kinh tế (chiếm 20% tổng điện năng năm 2010).

Tác động môi trường do các công trình đập, hồ. Việc xây dựng và vận hành các công trình đập, hồ chứa đã gây ra những tác động mạnh mẽ, lâu dài đến môi trường địa chất, chế độ thủy văn của con sông. Khu vực rộng lớn phía trên đập trở thành hồ (vùng nước đứng), đất trở thành ngập nước, đáy hồ thường xuyên lắng đọng phù sa, nước hồ bắt đầu quá trình phú dưỡng hóa, hình thành vùng cảnh quan mới (ven hồ, đảo, bán đảo, vùng bán ngập, hệ thống đập, v.v...). Vùng dưới đập với chế độ dòng chảy do con người điều tiết trở thành vùng thượng lưu của con sông mới, quá trình bào mòn là chủ yếu, v.v... Các hồ chứa còn làm gia tăng mức độ rủi ro của tai biến địa chất như các trận động đất kích thích, các trận xả lũ, vỡ đập, v.v...

Trong lĩnh vực sử dụng nước cho nông nghiệp, con người đã xây dựng và điều phối hoạt động của mạng lưới thủy lợi. Ở đồng bằng sông Hồng, hệ thống đê dọc hai bờ sông, cống, kênh, mương đã chủ động tưới - tiêu, dẫn thủy nhập điền. Ở đồng bằng sông Cửu Long, hệ thống kênh, rạch tự nhiên và nhân tạo, đê bao vùng đã giúp dân cư "chung sống với lũ".

Ô nhiễm môi trường nước gồm ô nhiễm nước có nguồn gốc tự nhiên (do mưa, tuyết tan, gió bão, lũ lụt đưa vào môi trường nước chất thải bản, các sinh vật và vi sinh vật có hại kể cả xác chết của chúng) và ô nhiễm nước có nguồn gốc nhân tạo (nước sau khi sử dụng trở thành nước thải có mức độ ô nhiễm khác nhau). Hệ thống nước mặt là nơi tiếp nhận trực tiếp nước thải và chuyển tải ra biển, thấm vào đất và các tầng nước ngầm.

Các tai biến liên quan đến nước. Hạn hán, xâm nhập mặn, lũ lụt, lũ bùn đá, xói mòn, xói lở, trượt lở đất (xem thêm "Tai biến địa chất") là các tai biến liên quan đến nước thường xảy ra ở Việt Nam. Sử dụng và quản lý tài nguyên nước và đất có thể hạn chế hoặc làm trầm trọng các tai biến này.

Quản lý tài nguyên nước. Việc quản lý, bảo vệ, khai thác, sử dụng tài nguyên nước, phòng, chống và khắc phục hậu quả tác hại do nước gây ra phải theo những nguyên tắc xác định. Bảo đảm quản lý thống nhất theo lưu vực sông, theo nguồn nước, kết hợp với quản lý theo địa bàn hành chính. Quản lý tổng hợp, thống nhất về số lượng và chất lượng nước; giữa nước mặt và nước dưới đất; nước trên đất liền và nước vùng cửa sông, nội thủy, vùng biển; giữa thượng lưu và hạ lưu, kết hợp với quản lý các nguồn tài nguyên thiên nhiên khác. Quản lý phải tuân theo chiến lược, quy hoạch tài nguyên nước đã được cơ quan quản lý nhà nước có thẩm quyền phê duyệt. Quản lý tài nguyên nước gắn với bảo vệ môi trường, cảnh quan thiên nhiên, di tích lịch sử - văn hóa, danh lam thắng cảnh và các tài nguyên thiên nhiên khác; bảo đảm quốc phòng, an ninh, trật tự, an toàn xã hội. Khai thác, sử dụng tài nguyên nước phải tiết kiệm,

an toàn, có hiệu quả; bảo đảm sử dụng tổng hợp, đa mục tiêu, công bằng, hợp lý, hài hòa lợi ích, bình đẳng về quyền lợi và nghĩa vụ giữa các tổ chức, cá nhân. Quản lý tài nguyên nước phải lấy phòng ngừa là chính, gắn với việc bảo vệ, phát triển rừng, khả năng tái tạo tài nguyên nước, kết hợp với bảo vệ chất lượng nước và hệ sinh thái thủy sinh, khắc phục, hạn chế ô nhiễm, suy thoái, cạn kiệt nguồn nước. Phòng, chống và khắc phục hậu quả tác hại do nước gây ra phải có kế hoạch và biện pháp chủ động; bảo đảm kết hợp hài hòa lợi ích của cả nước, các vùng, ngành; kết hợp giữa khoa học, công nghệ hiện đại với kinh nghiệm truyền thống của nhân dân và phù hợp với điều kiện kinh tế - xã hội. Các quy hoạch, kế hoạch, chương trình, dự án phát triển kinh tế - xã hội, quốc phòng, an ninh phải gắn với khả năng nguồn nước, bảo vệ tài nguyên nước. Bảo đảm duy trì dòng chảy tối thiểu trên sông, không vượt quá ngưỡng khai thác đối với các tầng chứa nước và có các biện pháp bảo đảm đời sống dân cư. Bảo đảm chủ quyền lãnh thổ, lợi ích quốc gia, công bằng, hợp lý trong bảo vệ, khai thác, sử dụng, phát triển tài nguyên nước, phòng, chống và khắc phục hậu quả tác hại do nước gây ra đối với các nguồn nước liên quốc gia. Các dự án bảo vệ, khai thác, sử dụng tài nguyên nước, phòng, chống và khắc phục hậu quả tác hại do nước gây ra phải góp phần phát triển kinh tế - xã hội và có các biện pháp bảo đảm đời sống dân cư, quốc phòng, an ninh, bảo vệ di tích lịch sử - văn hóa, danh lam thắng cảnh và môi trường.

Địa chất môi trường cung cấp cơ sở khoa học, thông tin, dữ liệu về môi trường địa chất, các quá trình địa chất liên quan để tìm kiếm, đánh giá, dự báo trữ lượng, chất lượng tài nguyên nước. Ngoài ra, địa chất môi trường còn nghiên cứu các vấn đề môi trường và tai biến liên quan cũng như đề xuất các giải pháp xử lý chất thải và bảo vệ môi trường nước, giảm nhẹ tai biến liên quan đến nước phục vụ công tác quản lý, sử dụng và phát triển bền vững tài nguyên nước.

Tài nguyên khoáng sản

Khoáng sản là các thể địa chất tồn tại trong lòng đất, trên mặt đất, gồm cả khoáng vật, khoáng chất ở búi thái của mỏ, cung cấp cho con người vật chất dưới dạng nguyên vật liệu, nhiên liệu. Mặc dù quá trình thành tạo tài nguyên khoáng sản vẫn đang được diễn ra, nhưng đòi hỏi thời gian địa chất lâu dài nên tài nguyên khoáng sản được coi là tài nguyên không tái tạo (xem "Khoáng sản").

Tài nguyên du lịch tự nhiên

Di sản thiên nhiên là các đặc trưng tự nhiên bao gồm các thực thể hoặc các nhóm thực thể vật lý hoặc sinh học có các giá trị tổng hợp nổi bật về mặt mỹ học và khoa học. *Di sản địa chất* là phần tài nguyên

địa chất có giá trị nổi bật về khoa học, giáo dục, thẩm mỹ và kinh tế, những hợp phần đa dạng địa chất (Geodiversity) có giá trị nghiên cứu khoa học, giáo dục, thẩm mỹ và tinh thần, phát triển văn hóa và nhận thức về xứ sở của cộng đồng. Đa dạng địa chất chỉ mức độ đa dạng các thuộc tính, tổ hợp, hệ thống và các quá trình địa chất, địa mạo, bao gồm nhiều nét đặc trưng về khoáng vật, thạch học, hóa thạch, cấu trúc, địa hình và cả các yếu tố quan trọng khác về thời gian, môi trường địa chất và các quá trình địa chất. Theo Hamilton-Smith (2000) và Dixon (1996), đa dạng địa chất là tổ hợp tự nhiên (tính đa dạng) của các thuộc tính, tập hợp, hệ thống và các quá trình địa chất (đá), địa mạo (địa hình) và thổ nhưỡng. Nó còn bao gồm cả các dẫn liệu về lịch sử Trái Đất (sự sống, hệ sinh thái và môi trường quá khứ) và tổ hợp các quá trình (sinh học, thủy văn và khí quyển) hiện đang tác động đến đá, địa hình và thổ nhưỡng.

Di sản Trái Đất là những di sản về đá, đất và địa hình (thực tại hoặc di tích) và những dẫn liệu có khả năng làm sáng tỏ lịch sử Trái Đất. Giá trị di sản địa chất bao gồm mức độ đa dạng địa chất và các đặc điểm quan trọng khác như mức độ kết tinh khoáng vật, mức độ bảo tồn hóa thạch, kích cỡ và vẻ đẹp của cấu trúc, thạch học, cảnh quan địa hình, v.v... Di sản địa chất thường cung cấp các giá trị văn hóa (giáo dục, khoa học, lịch sử và khảo cổ), mỹ học (vẻ đẹp tự nhiên, tính độc đáo, kỳ vĩ) và giải trí (vui chơi, thưởng thức). Một di sản địa chất thế giới phải đảm bảo được một trong số 13 tiêu chí cơ bản là đặc điểm cấu trúc và kiến tạo, núi lửa và hệ thống núi lửa, hệ thống sơn văn, địa tầng, hóa thạch, hệ thống sông, hồ và châu thổ, hang động và hệ thống karst, hệ thống bờ biển, các rạn, ám tiêu vòng và các đảo ngoài đại dương, băng hà và mũ băng, tuổi băng hà, hệ thống sa mạc khô hạn và bán khô hạn, tác động thiên thạch. Trong số 71 di sản thế giới liên quan đến địa chất, sông - hồ - châu thổ có 20; rạn ám tiêu vòng và đảo đại dương có 11; hệ thống bờ có 10; băng hà và mũ băng có 7, hang động và karst có 6, v.v... Bảo tồn địa chất là bảo tồn tính đa dạng địa chất và những giá trị di sản và trạng thái nguyên sơ của chúng.

Danh thắng địa chất (geosite) là một khu vực địa chất hoặc địa hình có một hợp phần đa dạng địa chất có ý nghĩa và giá trị di sản địa chất cao.

Công viên địa chất (geopark) là vùng có một hoặc một vài hợp phần có giá trị khoa học quan trọng, không chỉ riêng về địa chất, mà còn cả văn hóa, sinh thái và khảo cổ học. Một công viên địa chất cần thỏa mãn các tiêu chí: có giới hạn rõ ràng và diện tích đủ lớn, có một kế hoạch quản lý theo định hướng phát triển bền vững kinh tế - xã hội, lấy du lịch địa chất làm nòng cốt, có các giải pháp bảo tồn và phát huy giá trị di sản, có được cách thức giảng dạy về khoa học địa chất và rộng hơn là về môi trường, có những

đề xuất phối hợp với chính quyền, cộng đồng địa phương và các tổ chức tạo ra khả năng tốt nhất bảo tồn di sản địa chất và hài hoà với phát triển bền vững kinh tế - xã hội.

Việt Nam có tài nguyên cảnh quan - địa du lịch rất đa dạng và có giá trị lớn. Tài nguyên cảnh quan miền núi, cao nguyên gồm: công viên địa chất - cao nguyên đá Đông Văn, Sapa - Phangxipang (Fansipan), Đà Lạt - Langbiang, v.v... Tài nguyên cảnh quan hang động karst vùng đá vôi gồm: Phong Nha - Kẻ Bàng, rừng Cúc Phương, Tràng An, v.v... Tài nguyên cảnh quan miền đồng bằng châu thổ: cửa sông Hồng, sông nước đồng bằng sông Cửu Long, đất mũi Cà Mau, rừng U Minh, v.v... Tài nguyên cảnh quan miền ven biển và biển đảo như vịnh Hạ Long, cồn cát Mũi Né - Phan Thiết, quần đảo Hoàng Sa và Trường Sa, v.v...

Tài nguyên vị thế

Tài nguyên vị thế là những lợi ích có được từ vị trí địa lý và các thuộc tính về cấu trúc, hình thể sơn văn và cảnh quan, sinh thái của một khu vực, có giá trị sử dụng cho các mục đích phát triển kinh tế - xã hội, đảm bảo quốc phòng, an ninh và chủ quyền quốc gia. Các nguồn tài nguyên (như khoáng sản, cảnh quan, các hệ sinh thái, v.v...) của một lãnh thổ có thể được định giá cao hơn nhờ lợi thế về vị trí địa lý, và phân gia tăng giá trị đó thuộc về tài nguyên vị thế. Tài nguyên vị thế được phân chia thành ba kiểu gồm: 1) *Tài nguyên địa-tự nhiên* là lợi ích có được về môi trường tự nhiên từ vị trí địa lý của các yếu tố hình thể và cấu trúc không gian của một khu vực nào đó cũng như về tính ổn định của các quá trình tự nhiên và khả năng ít chịu tác động của thiên tai; 2) *Tài nguyên địa-kinh tế* là lợi ích có được từ vị trí và các đặc điểm địa lý chi phối quá trình phát triển kinh tế của một vùng, một quốc gia, thậm chí một khu vực, gắn với vai trò đầu mối trong tổ chức lãnh thổ kinh tế; trong giao lưu và quan hệ kinh tế, sức hấp dẫn và không gian ảnh hưởng; 3) *Tài nguyên địa-chính trị* là lợi ích kết hợp của lợi thế về vị trí và đặc điểm địa lý tự nhiên và nhân văn của một vùng, một quốc gia tạo nên ảnh hưởng hoặc ưu thế về chính trị, quân sự, ngoại giao trong một bối cảnh chính trị và kinh tế nhất định.

Tài nguyên vị thế ở biển và đới ven Biển Đông có vai trò quan trọng trong các hoạt động bảo vệ chủ quyền, quyền chủ quyền, và quốc phòng an ninh của đất nước. Trước hết, Biển Đông là một biển rìa nửa kín lớn trên thế giới, được bao quanh bởi các quần đảo Philippin, Indonesia và được nối với Thái Bình Dương qua eo biển ở phía bắc và Ấn Độ Dương qua eo biển ở phía nam. Do vậy, Biển Đông nằm trên con đường hàng hải quan trọng trên thế giới, là con đường ngắn nhất nối liền Ấn Độ Dương và Thái Bình Dương, nối liền các nước ở Châu Âu và Châu Á. Do vậy, Biển Đông có vị thế quan trọng cho phát triển ngành hàng hải, phát triển cảng biển thương mại và quân sự.

Đới biển ven bờ của Việt Nam chạy theo phương bắc - nam có chiều dài khoảng 3.260km, là cửa ngõ của đất nước để triển khai các hoạt động kinh tế biển, hàng hải và hội nhập quốc tế. Bên cạnh đó, đới biển ven bờ cũng là con đường giao thông quan trọng của các nước và vùng lãnh thổ của các quốc gia có chung đường biên giới với Việt Nam như Lào, Campuchia, Đông Bắc Thái Lan, Vân Nam (Trung Quốc) với các nước khác trên thế giới. Do vậy, đới ven biển đóng vai trò như là một hành lang quốc phòng, an ninh quan trọng để bảo vệ chủ quyền lãnh thổ, thông qua công tác bố trí các tuyến phòng thủ an ninh trên biển, ven biển và trên đất liền.

Hệ thống các đảo của nước ta gồm quần đảo Hoàng Sa, quần đảo Trường Sa, các đảo gần bờ và xa bờ như Cô Tô, Vân Đồn, Cát Hải, Bạch Long Vĩ, Côn Cò, Lý Sơn, Phú Quý, Côn Đảo, Kiên Hải, Phú Quốc, Thổ Chu, Hòn Hải, v.v... nằm ở vị trí tiền tiêu, là cầu nối liên kết giữa các đảo, cụm và tuyến đảo với nhau để bảo vệ, kiểm soát vùng biển, vùng trời của tổ quốc. Các quần đảo Hoàng Sa và Trường Sa có vị thế đặc biệt quan trọng đối với quốc phòng an ninh, chính trị và kinh tế của đất nước, cung cấp các điều kiện trực tiếp kiểm soát và khống chế các hoạt động giao thông hàng hải và khai thác tài nguyên ở Biển Đông. Ngoài ra, hệ thống các quần đảo còn cung cấp các vị trí cầu nối để tiếp xúc với các hệ thống cảng biển của Việt Nam và các nước trong khu vực Châu Á và phát triển dịch vụ hàng hải và hàng không. Hệ thống quần đảo Hoàng Sa và Trường Sa còn cung cấp nơi trú ẩn cho ngư dân khai thác hải sản trên biển để tránh bão và áp thấp nhiệt đới. Bên cạnh đó, các đảo xa bờ như Bạch Long Vĩ, Phú Quý, Côn Đảo và Thổ Chu còn có vai trò trong xác định chủ quyền và đường ranh giới quốc gia trên biển, trong xác định đường cơ sở để xác lập vùng lãnh hải và vùng đặc quyền về kinh tế và thềm lục địa của nước ta. Một số đảo xa bờ như Côn Cò, Bạch Long Vĩ, Chàng Tây được sử dụng để phân định vịnh Bắc Bộ giữa Việt Nam và Trung Quốc.

Bên cạnh đó, các vũng vịnh ven bờ như vịnh Hạ Long, Vũng Áng, Chân Mây, Dung Quất, Vân Phong và Gành Rái có tiềm năng lớn để phát triển giao thông - cảng, du lịch và dịch vụ, nghề cá, phát triển công nghiệp, cơ sở hạ tầng và đô thị hóa. Các cảng xây dựng tại các vũng vịnh này là cửa ngõ giao thương quan trọng của nước ta với quốc tế và có vai trò địa chính trị rất quan trọng để đảm bảo quốc phòng an ninh và chủ quyền, lợi ích của nước ta (vịnh Cam Ranh). Ngoài ra, vùng biển ven bờ còn có các mũi nhô như mũi Đại Lãnh, Chân Mây Tây, Chân Mây Đông, Mũi Gió, Mũi Yên, Mũi Cò, Mũi Gành, mũi Hòn Ngang và có nhiều đảo ven bờ như Hòn Mê, Hòn Mắt, Côn Cò, Cù Lao Chàm, Cù Lao Xanh, hòn Mái Nhà, Hòn Tre, Hòn Nội, Hòn Gồm, Hòn Đò, Hòn Ông, Hòn Cỏ, Hòn Nước, Hòn Nưa, Hòn Lớn, Hòn Bịp (Điệp Sơn), hòn Mỹ Giang có tầm quan trọng trong bảo vệ an ninh quốc phòng ven

biển và giảm tác động của sóng biển tạo điều kiện thuận lợi để nuôi trồng thủy sản

Cần dựa vào cơ sở khoa học liên ngành để đánh giá tiềm năng, giá trị, khả năng sử dụng và bảo tồn, khả năng bị tổn thương, phân cấp và phân hạng tài nguyên nhằm xây dựng chiến lược, chính sách, quy hoạch, kế hoạch và giải pháp sử dụng bền vững tài nguyên du lịch tự nhiên, tài nguyên vị thế.

Tài liệu tham khảo

- Adriano D. C., 2001. Trace elements in terrestrial environments: biogeochemistry, bioavailability, and risks of metals. *Springer*: 871 pgs.
- Aggarwal P. K. and Singh A. K., 2010. Implications of global climatic change on water and food security. In: *Global Change: Impacts on Water and food Security*. Springer-Verlag: 49-63. Berlin and Heidelberg.
- Bennett M. R. and Doyle P., 1997. Environmental geology: geology and the human environment. *John Wiley*. 512 pgs. Chichester.
- 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.
- Broadbent F., Rauschkolb R., Lewis K. A. and Chang G. Y., 1980. Spatial variability of nitrogen-15 and total nitrogen in some virgin and cultivated soils. *Soil Science Society of America Journal*. 44: 524-527.
- Tôn Thất Chiêu (chủ biên), 1996. Đất Việt Nam (chủ giải bản đồ đất, tỷ lệ 1:1.000.000). *NXB Nông nghiệp*: 171 tr. Hà Nội.
- Coleman D. C. and Brian F., 1991. Carbon isotope techniques. *Academic Press*. 274 pgs. California.
- Doyle P., 2005. Environmental Geology. *Encyclopedia of Geology*. Volume 2: 25-33. Elsevier.
- IPCC, 2012. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaption - A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Cambridge University Press*. 582 pgs. Cambridge, UK, and New York, USA.
- Mckelvey V., 1973. Mineral resource estimates and public policy (Geological survey professional paper 820). In: *United States Mineral Resources*. *United State Government Printing Office*: 9-19. Washington.
- Paul L. H. and Brian J. S., 2003. The Oxford Companion to the Earth. *Oxford University Press*. 1184 pgs.
- Retallack G. J., 2005. Soils. *Encyclopedia of Geology*. Volume 5: 194-208. Elsevier.
- Staddon P. L., 2004. Carbon isotopes in functional soil ecology. *Trends in Ecology & Evolution*. 19/3: 148-154.
- Trần Đức Thạnh, Lê Đức An, Nguyễn Hữu Cừ, Trần Đình Lân, Tạ Hòa Phương và Nguyễn Văn Quân, 2012. Biển đảo Việt Nam - tài nguyên vị thế và các kỳ quan địa chất, sinh thái tiêu biểu. *NXB Khoa học Tự nhiên và Công nghệ*. 325 tr. Hà Nội.
- Nguyen Tai Tue, Nguyen Thi Ngoc, Tran Dang Quy, Hamaoka H., Mai Trong Nhan and Omori K., 2012. A cross-system analysis of sedimentary organic carbon in the mangrove ecosystems of Xuan Thuy National Park, Vietnam. *Journal of Sea Research*. 67: 69-76.