УДК 549.6:548.73

ИЕРАРХИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ СТРУКТУР Ca- И TR-ТРИОРТОСИЛИКАТОВ И ИХ ПРОИЗВОДНЫХ

♦♦♦♦♦

HIERARCHICAL CLASSIFICATION OF CA- AND TRI-ORTHOSILICATE STRUCTURES AND THEIR DERIVATIVES

Ширинова А.Ф. кызы
кандидат геолого-минералогических наук,
доцент,
Бакинский государственный университет

Аннотация. Принимая во внимание известные работы М.И. Чирагова (6) и F.C. Hawthorne (11, 12, 13) о структурной классификациии минералов, рассматриваются структуры Ca- и TR триортосиликатов и их производные. С учетом симметрии триортосиликатов и формы полимеризации тетраэдров с Ca- и TR октаэдрами, выделены родоначальные структурные миналы – кластеры четырех типов с химическими составами $\left|M(Si_3O_{10})(H_2O)_3\right|$, $\left|M(Si_3O_{10})_2\right|$, $\left|M(Si_3O_{10})(H_2O)_4\right|$ и $\left|M(Si_3O_{10})_2(H_2O)_2\right|$. В зависимости от формы полимеризации строительных блоков – кластеров, представлен механизм формирования различных структурных типов Ca- и TR триортосиликатов и их производных.

Ключевые слова: Ca- и TR триортосиликаты, кластеры, структурные единицы, структурные блоки, формирование структур.

Shirinova A.F. qizi
Candidate of Geological
and Mineralogical Sciences,
Associate Professor,
Baku State University

Annotation. This abstract considers the Ca- and TR- structures of tri- orthosilicates and their derivatives taking into account the well-known works of M.I. Chiragov (6) and F.C. Hawthorne (11, 12, 13) on structural classification of minerals. Taking into account the symmetry of triorthosilicates and the form of polymerization of tetrahedra with Ca- and TR-octahedra, the parent structural minals – clusters of four types with chemical compositions are outlined: $|M(Si_3O_{10})(H_20)_3|$, $|M(Si3O10)2|$, $|M(Si_3O_{10})(H_20)_4|$ and $|M(Si_3O10)_2(H_20)_2|$. Depending on the form of polymerization of building blocks – clusters, the mechanism of formation of various structural types of Ca- and TR tri-orthosilicates and their derivatives is presented.

Keywords: Ca and TR tri-orthosilicates, clusters, structural units, structural blocks, formation of structures.

В силу известной аналогии между химическими особенностями кальция и редкоземельными катионами большой теоретический и практический интерес представляет сравнительная кристаллохимия их силикатов. Вывод при каких химических ситуациях усиливаются, а при каких они затушевываются, важен для решения многих вопросов геологических наук. Принимая во внимание известные работы М.И. Чирагова (6) и Hawthorne F.C. (11, 12, 13) о структурной классификациии минералов, рассматриваются структуры Ca- и TR-триортосиликатов и их производные.

Впервые в работе (18), учитывая первичную полимеризацию полиэдра металлического катиона с тетраэдрическим радикалом, выделены родоночальные структурные миналы (11) и рассмотрены кристаллохимические особенности превращения двугидрата сульфида кальция – гипс $CaSO_4{\cdot}2H_2O$ в полуводный гипс – $CaSO_4{\cdot}0.5H_2O$, где в качестве кластера выделены Ca-полиэдры (где к.ч. Ca ≥ 7), обобщенные с ребрами $\left|SO_4\right|$ 2-тетраэдра, с составом – $\left|CaSO_4(H_2O)_n\right|$. С учетом формы и состава конфигурации кластеров изучено превращение гипса в полуводный гипс и обосновано появление вяжущих свойств у последнего. Из кластеров с составами – $\left|CaSiO_4 \cdot (H_2O)_n\right|$ и $\left|TRSiO_4 \cdot (H_2O)_n\right|$ формируются структуры Ca- и TR-орто- и диортосиликатов (9). Выявлено, что из разных кластеров формируются структуры с одинаковыми кремнекислородными радикалами (Si_8O_{19}) типов дельхайелита и макдональдита (6).

Цель настоящей работы – продемонстрировать идеи Hawthorne F.C. (12) по структурной классификации с учетом строения ряда Ca- и TR-триортосиликатов и их производных, где выделяются триортогруппы трех типов с симметрией m, 2, 1. В структурах Ca – триортосиликатов с симметрией 2, впервые установлены полисоматические серии структур, для каждого члена определены химический состав, параметры ячейки и симметрия (8). Выявлено, при каких кристаллохимических ситуациях образуются ромбическая, а при каких моноклинная форма полисоматической серии.

Кластеры. В структурах Ca- и TR-триортосиликатов и их производных выделены наиболее стабильные кластеры четырех типов, в которых сохраняется плоскость зеркального отражения – m. Кластеры в двух проекциях представлены на рисунке 1A, B, C, D.

В кластере первого типа (рис. 1A) каждый тетраэдр триортогруппы, расположенной в цис-конфигурации, с октаэдром обобщается одной вершиной и имеет состав – $\left|M(Si_3O_{10})(H_2O)_3\right|$. Во втором типе (рис. 1B) две триортогруппы Si_3O_{10}, находятся в транс-конфигурации относительно октаэдра и одна из вершин каждого тетраэдра обобщается с одной вершиной октаэдра, образуя кластер с составом – $\left|M(Si_3O_{10})_2\right|$. В третьем типе (рис. 1C) в одной триортогруппе в цис-положении только боковые тетраэдры обобщаются с вершинами октаэдра и создают кластер с составом $\left|M(Si_3O_{10})(H_2O)_4\right|$. В четвертом типе (рис. 1D) две триортогруппы, расположенные в транс-конфигурации относительно октаэдра, только вершинами боковых тетраэдров обобщаются с вершинами октаэдра, образуя кластер с составом – $\left|M(Si_3O_{10})_2(H_2O)_2\right|$.

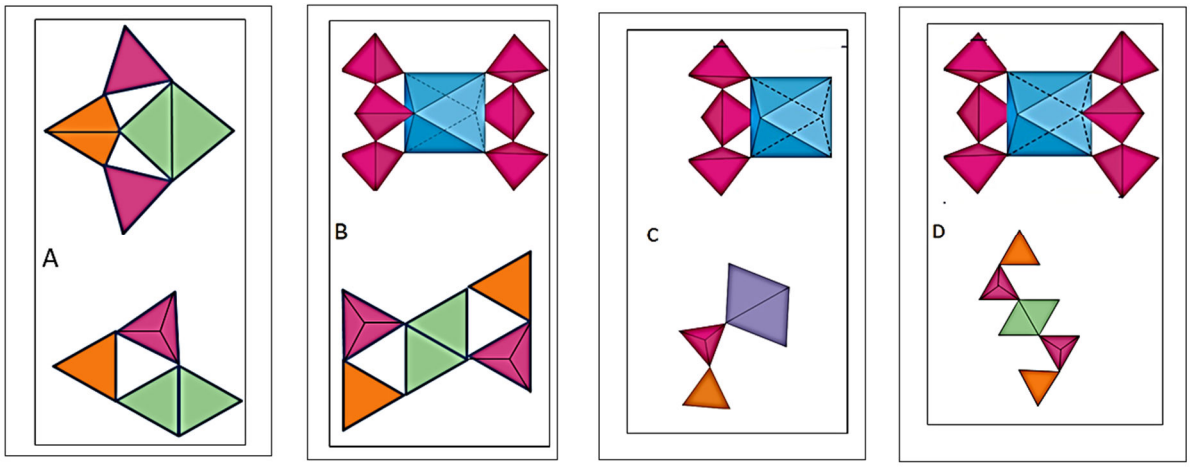


Рисунок 1 – A, B, C, D, родоначальные структурные миналы – кластеры характерные для структур Ca- и TR-триортосиликатов и их производных

В зависимости от формы полимеризации кластеров формируются разные структурные типы Ca- и TR-триортосиликатов и их производные.

Из кластера первого типа (рис. 1A) формируются структуры K, Ho-гидросиликата, K, Ho-силиката, волластонита, фошагита и т.д. (табл. 1).

Основные мотивы структуры гольмосиликата (4) представлены на рисунке 2a, б в двух проекциях, по которым четко видно, что гетерогенный гольмокремнекислородный слой формируется из кластера типа A (рис. 2a), с составом – $\left|HoSi_3O_8(OH)_2\right|$ и с симметрией – m. Между эквивалентными слоями расстояния OH – O = 2.90Å (рис. 2в) однозначно определяют, что между ними существуют водородные связи. Атомы калия располагаются в пустотах слоя и между слоями. При 580–650 °C гидроокисные группы превращаются в кислородные ($OH^- \rightarrow O^{2-}$) и в результате гольмокремнекислородный слой полимеризуется и триортогруппы превращаются в волластонитовую цепочку с формированием гетерогенного каркаса с составом – $K_3HoSi_3O_9$ (7).

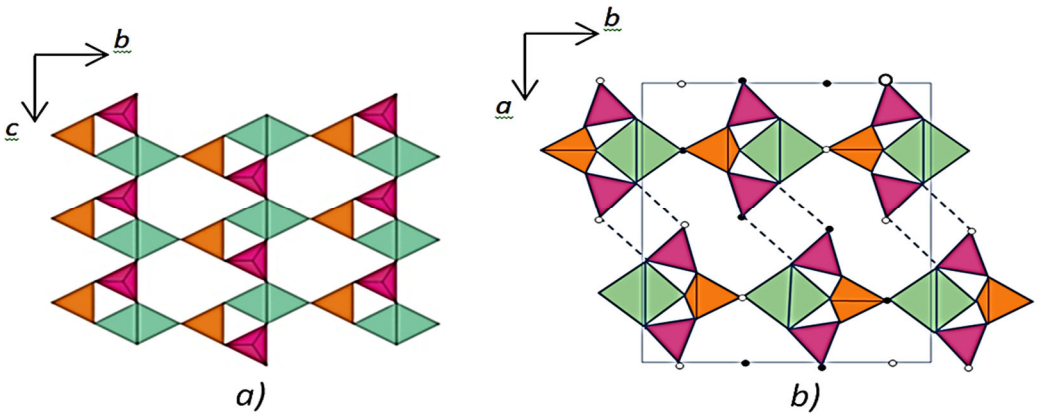


Рисунок 2 – a, b – Кристаллические структуры K-гольмосиликата, сформированные из кластеров типа A (в двух проекциях)

В результате полимеризации со смешением на ½b двух разноориентированных кластеров типа А (рис. 3а), образуются октаэдрические колонки атомов кальция, а триортогруппы превращаются в волластонитовые цепочки. Так формируется структурная единица (рис. 3а, б), из которой образуется структурный блок с симметрией – m (рис. 3с). Присутствие в описанном мотиве плоскости зеркального отражения, перпендикулярной параметру b, согласуется с данными, представленными в работе (16), в которой указано на частичное присутствие в структуре волластонита плоскости зеркального отражения, связывающей часть атомов структуры. Понижение симметрии структуры волластонита связано с распределением атомов кальция между гетерогенными блоками. Из волластонитовых блоков формируется гипотетическая структура с химическим составом $K_4Na_4Ca_8|Ca_8(Si_{12}O_{30})_2|\ (OH)_{16}$ и канаситовым радикалом ($Si_{12}O_{30}$) (8). Структурный тип волластонита кристаллохимически мало вероятен для структур TR-силикатов.

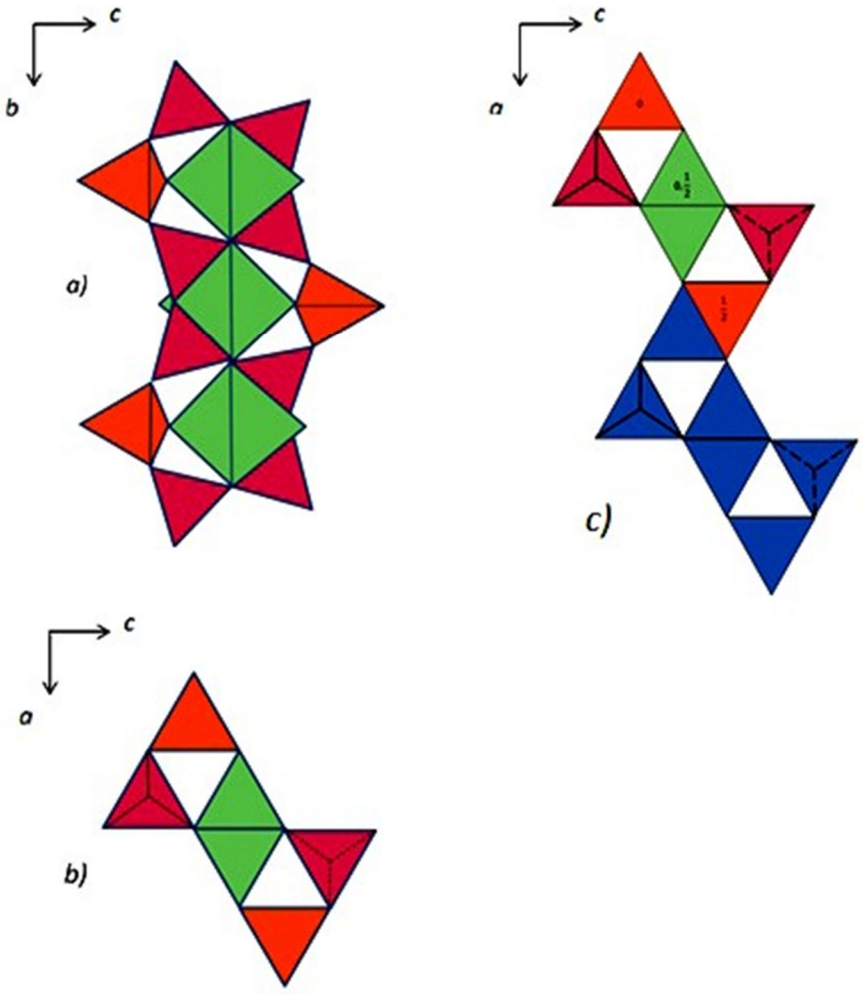


Рисунок 3 – Структурная единица волластонита в двух проекциях (a, b).
Структурный блок волластонита (c), сформированный из кластера типа А

Из кластера типа А (рис. 1А) формируются и структура фошагита (таблица), где разноориентированные кластеры со смещением на ¼в, так полимеризуются, что триортогруппы превращаются в волластонитовую цепочку, а октаэдры разноориентированных кластеров создают двойные колонки с пустыми Е-положениями. В результате образуется структурная единица, с составом – $Ca_2ECa_2(Si_3O_9)_2(OH)_4$ (рис. 4а). Эквивалентные структурные единицы, обобщаясь свободными вершинами октаэдров и тетраэдров, создают структурный блок (рис. 4а), с симметрией – m. Последний цементируясь дополнительными атомами кальция формирует структуру фошагита (рис. 4с) с понижением симметрии, с кристаллохимической формулой $Ca_4\left|Ca_2^{E}\right.$ $Ca_2(Si_3O9)_2(OH)_4\left|\right.$.

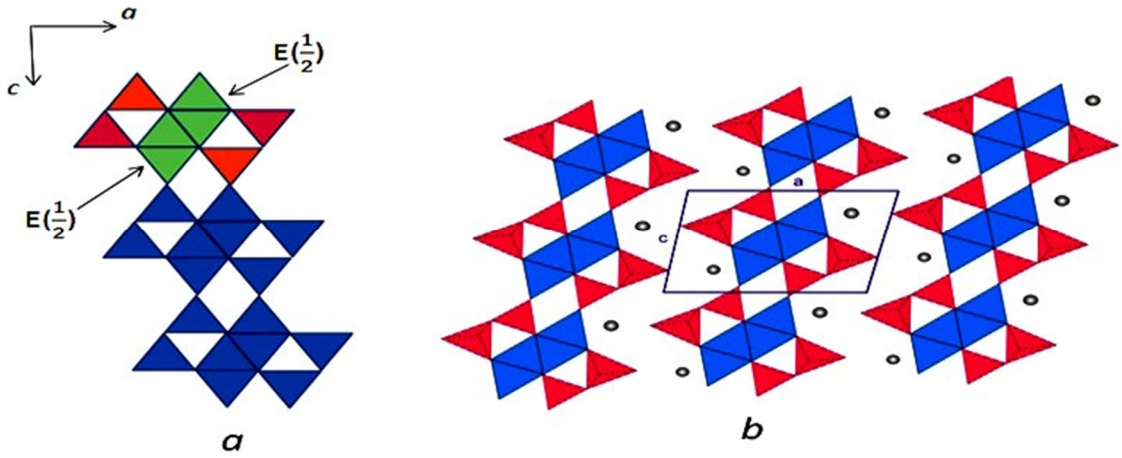


Рисунок 4 – Структурный блок (a) и (c), структура фошагита (b), сформированная из кластеров типа A

Кристаллохимически вероятны TR-формы фошагита с химическим составом – $Ca_4Na_2TR2(Si_3O_9)_2(OH)_4$. Также вероятна полимеризация структурных блоков типа фошагита с превращением волластонитовых цепочек в окенитовые ленты (Si_6O_{16}) и формированием гипотетической структуры (рис. 5a) с составом – $Ca_4Ca_2(Si_6O_{16})_2$ (рис. 4c). А в результате полимеризации структурных блоков фошагита (рис. 5b) формируется новоя гипотетическая структура с составом – $Ca_4 \left| Ca_8(Si_6O_{16})_2\ (OH)_4 \right|$.

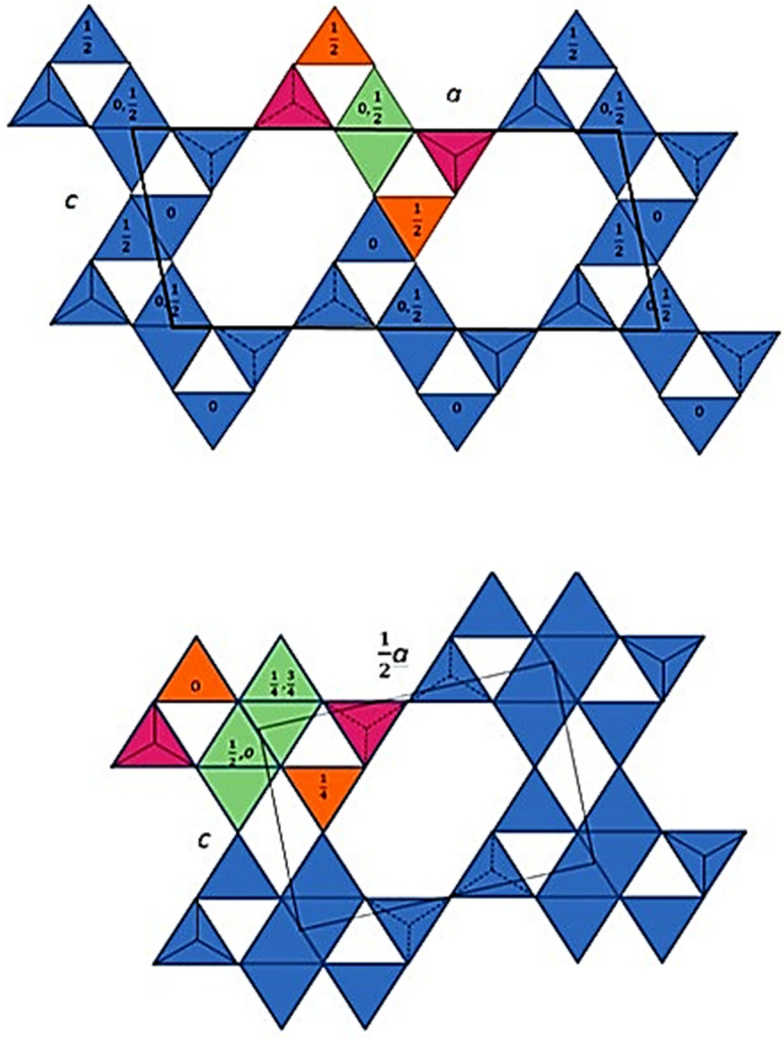


Рисунок 5 – Гипотетические структуры из блоков волластонита (a) и фошагита (b)

Из кластеров типа В (рис. 1В) образуется структурная единица, где триортогруппы превращаются в волластонитовую цепочку, а между эквивалентными октаэдрами образуется октаэдрическая вакансия – Е-положения. В структурах кальциевых силикатов в Е-положении располагается атом кальция, в TR-силикатах атом натрия, так происходит гетеровалентное замещение типа $2Ca^{2+} \leftrightarrow Na^{+}TR^{3+}$. Из описанной структурной единицы формируется структура бустамита (1), макдональдита (3) и монтереджианита (10).

В структуре бустамита в кластере располагается октаэдр марганца, а в Е-положении статистически распределяются атомы кальция и марганца. Эквивалентные структурные единицы, связываясь со свободными вершинами тетраэдра и октаэдра соседней структурной единицы, образуют бустамитовый блок (рис. 6) с составом $\left|Ca_2EMn_2(Si_3O_9)_2(OH)_4\right|$. Между этими блоками распределяются атомы марганца и кальция, следовательно кристаллохимическая формула имеет вид: $(Ca, Mn)_8\left|(Ca, Mn)_2{}^{E}Mn_2(Si_3O_9)_4\right|$. Кристаллохимически вероятна TR-форма бустамита, с составом – $Ca_8\left|Na_2TR_2(Si_3O_9)_4\right|$.

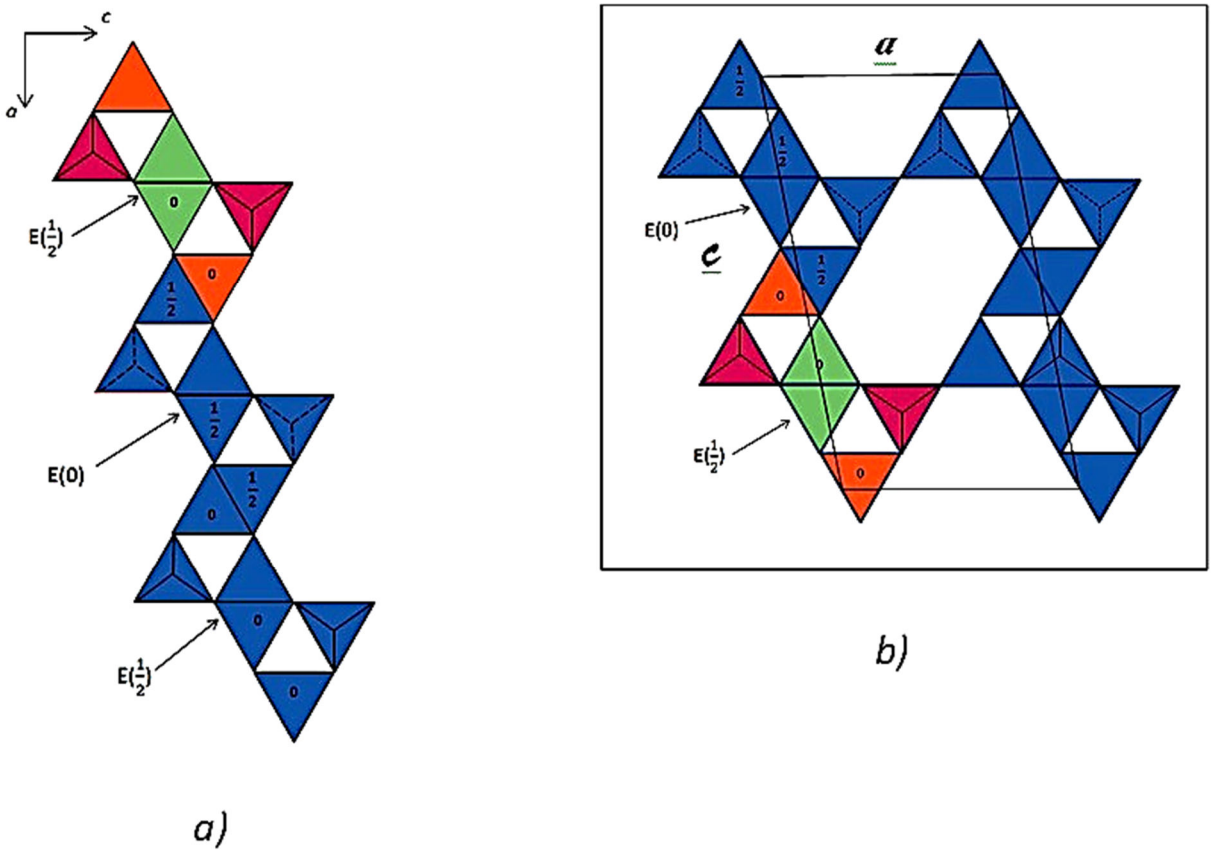


Рисунок 6 – Структурный блок бустамита (а)
и гипотетическая структура из блоков бустамита (b)

В результате полимеризации бустамитовых блоков волластонитовая цепочка превращается окенитовую ленту (Si_6O_{16}) и образуется смешанный каркас с Е-положениями, в которых располагаются дополнительные атомы кальция (рис. 6б). Кристаллохимическая формула описываемой гипотетической структуры $Ca_6\left|Ca_4(Si_6O_{16})_2\right|(OH)_4$.

Кристаллохимический механизм формирования структуры макдональдита в двух проекциях представлен на (рис. 7a, b), где из кластеров типа В (I) формируется структурная единица с составом – $M(Si_3O_9)_2$ (II). Тетраэдры триортогруппы связываются с дополнительным тетраэдром и образуют структурные блок с составом – $M\left|Si_4O_9(OH)\right|_2$(III). Энантиоморфные структурные блоки повторяясь на 0 и ½b и связываясь свободными вершинами тетраэдров, формируют смешанный каркас структуры типа макдональдита (IV). В шестичленных каналах располагаются атомы натрия, а в

восьмичленных атомы Ba и молекулы воды. Появление псевдопериода (таблица) в структуре связано с распределением атомов Ba и молекул H_2O в пустотах гетерогенного каркаса.

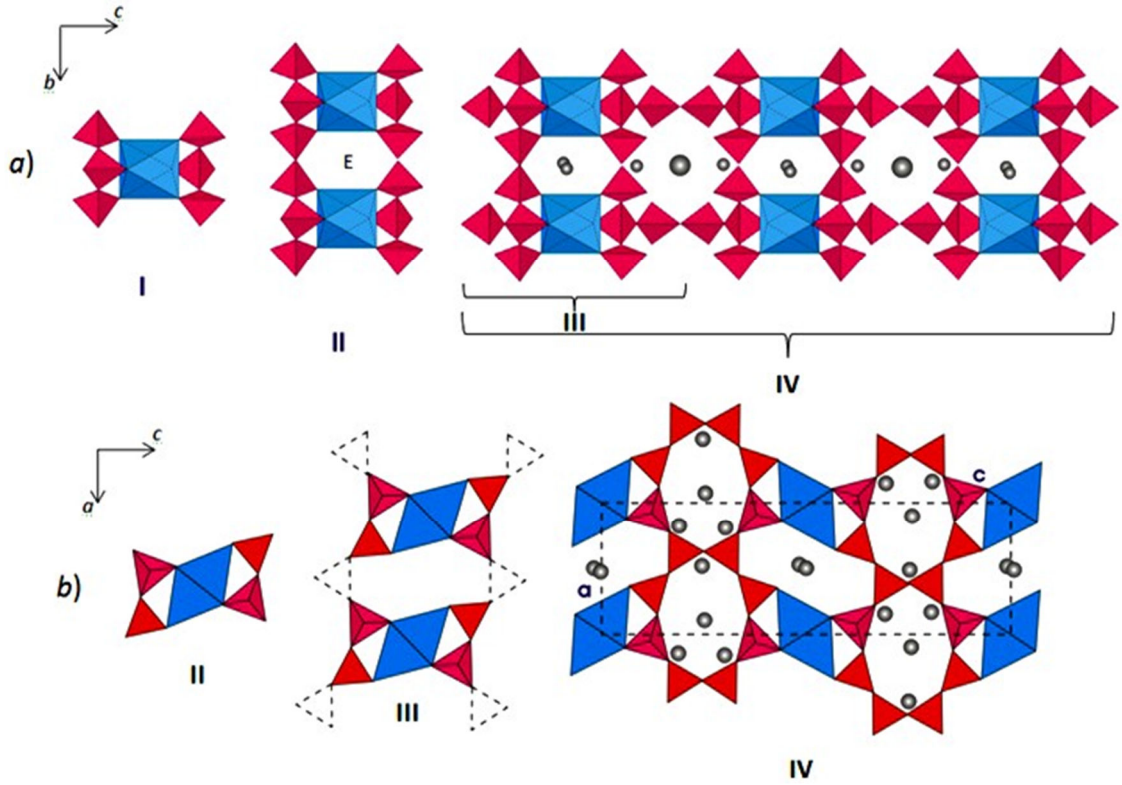


Рисунок 7 – Формирование структуры макдональдита в двух проекциях (из кластера типа B (a, b)

Если в структуре макдональдита происходит гетеровалентное замещение типов: $Ba^{2+} \rightarrow 2K^{+}$, $2H^{+} \rightarrow 2Na^{+}$, $2Ca^{2+} \rightarrow Na^{+}Y^{3+}$ или $4Ca^{2+} \rightarrow 2Na^{+}2Y^{3+}$, то минерал макдональдит превращается в монтереджианит (его идеализированная структура представлена на рис. 8а).

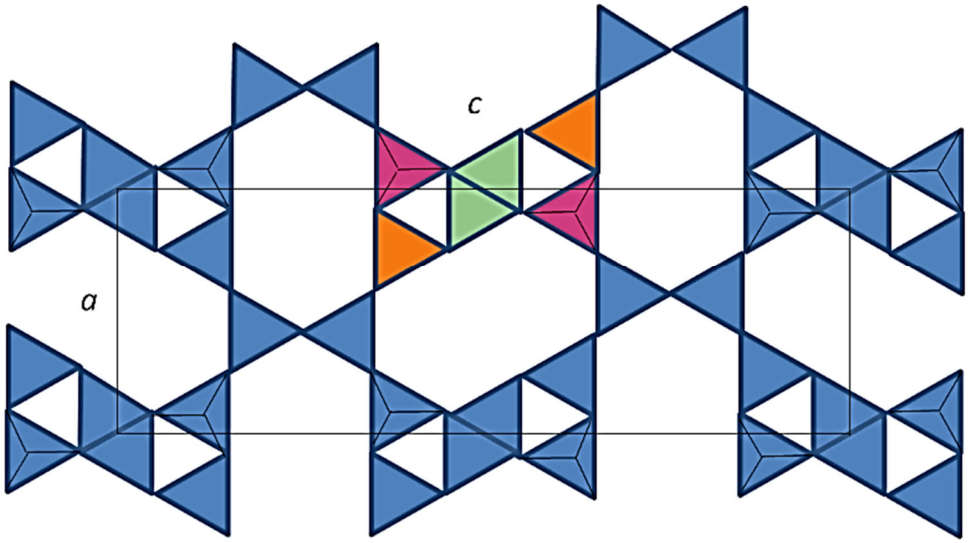


Рисунок 8 – Идеализированная структура монтереджианита из бустамитового блока

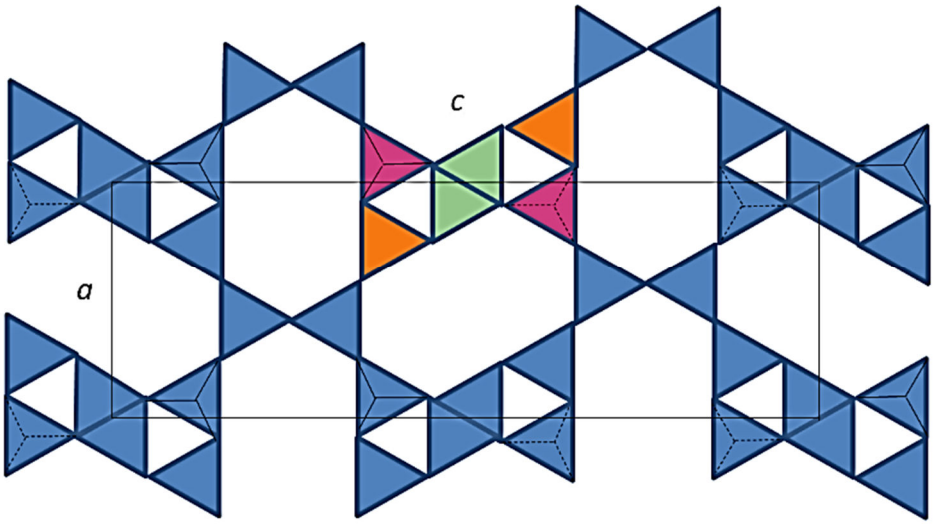


Рисунок 9 – Гипотетическая структура из волластонитового блока

Из кластеров типа С (рис. 1С) формируются структуры минералов группы дельхайелита. Схема последовательности образования структуры типа дельхайелита представлена в двух проекциях на рисунке 10а, б. В результате полимеризации двух разноориентированных кластеров – (I) (рис. 10а, б) образуется структурная единица (II), где Са – октаэдры превращаются в колонки, а триортогруппы в волластонитовую цепочку. Последняя, связываясь с дополнительным тетраэдром, создает структурный блок – (III) (рис. 10), с составом – $\left|Ca_2(OH)_2Si_4O_9(OH)\right|$. Энантиоморфные структурные блоки, связываясь со свободными вершинами тетраэдров, создают структуру типа дельхайелита (IV), а в пустотах которой распределяются атомы натрия и калия. Подобный структурный тип имеют гидродельхайелит (5) и родезит (15).

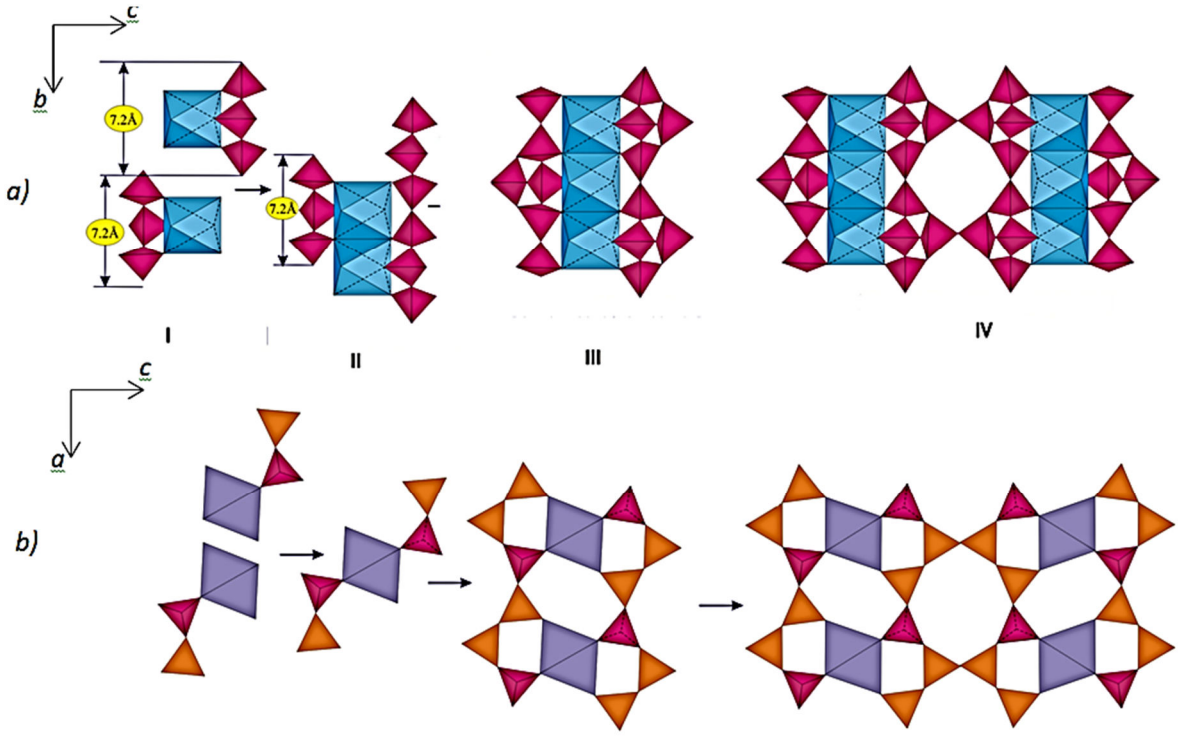


Рисунок 10 – Формирование структуры дельхаелита в двух проекциях из кластера типа С (a, b)

Из кластеров типа Д (рис. Д) при их полимеризации с вершинами боковых тетраэдров, триортогруппы превращаются в волластонитовую цепочку. Между октаэдрами структурной единицы в Е-положении располагаются атомы Са другого типа. В свя-

занной параметром с структурной единице центральный тетраэдр триортогруппы одной вершиной обобщается со свободной вершиной октаэдра соседней октаэдрической колонки, а с другой связывается с соответствующей вершиной тетраэдра соседней цепочки. В результате волластонитовые цепочки превращаются в ксонотлитовую ленту и создают гетерогенный структурный блок с составом $\left| Ca^{E}Ca(Si_6O_{17})(OH)_2 \right|$. Тригональные призмы атомов кальция цементируют эквивалентные структурные блоки с формированием структуры типа ксонотлита (рис. 11) с кристаллохимический формулой: $Ca_4 \left| Ca^{E}Ca(Si_6O_{17})(OH)_2 \right.$ (14).

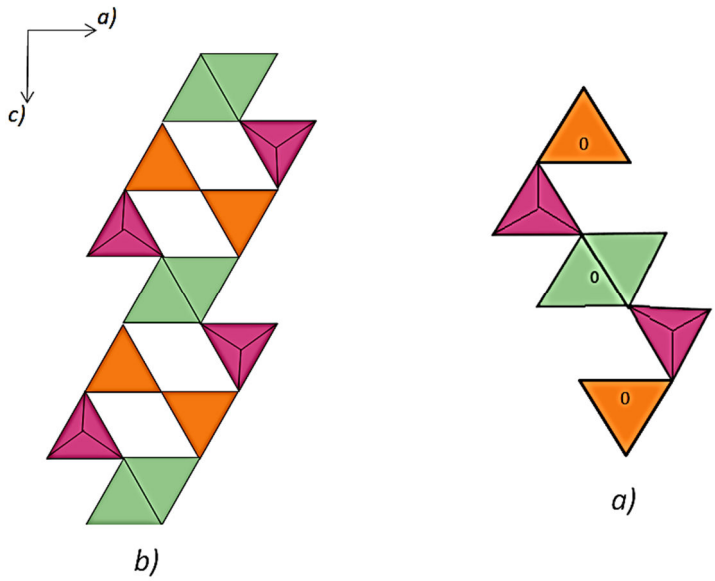
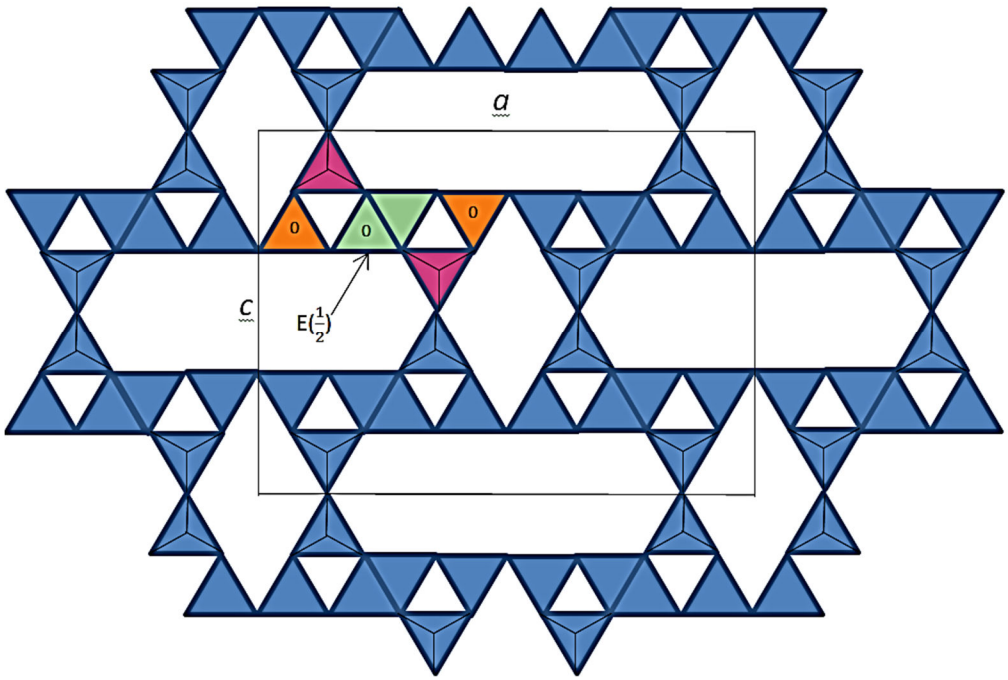


Рисунок 11 – Кластер типа D в структуре ксонотлита (a), структурный блок ксонотлита (b)

Структуры сажинита и Na, Nd–силиката формируются из структурных блоков типа ксонотлита (9). В результате полимеризации двух энантиоморфных ксонотлитовых блоков, ленты Si_6O_{17} превращаются в гофрированную тетраэдричекую сетку с составом – Si_6O_{15}. Структура сажинита состоит из двух (2), а Na, Nd-силиката из четырех ксонотлитовых блоков. В пустотах гетерогенного каркаса располагаются атомы Na и молекулы воды.



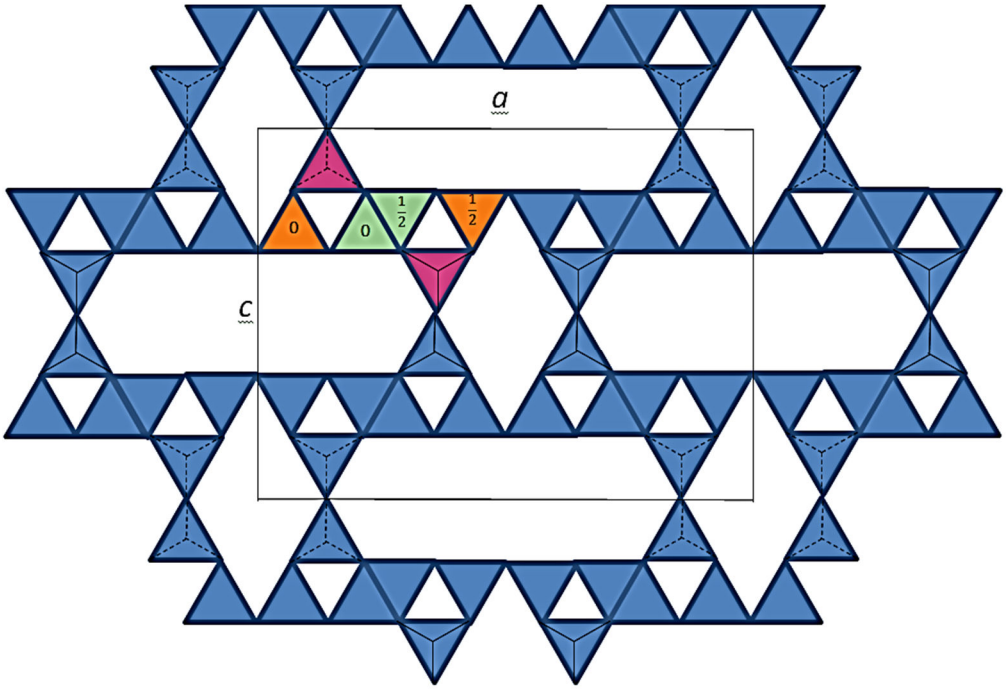


Рисунок 12 – Гипотетические структуры из бустамитового(а)
и из волластонитового блоков, с канаситовым Si-O радикалами Si12O30

Описанная структурная иерархия отражается в условиях образования минералов группы дельхайелита и макдональдита. Образование дельхайелита связано с высокотемпературной стадией пегматитообразования, на этапе поступления метаморфизующих растворов богатых калием. В парагенезисе с дельхайелитом, постоянно находятся фенаксит, канасит, вадеит и т.д. Гидродельхайелит является продуктом гипергенезиса и гидротермального изменения дельхайелита (5). В этих условиях происходит вынос натрия, частично калия и всего фтора и хлора.

Структурный тип макдональдита связан с низкотемпературной стадией пегматитообразования или с поздней гидротермальной стадией минералообразования. Однако, во всех случаях, среда должна быть сильнощелочной и богатой кальцием (для структурного типа макдональдита) или редкоземельными катионами (для структуры монтереджианита). Эти структурные особенности являются апробированными индикаторами для определения процессов минералообразования.

Таблица 1 – Кристаллоструктурные параметры триортосиликатов и их производные

№	Названия минерала и химич. состав	a (Å) α	b (Å) β	c (Å) γ	Пр. группы	z	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	$K_3HoSi_3O_8(OH)_2$	5.385	13.552	13.198	Pcmn	4	A
2	$K_3HoSi_3O_8$	14.05	13.60	5.90	Pm21n	4	
3	Волластонит $Ca_3Si_3O_9$	7.88 90^0	7.27 95.16^0	7.07 103.27^0	P1-	2	
4	Фошагит $Ca_4[Si_3O_9](OH)_2$	10.32 90^0	7.36 106.4^0	7.04 90^0	P1-	2	
5	Бустамит $Mn_{0.67}\ Ca_{0.33}SiO_3$	7.605 89.95^0	7.102 94.39^0	13.568 102.53^0	P1-	12	B
6	Макдональдит $BaH_2(Ca_4Si_{16}O_{38}) \cdot 10H_2O$	14.081	13.109	23.560	Cmcm	4	
7	Монтереджианит $Na_4K_2(Y, Ce)_2Si_{16}O_{38}\ 8{,}3H_2O$	9.512	23.956 93.8^0	9.617	P21/n	4	
8	Дельхайелит $K_7Na_3Ca_5Al_2Si_{14}O_{38}F_4Cl_2$	24.86	7.070	6.53	Pmmn	1	C
9	Гидродельхайелит $(Ba, K)_{0.76}\ Ca_2AlSi_7O_{17}(OH)_2x6H_2O$	23.9532	7.032	6.605	Pmmn	2	
10	Родезит $HKCa_2Si_8O_{19}\ *5H_2O$	23.428	6.557	7.063	Pmam	2	

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8
11	Ксонотлит $Ca_6Si_6O_{17}(OH)_2$	16.530	7.330 90^0	7.040	P2/a	2	D
12	Сажинит – (Ce) $Na_2Ce[Si_6O_{14}(OH)_2]^* H_2O$	7.5	15.02	7.35	Pmm2	2	
13	Силикат – Na, Nd $Na_2Nd[Si_6O_{14}(OH)_2]\ xH_2O$	30.87	7.387	7.120	Cmm2	4	

Литература

1. Iron-rich bustamite from Broken Hill, Australia: The crystal structure and cation-ordering features. Crystall. Reports / S.M. Aksenov, N.V. Shipalkina, R.K. Rastsvetaeva, V.S. Rusakov, I.V. Pekov, N.V. Chukanov, V.O. Yapaskurt. – 2015. – № 60. – P. 340–345.
2. Sazhinite-(La), $Na_3LaSi_6O_{15}(H_2O)_2$, a new mineral from the Aris phonolite, Namibia: Description and crystal structure. Mineral. Mag / F. Camara, L. Ottolini, B. Devouard, L.A.J. Garvie, F.C. Hawthorne. – 2006. – № 70. – P. 405–418.
3. Cannillo E. The crystal structure of macdonaldite. Atti Accad. Naz. Lincei / E. Cannillo, G. Rossi, Z. Ungaretti. – 1968. – № 45. – P. 399–414.
4. Чирагов М.И. Кристаллическая структура синтетического триортосиликата $K_3H_2HoSi_3O_{10}$ / М.И. Чирагов, К.Г. Рагимов, Х.С. Мамедов // Ученые записки. Сер. Геол. наук. – 1979. – № 4. – С. 8–15.
5. Кристаллическая структура гидродельхайелита $KH_2Ca_2(Si, Al)_8O_{19} \times 6H_2O$ / М.И. Чирагов, К.Г. Рагимов, Х.С. Мамедов, М.Д. Дорфман // Докл. Акад. Наук АзССР. – 1980. – Т. 36. – № 12. – С. 49–51.
6. Чирагов М.И. и Дорфман М.Д. Кристаллохимия минералов группы дельхайелита. Докл. Акад. Наук СССР. – 1981. – № 260. – С. 458–461.
7. Chiragov M.I. Crystal-chemical features of the thermal conversion of $K_3HoSi_3O_8(OH)_2$ / M.I. Chiragov, K.G. Ragimov // Materials of the All-Union Conference on the Crystal Chemistry of Inorganic and Coordination Compounds. – Bukhara, 1986. – P. 129.
8. Чирагов М.И. Полисоматизм и структурные модели Ca-силикатов / М.И. Чирагов, Д.Ю. Пущаровский // Кристаллография. – 1991. – Т. 36. – № 5. – С. 1200–1206.
9. Чирагов М.И. Сравнительная кристаллохимия Ca и TR силикатов. – Баку, 2002. – 360 с.
10. Ghose S. Symmetry and crystal structure of monteregianite, Na4K2Y2Si16O33'10H20, adoublesheet silicate with zeolitic properties. Amer. Mineral. – 1987. – P. 365–374.
11. Hawthorne F.C. Graphical enumeration of polyhedral clusters. Acta Cryst. A39. – 1983. – P. 724–736.
12. Hawthorne F.C. Towards a structural classification of minerals The VIMIVT2On minerals. Amer. Mineral. – 1985. – № 70. – P. 455–473.
13. Hawthorne F.C. Stuctural hierarchy in VIMxIIITyΦz minerals. Canad. Mineral. – 1986. – Vol. 24. – P. 625–642.
14. Hejny C. Polytypism in xonotlite Ca6Si6O17(OH)2. Z. Kristallogr / C. Hejny, T. Armbruster. – 2001. – Vol. 216. – P. 396–408.
15. Hesse K.F. Crystal structure of rhodesite. Z. Kristallogr. – 1992. – № 199. – P. 25–48.
16. The existence of partial mirrors in wollastonite, Proc. Jpn. Acad. / T. Ito, R. Sadanada, Y. Takeuchi, M. Tokonami. – 1969. – № 45. – P. 913–918.
17. Ширинова А.Ф. Сравнительная кристаллохимия смешанных структур силикатов. – Баку, 2018. – 242 с.
18. Teymurov Q.S. Crystal-chemical features of the conversion of calcium sulfate dihydrate to semiaquatic gypsum / Q.S. Teymurov, M.I. Chiragov // Inorganic Materials. News Academy of Sciences SSSR. – 1979. – Vol. 15. – № 8. – P. 1489–1491.

References

1. Iron-rich bustamite from Broken Hill, Australia: The crystal structure and cation-ordering features. Crystall. Reports / S.M. Aksenov, N.V. Shipalkina, R.K. Rastsvetaeva, V.S. Rusakov, I.V. Pekov, N.V. Chukanov, V.O. Yapaskurt. – 2015. – № 60. – P. 340–345.
2. Sazhinite-(La), $Na_3LaSi_6O_{15}(H_2O)_2$, a new mineral from the Aris phonolite, Namibia: Description and crystal structure. Mineral. Mag / F. Camara, L. Ottolini, B. Devouard, L.A.J. Garvie, F.C. Hawthorne. – 2006. – № 70. – P. 405–418.
3. Cannillo E. The crystal structure of macdonaldite. Atti Accad. Naz. Lincei / E. Cannillo, G. Rossi, Z. Ungaretti. – 1968. – № 45. – P. 399–414.

4. Chiragov M.I. Crystal structure of synthetic triortosilicate K3H2HoSi3O10 / M.I. Chiragov, K.G. Rahimov, H.S. Mammadov // Scientific notes. Ser. Geol. nauk. – 1979. – № 4. – P. 8–15.
5. Crystal structure of hydrodelhayelite KH2Ca2(Si, Al)8O19·6H2O, Dokl. Acad. Sciences of the AzSSR / M.I. Chiragov, K.G. Rahimov, H.S. Mammadov, M.D.Dorfman. – 1980. – Vol. 36. – № 12. – P. 49–51.
6. Chiragov M.I. Crystal chemistry of minerals of the delhayelite group. Dokl. Acad. Sciences of the USSR / M.I. Chiragov, M.D. Dorfman. – 1981. – № 260. – P. 458–461.
7. Chiragov M.I. Crystal-chemical features of the thermal conversion of $K_3HoSi_3O_8(OH)_2$ / M.I. Chiragov, K.G. Ragimov // Materials of the All-Union Conference on the Crystal Chemistry of Inorganic and Coordination Compounds. – Bukhara, 1986. – P. 129.
8. Chiragov M.I. Polysomatism and structural models of Ca-silicates / M.I. Chiragov, D.Yu. Pushcharovsky // Crystallography. – 1991. – Vol. 36. – № 5. – P. 1200–1206.
9. Chiragov M.I. Comparative crystal chemistry of Ca and TR silicates. – Baku, 2002. – 360 p.
10. Ghose S. Symmetry and crystal structure of monteregianite, Na4K2Y2Si16O33'10H20, adoublesheet silicate with zeolitic properties. Amer. Mineral. – 1987. – P. 365–374.
11. Hawthorne F.C. Graphical enumeration of polyhedral clusters. Acta Cryst. A39. – 1983. – P. 724–736.
12. Hawthorne F.C. Towards a structural classification of minerals The VIMIVT2On minerals. Amer. Mineral. – 1985. – № 70. – P. 455–473.
13. Hawthorne F.C. Stuctural hierarchy in VIMxIIITyΦz minerals. Canad. Mineral. – 1986. – Vol. 24. – P. 625–642.
14. Hejny C. Polytypism in xonotlite Ca6Si6O17(OH)2. Z. Kristallogr / C. Hejny, T. Armbruster. – 2001. – Vol. 216. – P. 396–408.
15. Hesse K.F. Crystal structure of rhodesite. Z. Kristallogr. – 1992. – № 199. – P. 25–48.
16. The existence of partial mirrors in wollastonite, Proc. Jpn. Acad. / T. Ito, R. Sadanada, Y. Takeuchi, M. Tokonami. – 1969. – № 45. – P. 913–918.
17. Shirinova A.F. Comparative crystal chemistry of mixed silicate structures. – Baku, 2018. – 242 p.
18. Teymurov Q.S. Crystal-chemical features of the conversion of calcium sulfate dihydrate to semiaquatic gypsum / Q.S. Teymurov, M.I. Chiragov // Inorganic Materials. News Academy of Sciences SSSR. – 1979. – № 8. – P. 1489–1491.