

УДК 548.736.6

DOI: 10.34824/VKNPIRAN.2021.5.1.004

## СТРУКТУРА СИЛИКАТОВ ВЗАИМОСВЯЗЬ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ СИЛИКАТОВ

© Аларханова Зура Зилаудиновна

Комплексный научно-исследовательский институт им. Х.И. Ибрагимова Российской академии наук, Российская Федерация, г. Грозный; лаборатория высокомолекулярных соединений, доц., к.х.н.

Чеченский государственный педагогический университет, Российская Федерация, г. Грозный; alarh2000@mail.ru

**Аннотация.** В статье представлена классификация силикатов, в зависимости от сочетания между собой кремнекислородных тетраэдров. Показана зависимость свойств силикатов от особенностей их строения, прежде всего от типа кремнекислородного тетраэдра. Изучены химический состав, разновидности и свойства монтмориллонита.

**Ключевые слова:** силикаты, минералы, керамические изделия, силикатный бетон, бентониты, монтмориллонит, кристаллическая структура.

## STRUCTURE OF SILICATES RELATIONSHIP OF STRUCTURE AND PROPERTIES OF SILICATES

© Alarkhanova Zura Zilaudinovna

Kh. Ibragimov Complex Institute of the Russian Academy of Sciences, Russian Federation, Grozny; laboratory of macromolecular compounds, docent, candidate of chemical sciences.

Chechen State Pedagogical University, Russian Federation, Grozny; alarh2000@mail.ru

**Abstract.** The article presents the classification of silicates, depending on the combination of silicon-oxygen tetrahedra with each other. The dependence of the properties of silicates on the features of their structure, primarily on the type of silicon-oxygen tetrahedron, is shown. The chemical composition, varieties and properties of montmorillonite have been studied.

**Key words:** silicates, minerals, ceramics, silicate concrete, bentonites, montmorillonite, crystal structure.

На современном этапе большим спросом пользуются стройматериалы, изготовленные с применением экологически чистых природных компонентов. Одним из

таких уникальных стройматериалов являются силикаты, которые взяты из природы и не представляет для окружающей среды никакой опасности.

*Силикаты* – это большая и очень важная группа природных минералов, которые являются полезными ископаемыми, породообразующими минералами и рудами. Многие минералы используются и как ювелирные дорогостоящие камни (*изумруды, аквамарин, гранат*). В современном строительстве силикаты занимают одно из важнейших мест как полезными ископаемыми (керамическое сырьё, строительные материалы и т.д.). Всего обнаружено более 800 видов минеральных силикатов, из которых более 90 % составляют минералы литосферы. Без силикатных строительных материалов (рис. 1), таких как цемент, бетон, стекло, трудно представить нашу современную жизнь [3-4].



Рис. 1. Применение силикатов.

*Силикаты* представляют собой большую группу минералов, состоящих из соединения кремния и кислорода:

- *полезные ископаемые (асбест, тальк, слюды, каолин, керамическое и огнеупорное сырьё);*
- *драгоценные и поделочные камни (изумруд, гранат, топаз –  $\text{Al}_2\text{SiO}_4$ , нефрит –  $\text{Ca Mg Fe} [\text{Si}_4\text{O}_{11}] [\text{OH}]_2$ , и др.);*
- *руды (бериллий, литий, цезий, цирконий, никель, цинк). [1; 2].*

Важнейшими химическими элементами, входящими в состав силикатов, являются Si, O, Al,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ , Mg, Mn, Ca, Na, K, H, в виде  $(\text{OH})^-$  или  $\text{H}_2\text{O}$ . Основные структурные единицы силикатов кремнекислородные тетраэдры (ККТ)  $[\text{SiO}_4]^{4-}$ . Сложность химического состава определяется наличием добавочных анионов и широко проявившимся изоморфизмом [1; 2].

В основе классификации всех силикатов по структурному строению находятся кремнекислородные тетраэдры, которые по-разному соединяются между собой. В зависимости от того, как сочетаются между собой ККТ, выделяют следующие типы структур силикатов:

*Островные силикаты* - силикаты с изолированными ККТ  $[\text{SiO}_4]^{4-}$  и изолированными группами тетраэдров (силикаты со сдвоенными тетраэдрами  $[\text{Si}_2\text{O}_7]^{6-}$  и кольцевые силикаты, состоящие из 3-х, 4-х или 6-и ККТ  $[\text{Si}_3\text{O}_9]^{6-}$ ,  $[\text{Si}_4\text{O}_{12}]^{8-}$ ).

*Цепочечные силикаты* - непрерывные цепочки из ККТ  $[\text{Si}_2\text{O}_6]^{4-}$  и  $[\text{Si}_3\text{O}_9]^{6-}$  -  $\text{R}_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$ , где  $\text{R} = \text{Mg}, \text{Fe}, \text{Ca}, \text{Li}, \text{Na}$ , прим.  $(\text{Mg}, \text{Fe})_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$  - бронзит.

*Поясные (ленточные)* - силикаты с непрерывными лентами или поясами из ККТ  $[\text{Si}_4\text{O}_{11}]^{6-}$  (тремолит, актинолит, жадеит, роговая обманка).

*Слоистые (листовые)* - силикаты с непрерывными слоями ККТ  $[\text{Si}_2\text{O}_5]^{2-}$  тальк, серпентин, асбест, слюды), минералы глины.

*Каркасные силикаты (алюмосиликаты)* - силикаты с непрерывными трёхмерными каркасами  $[\text{Al}_x\text{Si}_{n-x}\text{O}_{2n}]^-$ ,  $(\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_6])$  альбит,  $\text{Na}_3\text{K}[\text{AlSi}_4\text{O}_{14}]$  нефелин). Разнообразие таких силикатов объясняется тем, что замена 4-валентного Si на 3-валентный Al вызывает появление одной свободной валентности, что приводит к вхождению других катионов (K, Na) (рис. 2).

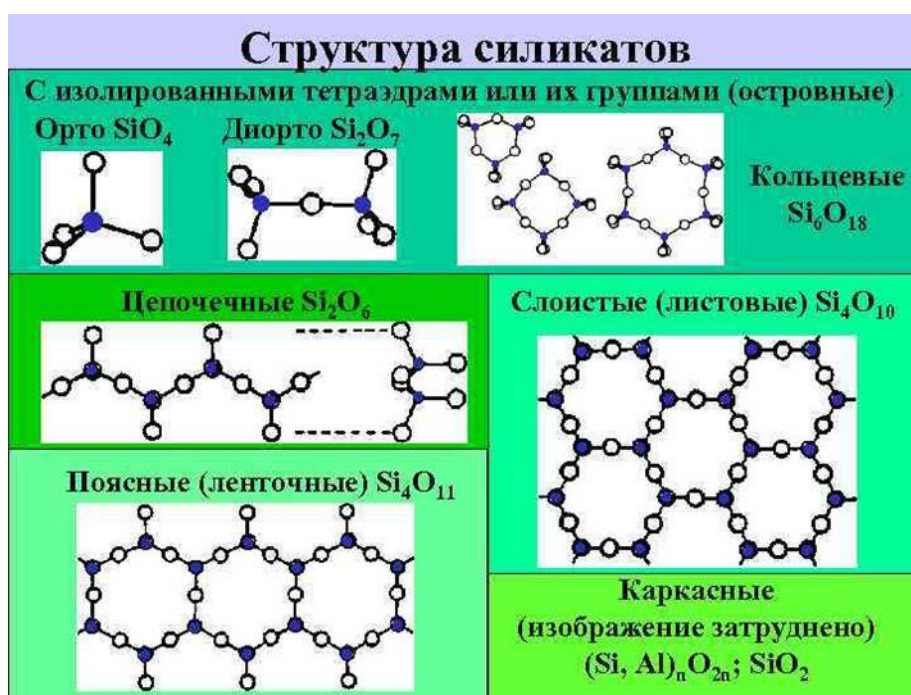


Рис.2. Структура силикатов.

По составу тетраэдрических кремнекислородных радикалов (ККР) различаются *простые и сложные силикаты*. Силикаты с кремнекислородным радикалом  $[\text{SiO}_4]^{4-}$  - *простые*, а в которых вместе с  $[\text{SiO}_4]^{4-}$  присутствуют тетраэдрические группы алюминия, бериллия, титана и т.д. являются *сложными силикатами*.

Общие физико-механические свойства силикатов также определяются, прежде всего, типом ККТ:

- *спайность* (совершенная в цепочечных, слоистых, каркасных и несовершенная в островных, кольцевых силикатах);
- *плотность* около  $2500-3500 \text{ кг/м}^3$ .

- *цвет* силикатов определяется в основном ионами железа ( $\text{Fe}^{2+}$  - зелёный,  $\text{Fe}^{3+}$  - бурый, Мп - розовый, и др.), в отдельных группах - ионами  $\text{Ti}^{3+}$ ,  $\text{V}^{4+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$  и их сочетаниями с ионами железа и др.;

- *твёрдость силикатов* – 5,5-7, за исключение слоистых силикатов, в которых твердость снижается до 2;

Твердость силикатов определяют следующие величины:

1. ионный радиус (обратная зависимость);
2. координационное число (чем выше коорд. число, тем больше твердость), например,  $\text{Al}^{\text{IV}}$  - 6,0;  $\text{Al}^{\text{VI}}$  - 7,5
3. валентность (прямая зависимость);
4. содержание воды;

*Бентониты.* Среди глинистых природных материалов особое место занимают бентонитовые глины т.е. глины, состоящие примерно на 70% из минералов группы монтмориллонита, обладающие высокой адсорбционной и каталитической активностью. Бентонитовые глины были впервые обнаружены в конце 19 века в США, в местности «Бентон» откуда и пошло название бентониты. По составу обменных катионов бентониты можно разбить на:

- щелочные (основным компонентом являются  $\text{Na}^+$ , с высокой степенью набухания);
- щелочноземельные (обменных катионов принадлежат Ca и Mg, с низкой степенью набухания);
- смешанные (содержат щелочные и щелочноземельные компоненты).

Бентониты являются трехкомпонентными системами, состоящие из минерального скелета, воды и воздуха. Минеральные частицы бентонитов занимают около 70% объема, оставшийся объём занимают поры, наполненные водой, и небольшое количество воздуха (2%).

Благодаря своим уникальным свойствам бентонитовые глины находят широкое применение в народном хозяйстве и в промышленности (металлургическая и нефтяная и т.д.). Минералы группы монтмориллонита набухают в присутствии воды, в связи, с чем в размере увеличиваются в разы. Важным свойством минералов этой группы является также способность катионного обмена. [1; 4].

Монтмориллонит (*место Монтмориллон во Франции, 1930г*) – минерал переменного состава, высокодисперсный слоистый силикат, изменяющийся от силиката –  $(\text{Ca}, \text{Na})(\text{Mg}, \text{Fe})_2(\text{OH})_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}] \cdot n\text{H}_2\text{O}$  до алюмосиликата –  $(\text{Na}, \text{Ca})(\text{Al}, \text{Mg})_2(\text{OH})_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}] \cdot n\text{H}_2\text{O}$ .

*Химический состав* монтмориллонита:

- щелочные, где основным компонентом являются катионы натрия, обладающий высокой степенью набухания;
- щелочноземельные –  $(\text{Ca}, \text{Na})(\text{Mg}, \text{Fe})_2(\text{OH})_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}] \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ;
- смешанные –  $(\text{Na}, \text{Ca})(\text{Al}, \text{Mg})_2(\text{OH})_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$

$\text{SiO}_2$  – (33,40%),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – (0,14-29,9%),  $\text{CaO}$  – (0,16-3,5%),  $\text{Na}_2\text{O}$  – (0,11-3,04%),  
 $\text{MgO}$  – (0,23-31,6%),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – (0,03-29,5%),  $\text{FeO}$  – (0,2-0,9%),  $\text{H}_2\text{O}$  – (12,0-26,0%).

*Кристаллическая структура* монтмориллонита содержит два слоя ККТ и расположенный между ними октаэдрический слой, состоящий из катионов Al. Между слоями находятся молекулы воды и обменные катионы щелочных и щелочноземельных металлов, определяющие особенности этой группы минералов.

Алюминий в монтмориллоните может замещаться ионами следующих металлов: железо  $Fe^{8+}$ , хром  $Cr^{8+}$ , кальций  $Ca^{2+}$ , магний  $Mg^{2+}$ , цинк  $Zn^{2+}$  медь  $Cu^{2+}$  и литий  $Li^{2+}$ , и тогда появляются такие разновидности монтмориллонита:

1.  $Fe_2(OH)_2[Si_4O_{10}] \cdot nH_2O$  – ферримонтмориллонит;
2.  $Mg_3(OH)_2[Si_4O_{10}] \cdot nH_2O$  – сапонит;
3.  $(Al, Zn)_2(OH)_2[Si_4O_{10}] \cdot nH_2O$  – цинкмонтмориллонит;
4.  $(Al, Cu)_2(OH)_2[Si_4O_{10}] \cdot nH_2O$  – купромонтмориллонит;
5.  $(Mg, Ca, Cr, Al)_3(OH)_2[Si_4O_{10}] \cdot nH_2O$  – хроммонтмориллонит;
6.  $(Mg, Li)_2(OH)_2[Si_4O_{10}] \cdot nH_2O$  – литиевый монтмориллонит.

Химический состав монтмориллонита непостоянный, сильно зависит от переменчивого содержания воды. Специфично большое расстояние между слоями, что и приводит к сильному набуханию монтмориллонита за счёт попадания воды в пустоты между слоями.

*Физические свойства монтмориллонита:* цвет - белый с сероватым, буроватым и красноватым оттенками; твердость – 1,5–2,5, плотность – 2,2–2,9. [1; 3].

Для того чтобы понять роль и значение силикатов в жизни человека, достаточно вспомнить строение земного шара. Все слои земного шара (литосфера, базальтовая, гранитная, симатическая и промежуточная оболочки), образованы силикатами. Есть гипотеза, что и ядро имеет силикатный состав и от поверхности земли к ее центру увеличивается содержание кремнезема.

Учитывая широкое применение силикатов в народном хозяйстве и в промышленности (металлургическая и нефтяная и т.д.), важнейшее значение в производстве строительных материалов, важно учитывать зависимость вышеуказанных свойств силикатов от особенностей их строения, чаще от типа кремнекислородного тетраэдра.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Аларханова З.З., Мурадов М.Т. Наномодификаторы - слоистые силикаты. // Сборник научных трудов КНИИ РАН. М.: 2009. С. 63-65.
2. Баженов Ю.М., Батаев Д.К.-С., Муртазаев С.-А., Мажиев Х.Н., Аларханова З.З., Хасбулатова З.С., Гойтемиров Р.У., Батаева П.Д. Пути улучшения свойств высокопрочных строительных полимеркомпозитов. // III Международный симпозиум «Инженерные науки и науки о Земле: прикладные и фундаментальные исследования», посвященный 75-летию профессора Абдул-Хамида Махмудовича Бислиева. Грозный, 28-29 февраля 2020 года.
3. Монтмориллонит // Каталог Минералов.ru URL: <https://catalogmineralov.ru/mineral/montmorillonite.html> (дата обращения: 02.02.2020).

4. Шульц М.М. Силикаты в природе и практике человека. // Соросовский образовательный журнал. 1997. № 6. С. 45-51.
5. Stroy-Invest52.ru URL: <https://stroy-invest52.ru/beton/deopolimernyi-beton.html> (дата обращения: 02.02.2020).

#### REFERENCES

1. Alarkhanova Z.Z., Muradov M.T. Nanomodifiers are layered silicates. // Collection of scientific works of the KNII RAS. M.: 2009. Pp. 63-65.
2. Bazhenov Yu.M., Bataev D.K-S., Murtazaev S.-A., Mazhiev Kh.N., Alarkhanova Z.Z., Khasbulatova Z.S., Goytemirov R.U., Bataeva P.D. ... Ways to improve the properties of high-strength building polymer composites. // III International Symposium "Engineering and Geosciences: Applied and Fundamental Research" dedicated to the 75th anniversary of Professor Abdul-Khamid Makhmudovich Bisliev. Grozny, February 28-29, 2020.
3. Montmorillonite // Catalog of Minerals.ru URL: <https://catalogmineralov.ru/mineral/montmorillonite.html> (accessed: 02.02.2020).
4. Schultz M.M. Silicates in nature and human practice. // Soros educational journal. 1997. № 6. Pp. 45-51.
5. Stroy-Invest52.ru URL: <https://stroy-invest52.ru/beton/deopolimernyi-beton.html> (accessed: 02.02.2020).