

## Silicat và alumosilicat

Nguyễn Ngọc Khôi. Khoa Địa chất,  
Trường Đại học Khoa học Tự nhiên (ĐHQGHN).

### Giới thiệu

Silicat (bao gồm cả alumosilicat) là lớp khoáng vật lớn nhất. Gần 25% số khoáng vật đã biết và khoảng 40% số khoáng vật phổ biến thuộc lớp này. Trừ một số ngoại lệ, hầu hết các khoáng vật tạo đá magma đều là silicat và alumosilicat. Silicat là thành phần chủ yếu của vỏ Trái Đất (chiếm tới hơn 90% trọng lượng của vỏ Trái Đất), cũng như phần lớn các hành tinh và các Mặt Trăng trong Hệ Mặt Trời. Mặc dù số khoáng vật silicat có thể lên tới vài trăm, nhưng chỉ khoảng 25 khoáng vật là phổ biến.

Các khoáng vật feldpat, thạch anh, mica, hornblen, pyroxen, olivin... là thành phần chủ yếu của các loại đá, trong đó feldpat là nhóm khoáng vật silicat phổ biến nhất trong tự nhiên.

Đặc trưng của lớp khoáng vật này là cấu trúc của gốc silicat (anion silicat). Các khoáng vật silicat đều chứa silic và oxy.

### Thành phần hóa học

Các hợp chất silicat bao gồm các anion silicat được cân bằng điện tích bởi nhiều cation khác nhau. Có rất nhiều các anion silicat có thể tồn tại và tạo thành hợp chất với các cation.

Các cation chính trong thành phần silicat là Na, K, Li, Ca, Mg,  $Fe^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ , Be, Al,  $Fe^{3+}$ , B. Ngoài ra còn gặp Ti, Zn, Cs, Rb, Sr, Zr, Cu, Y, TR... Trong thành phần gốc anion, ngoài Si, Al, còn có Ti, Zr, Be, B,  $Fe^{3+}$ . Các anion phụ (OH)<sup>-</sup>, F<sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, O<sup>2-</sup>, S<sup>2-</sup>,  $[BO_3]^{3-}$ ,  $[CO_3]^{2-}$ ,

[SO<sub>4</sub>]<sup>2-</sup> cũng giữ vai trò quan trọng. Trong thành phần một số silicat có thể có nước kết tinh, nước zeolit, nước giữa lớp và nước hấp phụ.

Hiện tượng đồng hình phổ biến, cả cùng hoá trị và khác hoá trị, góp phần tạo nên sự phong phú về thành phần của silicat. Sự thay thế đồng hình có thể xảy ra cả trong phần các cation, cũng như trong gốc anion silicat. Ví dụ điển hình cho các cặp nguyên tố thay thế đồng hình cùng hoá trị là Mg<sup>2+</sup> - Fe<sup>2+</sup> trong olivin, Al<sup>3+</sup> - Fe<sup>3+</sup> trong granat và Ca<sup>2+</sup> - Mn<sup>2+</sup> trong wollastonit,... Thay thế đồng hình không cùng hoá trị của cation thường kéo theo sự thay thế trong gốc anion, như: trong plagioclas Ca<sup>2+</sup> thay thế Na<sup>+</sup> (trong phần cation) và Al<sup>3+</sup> thay thế Si<sup>4+</sup> (trong gốc anion), hoặc các anion phụ (OH)<sup>-</sup> và F<sup>-</sup> thay thế nhau trong topaz, mica,...

Trong silicat mỗi liên kết đặc trưng trong gốc anion [SiO<sub>4</sub>]<sup>4-</sup> là liên kết cộng hoá trị, và giữa anion và cation là liên kết ion. Trong khoáng vật chứa nhóm (OH)<sup>-</sup> và H<sub>2</sub>O có thể gặp cả mỗi liên kết hydro.

**Cấu trúc tinh thể**

Đơn vị kiến trúc cơ sở của tất cả các silicat là [SiO<sub>4</sub>]<sup>4-</sup>, trong đó Si<sup>4+</sup> nằm giữa bốn O<sup>2-</sup> ở các đỉnh của tứ diện. Mỗi liên kết Si - O mạnh hơn nhiều so với mỗi liên kết giữa kim loại với gốc anion trong silicat. Kích thước của tứ diện SiO<sub>4</sub> luôn cố định với khoảng cách Si - O là 1,6 Å. Trong cấu trúc tinh thể của silicat các nhóm [SiO<sub>4</sub>]<sup>4-</sup> có thể tồn tại riêng lẻ hoặc ghép với nhau theo nhiều cách khác nhau, tạo nên những gốc anion phức tạp [H.1]. Đây cũng là cơ sở để phân loại silicat (sẽ trình bày ở phần sau). Các tứ diện [SiO<sub>4</sub>]<sup>4-</sup> chỉ có thể liên kết với nhau qua đỉnh, mà không theo các cạnh, hoặc các mặt, do các khoảng cách Si - O, Si - Si là cố định (Việc các tứ diện SiO<sub>4</sub> gắn với nhau qua cạnh/mặt chung sẽ làm phát sinh lực đẩy giữa hai Si<sup>4+</sup> điện tích cao nằm quá gần, khi đó cấu trúc sẽ trở nên kém bền vững).

Tùy theo sự liên kết của các tứ diện [SiO<sub>4</sub>]<sup>4-</sup> mà có các dạng anion phức tạp khác nhau, ứng với các kiểu cấu trúc sau của silicat:

**Silicat cấu trúc đảo**

Trong cấu trúc tinh thể của các silicat này các tứ diện hoặc nhóm tứ diện đứng riêng lẻ, trong đó các tứ diện không liên kết trực tiếp với nhau mà thông qua các cation:

- Silicat đảo đơn là trường hợp tứ diện [SiO<sub>4</sub>]<sup>4-</sup> đứng riêng lẻ [H.1-a], trong đó mỗi nguyên tử oxy có một điện tích tự do.

- Silicat đảo kép là khi hai tứ diện liên kết với nhau [H.1-b], trong đó một nguyên tử oxy chung cho hai tứ diện, còn các oxy khác liên kết với cation.

**Silicat cấu trúc vòng**

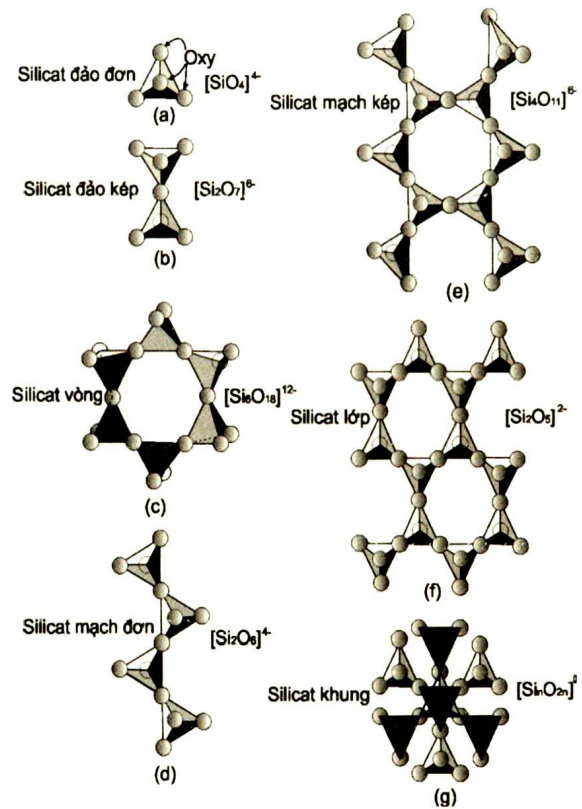
Các vòng riêng lẻ được tạo nên từ ba, bốn hoặc sáu tứ diện để tạo nên các gốc anion [Si<sub>3</sub>O<sub>9</sub>]<sup>6-</sup>, [Si<sub>4</sub>O<sub>12</sub>]<sup>8-</sup>, [Si<sub>6</sub>O<sub>18</sub>]<sup>12-</sup> [H.1c].

**Silicat cấu trúc mạch**

Khi các tứ diện liên kết với nhau qua hai đỉnh sẽ tạo nên các mạch đơn [Si<sub>2</sub>O<sub>6</sub>]<sup>4-</sup>, [Si<sub>3</sub>O<sub>8</sub>]<sup>6-</sup>,... với chu kỳ lặp lại khác nhau [H.1d]. Những mạch kép được tạo nên từ hai mạch đơn để có gốc anion [Si<sub>4</sub>O<sub>11</sub>]<sup>6-</sup> [H.1e]. Trong một số khoáng vật, Si<sup>4+</sup> được thay thế bằng Al<sup>3+</sup> để tạo nên aluminosilicat với gốc anion [Si<sub>3</sub>AlO<sub>10</sub>]<sup>7-</sup>.

**Silicat và aluminosilicat cấu trúc lớp**

Loại silicat và aluminosilicat này tạo nên từ các lớp của các anion [Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>]<sup>4-</sup> và [Si<sub>3</sub>AlO<sub>11</sub>]<sup>5-</sup>, trong đó các tứ diện liên kết với nhau qua ba đỉnh chung [H.1f].



**Hình 1.** Các kiểu liên kết của các tứ diện SiO<sub>4</sub> trong silicat. a. Một tứ diện đơn lẻ – Silicat đảo đơn; b. Hai tứ diện ghép với nhau – Silicat đảo kép; c. Sáu tứ diện liên kết thành vòng – Silicat vòng; d. Một mạch kéo dài theo một phương của các tứ diện – Silicat mạch đơn; e. Hai mạch đơn ghép với nhau – Silicat mạch kép; f. Một lớp kéo dài theo hai phương của các tứ diện – Silicat lớp; g. Các tứ diện liên kết theo 3 phương trong không gian – Silicat khung.

**Silicat và aluminosilicat cấu trúc khung**

Loại silicat và aluminosilicat này tạo nên do sự liên kết của các tứ diện [AlO<sub>4</sub>]<sup>3-</sup> và [SiO<sub>4</sub>]<sup>4-</sup> qua bốn đỉnh, nghĩa là tất cả các nguyên tử oxy đều là chung [H.1g]. Trong aluminosilicat với cấu trúc khung, tổng ion Al<sup>3+</sup> và Si<sup>4+</sup> luôn ít hơn số ion oxy 2 lần, còn số

tử diện  $[AlO_4]^-$  không lớn hơn một nửa lượng tử diện  $[SiO_4]^{+}$ . Công thức tổng quát gốc anion của aluminosilicat là  $[Si_{n-p}Al_pO_{2n}]^{p-}$ . Trong trường hợp  $p = 0$ , sẽ có công thức  $[Si_nO_{2n}]$ , tương ứng với công thức của thạch anh. Nếu  $p > 0$ , trong gốc anion xuất hiện điện tích âm và sẽ được trung hoà bởi các cation  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ , và những nhóm cation khác trong các lỗ hổng lớn của cấu trúc khung.

Hiện tượng đa hình cũng khá phổ biến trong lớp silicat. Ví dụ, ứng với một công thức  $SiO_2$  ta có cả loạt biến thể đa hình khác nhau về cấu trúc như thạch anh, tridymit, cristobalit, andalusit, kyanit và silimanit là các biến thể đa hình có cùng công thức  $Al_2SiO_5$ , v.v...

### Tính chất vật lý

Tính chất của các nhóm khoáng vật silicat khác nhau liên quan chặt chẽ với kiểu cấu trúc của chúng. Chẳng hạn, silicat lớp thường có tinh thể dạng tấm với các mặt song song với mặt phân lớp trong cấu trúc, thường có dấu quang âm và lưỡng chiết tương đối cao. Trong khi đó, silicat mạch với cấu trúc kéo dài theo một phương thường tạo thành các tinh thể hình lăng trụ, đồng thời, nếu có các mặt phân lớp thì phương cắt khai sẽ song song với phương kéo dài của tinh thể. Silicat khung thường có tinh thể dạng đẳng trục, không có phương cắt khai rõ ràng và thường có lưỡng chiết tương đối thấp.

Phần lớn silicat không màu hoặc có màu trắng, xám nhạt, vàng nhạt và lục nhạt. Silicat chứa các ion gây màu là các kim loại chuyển tiếp thường có màu khác nhau, trong đó phổ biến nhất là màu lục (do  $Fe^{2+}$ ), màu nâu ( $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$  hoặc  $Ti^{4+}$ ), màu đỏ ( $Fe^{3+}$ ,  $Cr^{3+}$ ), màu lam hoặc lơ ( $Fe^{2+}$  và  $Fe^{3+}$ ), màu hồng ( $Mn^{2+}$ ), màu da cam ( $UO_2^{2+}$ ), v.v... Màu của một vài silicat có liên quan với sự sai lệch trong cấu trúc như granat, hoặc với các tâm màu như beryl, scapolit, danburit, apophyllit.

Chỉ số khúc xạ của silicat dao động với biên độ khá lớn, nhưng thấp hơn so với của oxit. Phần lớn silicat đều trong suốt và có ánh thủy tinh, tức là chỉ số khúc xạ tương đối thấp. Thống kê cho thấy, silicat đảo với cấu trúc chặt đặc trung bởi chỉ số khúc xạ cao hơn so với silicat cấu trúc khung; đặc biệt thấp là chiết suất của zeolit. Điều đó có nghĩa là độ chặt của cấu trúc tỉ lệ thuận với cả tỉ trọng lẫn chỉ số khúc xạ của silicat.

Lưỡng chiết suất cao đặc trưng cho silicat lớp và mạch. Lưỡng chiết suất cũng chịu ảnh hưởng của loại cation trong thành phần của silicat. Đặc tính dị hướng quang học của các silicat phụ thuộc vào cấu trúc cơ bản của chúng. Các silicat lớp có dấu quang âm; khi cation trong lớp xếp thành chuỗi thì chúng có quang dấu dương.

Tỉ trọng của silicat phần lớn phụ thuộc vào độ chặt của cấu trúc, vào số phối trí của cation, đồng

thời còn phụ thuộc vào trọng lượng nguyên tử của cation và lượng nước trong khoáng vật. Silicat đảo với cấu trúc chặt thường có tỉ trọng cao nhất, dao động trong khoảng 2,5 – 7, trong khi đó silicat khung, lớp và mạch có độ chặt thấp thì tỉ trọng nhỏ và dao động trong khoảng hẹp (2 – 3,5). Số phối trí tăng cũng khiến tỉ trọng tăng theo.

Về độ cứng, silicat đứng hàng thứ hai sau oxit. Silicat với tỉ trọng thấp sẽ có độ cứng cao.

### Nguồn gốc và công dụng

Silicat là thành phần chính của phần lớn các loại đá. Trong quá trình kết tinh magma thì hình thành sớm nhất là các silicat nghèo silic (olivin, pyroxen, v.v...), và càng về sau sẽ xuất hiện các sản phẩm giàu silic hơn (felspat, mica, v.v...). Trong thành phần pegmatit, ngoài felspat, mica và thạch anh, còn có một loạt các silicat với các cation kích thước nhỏ như Be, B, Al, Li, Ti, Zr, v.v..., hoặc kích thước rất lớn như Cs, K, Rb, TR, v.v... Do trong quá trình pegmatit có sự tập trung cao của các hợp phần bay hơi (chất bốc) nên trong pegmatit thường gặp các silicat với các anion phụ như Cl, F, OH, B, v.v...

Trong điều kiện khí thành-nhiệt dịch, silicat hình thành chủ yếu do biến đổi các khoáng vật nguyên sinh. Đặc trưng cho các mỏ skarn là các silicat granat, pyroxen, wollastonit...; cho các mỏ khoáng nhiệt dịch là các silicat có cấu trúc lớp như sericit, kaolinit, chlorit, v.v..., và cấu trúc khung như zeolit.

Trong điều kiện ngoại sinh nhiều silicat rất bền vững và tích tụ trong trầm tích bờ rời (zircon, granat, thạch anh, kyanit, staurolit, topaz, tourmalin, v.v...). Nhiều silicat khác bị phân hủy dưới tác dụng của các dung dịch bề mặt với sự hình thành các oxit và hydroxid Si, Al, Fe, Mn; còn các hợp chất hòa tan thì bị mang tới các bồn nước lớn. Nếu di chuyển dưới dạng keo, silicat sẽ kết tủa tại bồn và khi gặp điều kiện đặc biệt, chúng có thể tái lắng đọng. Silicat nguồn gốc ngoại sinh thường là những sản phẩm phong hoá hoặc sản phẩm biến đổi của các khoáng vật nguyên sinh như kaolinit, glauconit, crysocola, v.v..., và thường tạo nên các tầng trầm tích dày.

Silicat rất phổ biến trong đá biến chất như đá phiến, gneis (granat, disthen, chlorit, v.v...).

Silicat là những khoáng sản phi kim quan trọng như vật liệu chịu lửa, vật liệu xây dựng, khoáng chất công nghiệp. Silicat cũng là những quặng để lấy berili, liti, cesi, zirconi, nickel, kẽm, đất hiếm v.v... Ngoài ra, nhiều silicat còn được dùng làm đá quý như beryl (emerald, aquamarin), topaz, ngọc jade (jadeit, nephrit), granat, tourmalin, zircon, felspat, rodonit, v.v...

### Phân loại silicat

Ứng với các kiểu liên kết tứ diện  $[SiO_4]^{+}$  đã trình bày ở trên, ta đã có các silicat với các kiểu cấu trúc khác nhau. Tiếp đó, tùy thuộc vào tính phức tạp của

cấu trúc, vào sự có mặt của các anion phụ và nước, mà mỗi kiểu silicat lại được chia thành các nhóm khoáng vật khác nhau [Bảng 1].

**Bảng 1.** Phân loại silicat.

Silicat đơn [SiO <sub>4</sub> ] <sup>4-</sup>	Silicat kép [Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> ] <sup>6-</sup>
<i>Loại đơn giản</i>	<i>Loại có anion phụ</i>
Nhóm phenacit	Nhóm sphen (titanit)
Nhóm olivin	Nhóm topaz
Nhóm zircon	Nhóm disthen-andalusit
	Nhóm chondroit
<i>Loại phức tạp</i>	
Nhóm granat	
<i>Loại có anion phụ</i>	<i>Loại chứa nước</i>
Nhóm bertrandit	Nhóm calamin
Nhóm ilvait	
Nhóm lamprophyllit	
<b>Silicat đảo hỗn hợp [SiO<sub>4</sub>]<sup>4-</sup> và [Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>]<sup>6-</sup></b>	
<i>Loại có anion phụ</i>	
Nhóm vesuvian	Nhóm epidot
<b>Silicat vòng [Si<sub>6</sub>O<sub>18</sub>]<sup>12-</sup></b>	
Nhóm beryl	<i>Loại chứa nước</i>
<i>Loại có anion phụ</i>	Nhóm dioplas
Nhóm tourmalin	Nhóm eudialyt
<b>Silicat mạch đơn [Si<sub>2</sub>O<sub>6</sub>]<sup>4-</sup> - Pyroxen</b>	
<i>Loại orthopyroxen</i>	
Nhóm enstatit - ferrosilit	
<i>Loại clinopyroxen</i>	
Nhóm diopsid - hedenbergit	Nhóm wollastonit
Nhóm aegirin	Nhóm rodonit
<b>Silicat mạch kép [Si<sub>4</sub>O<sub>11</sub>]<sup>6-</sup> - Amphibol</b>	
Nhóm anthophyllit	Nhóm hornblend
Nhóm actinolit	Nhóm amphibol kiềm
<b>Silicat lớp [Si<sub>4</sub>O<sub>10</sub>]<sup>4-</sup></b>	
<i>Silicat lớp TO*</i>	<i>Silicat lớp TOT-TO</i>
Nhóm serpentinit	Nhóm chlorit
Nhóm kaolinit	
<i>Silicat lớp TOT</i>	
<i>Loại có anion phụ</i>	<i>Loại chứa nước</i>
Nhóm talc-pyrophyllit	Nhóm hydromica
Nhóm mica	Nhóm montmorillonit
Nhóm margarit	Nhóm palygorskit
<b>Silicat khung</b>	
<i>Loại đơn giản: (SiO<sub>2</sub>)<sup>0</sup></i>	
Nhóm oxid silic	
<b>Alumosilicat [AlSiO<sub>4</sub>]<sup>-</sup></b>	
<i>Loại phức tạp</i>	<i>Loại có anion phụ</i>
Nhóm nephelin	Nhóm cancrinit-sodalit
	Nhóm helvin
<b>Alumosilicat [AlSi<sub>2</sub>O<sub>6</sub>]<sup>-</sup></b>	
<i>Loại đơn giản</i>	<i>Loại chứa nước</i>
Nhóm leucit	Nhóm analcim
<b>Alumosilicat [AlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>]<sup>-</sup>, [Al<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>6</sub>]<sup>2-</sup></b>	
<i>Loại đơn giản</i>	<i>Loại có anion phụ</i>
Nhóm K-Na feldspat	Nhóm scapolit
Nhóm plagioclas	Nhóm danburit
<b>Alumosilicat [Al<sub>2</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>10</sub>]<sup>2-</sup>, [Al<sub>2</sub>Si<sub>4</sub>O<sub>12</sub>]<sup>2-</sup></b>	
<i>Loại chứa nước zeolit</i>	
Nhóm natrolit	Nhóm heulandit
Nhóm laumontit	Nhóm mordenit
Nhóm chabasit	

\*Chú thích: T - lớp tứ diện (tetrahedral layer); O - lớp bát diện (octahedral layer).

## Silicat ở Việt Nam

Cũng như trên thế giới, silicat có mặt trong rất nhiều loại đá ở Việt Nam, đặc biệt là các đá magma, nhiều loại đá biến chất và một số sản phẩm trầm tích. Ở nước ta có nhiều loại khoáng có ý nghĩa, trong đó đáng chú ý là những loại sau đây.

- *Khoáng chất công nghiệp:* Serpentin ở các mỏ Bãi Áng (Thanh Hóa) và Thượng Hà (Yên Bái); Sét gồm sứ với 29 tụ khoáng và mỏ đã được thăm dò, đánh giá ở nhiều khu vực khác nhau; feldspat ở Tuyên Quang, Hà Giang, Phú Thọ, Vĩnh Phúc, Yên Bái, Lào Cai, Thanh Hóa, Quảng Bình và Quảng Nam; Kaolin (Phú Thọ, Vĩnh Phúc, Lào Cai, Thái Nguyên, Hà Giang, Tuyên Quang, Quảng Bình, Thừa Thiên Huế, Thanh Hóa, Bình Định, Quảng Ngãi, Quảng Nam, Khánh Hòa, Lâm Đồng, Đắk Lắk, Gia Lai, Bình Dương, Tây Ninh, Tp. Hồ Chí Minh, Bình Phước, Kiên Giang, An Giang với 217 tụ khoáng mỏ và diêm quặng đã được tìm kiếm thăm dò; Pyrophyllit ở Tân Mai (Quảng Ninh); Sét chịu lửa ở Trúc Thôn (Hải Dương); ngoài ra còn có talc, asbest, vermiculit, muscovit, bentonit, disthen, silimanit, v.v...

- *Vật liệu xây dựng:* Sét gạch ngói có đến 187 mỏ; Sét xi măng nguồn gốc phong hóa và trầm tích với gần 50 mỏ; Đá ốp lát và đá xây dựng nguồn gốc magma thuộc các phức hệ Ba Vì, Núi Chúa, Phú Mỹ, Chà Ván, Phia Bioc, Vân Canh, Hải Vân, Cà Ná, Định Quán và Đèo Cả.

- *Đá quý:* Topaz ở Thường Xuân (Thanh Hoá); Aquamarin, beryl ở Thường Xuân (Thanh Hoá), Cam Ranh (Ninh Thuận); Tourmalin gặp ở Lục Yên (Yên Bái), Báo Lộc (Lâm Đồng); Amazonit ở Lục Yên (Yên Bái); Zircon, peridot có ở Tây Nguyên, v.v...

- *Khoáng sản kim loại:* Zirconi có thể lấy từ zircon trong các mỏ ilmenit phổ biến suốt khu vực ven biển từ Vân Đồn (Quảng Ninh) đến Bà Rịa - Vũng Tàu; Beryli có thể khai thác kèm với quặng thiếc ở Pia Oac (Cao Bằng).

## Tài liệu tham khảo

- Cornelis K., Cornelius S., Hurlbut J. R., 1993. Manual of Mineralogy: (After J.D.Dana). 21<sup>st</sup> ed. John Wiley & Sons. 681 pgs. New York.
- Deer W.A., Howie R.A., Zussman J., 1992. An Introduction to the Rock Forming Minerals. 2<sup>nd</sup> Ed., Longman. 712 pgs. London.
- Đỗ Thị Vân Thanh, Trịnh Hân, 2010. Khoáng vật học. NXB Đại học Quốc gia Hà Nội. 385 tr. Hà Nội.
- Gaines R.V., Skinner H.C.W., Foord E.E., et al., 1997. Dana's New Mineralogy, 8<sup>th</sup> edn. Wiley and Sons. 1819 pgs. New York.
- Johnsen O., 2002. Minerals of the World. Princeton University Press. 440 pgs. Princeton, NJ.
- Klein C., 2002. The manual of Mineral Science. 22<sup>nd</sup> edn. John Wiley & Sons. 675 pgs. New York.

- Milovsky A.V., Kononov O.V., 1985. Mineralogy. Translated from the Russian. *Mir Publisher*. Moscow. 320 pgs.
- Nesse W.D., 2000. Introduction to Mineralogy. *Oxford University Press*. 442 pgs. New York, Oxford.
- Perkins D., 2001. Mineralogy. 2nd ed., *Prentice Hall*. 483 pgs.
- Tống Duy Thanh (Chủ biên), 2008. Giáo trình Địa chất cơ sở. *NXB Đại học Quốc gia Hà Nội*. 306 tr. Hà Nội.
- Trần Văn Trị và Vũ Khúc (Đồng chủ biên), 2009. Địa chất và Tài nguyên Việt Nam. *NXB Khoa học Tự nhiên và Công nghệ*. 589 tr.. Hà Nội.
- Trịnh Hán, Ngụy Tuyết Nhung, 2007. Cơ sở hóa học tinh thể. *NXB Đại học Quốc gia Hà Nội*. 363 tr. Hà Nội.
- Годовиков А.А., 1983. Минералогия. *Недра*. 519 стр. Москва.
- Лазаренко Е.К., 1971. Курс минералогии. *Высшая школа*, 607 стр. Москва.
- Минералогическая энциклопедия, 1985. Под ред. К. Фрея: Пер. с англ. *Недра, Ленинградское отделение*. 512 стр. Ленинград.