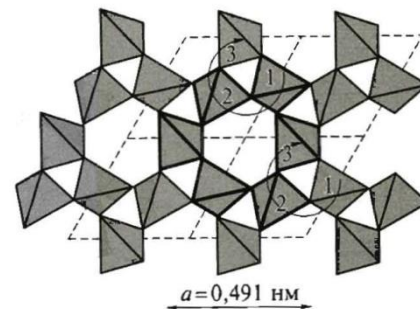


Каркасные алюмосиликаты

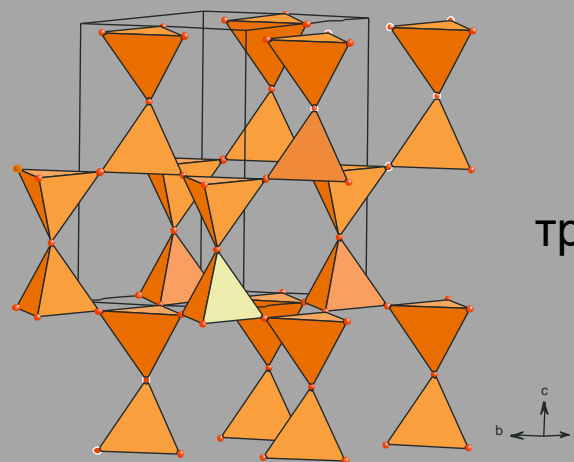
В качестве каркасных как таковых силикатов можно рассматривать минералы семейства кремнезема (кварц, тридимит, кристобалит, коэсит).

Так как в центрах всех тетраэдров каркасов находится Si^{4+} , валентность ионов O^{2-} оказывается полностью скомпенсированной. Поэтому свободные связи для присоединения дополнительных катионов отсутствуют.

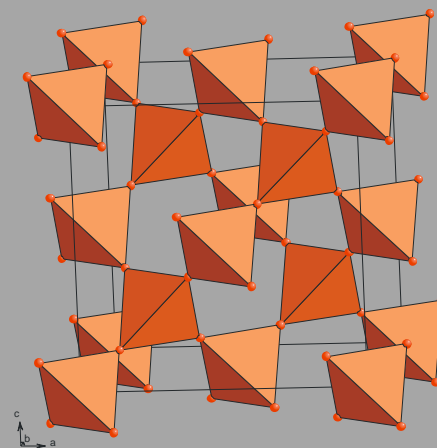
α -кварц (низкотемпературный, правый) тетраэдры 1,2,3 находятся на разных уровнях



α -кварц



тридимит



кристобалит

Каркасные алюмосиликаты

Возможность вхождения дополнительных катионов появляется только с заменой части атомов Si^{4+} на Al^{3+} , B^{3+} и др. При этом каркас оказывается заряженным, и для достижения электронейтральности в качестве ионов-компенсаторов в его пустоты входят крупные катионы — K^+ , Na^+ , Ca^{2+} и т.д.

Альбит $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$

Микроклин $\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$

Анортит $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$

Мариалит $3\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8] \cdot \text{NaCl}$

Вишневит $\text{Na}_8[\text{Si}_6\text{Al}_6\text{O}_{24}](\text{SO}_4) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Каркасные алюмосиликаты

По плотности каркаса каркасные алюмосиликаты подразделяются на три типа:

Полевые шпаты – плотная структура, в которой катионы располагаются в небольших полостях и полностью окружены атомами O^{2-} . Катионы связаны с каркасом и их перемещение/удаление невозможно без разрушения структуры.

Фельдшпатоиды – в крупных полостях или каналах размещаются катионы и дополнительные анионы, удаление которых не приводит к разрушению каркаса.

Цеолиты – имеют крупные полости и каналы. Широко проявлены явления катионного обмена.

Группа полевых шпатов

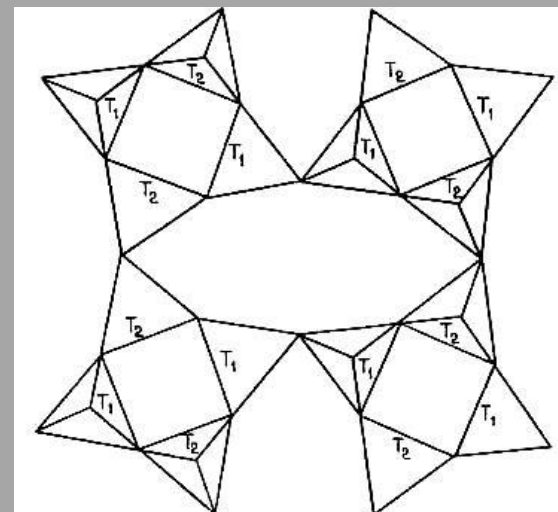
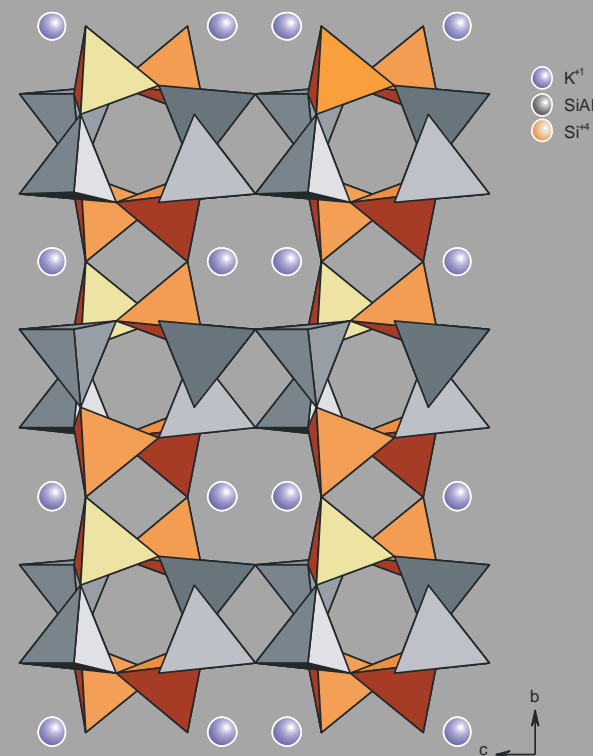
Моноклинные, триклинные,
ромбические и гексагональные
силикаты. Около 20 минеральных
видов.

Общая формула —
 MeT_4O_8

Me — K, Na, Ca, Ba, Sr, Rb, Cs, NH_4 ,
Cu, Pb

T — Si, Al, Fe^{3+} , B, Ge, Ga, Mo, W

Каркас образован ТП. Внекаркасные
катионы располагаются в «восьмерных
кольцах».

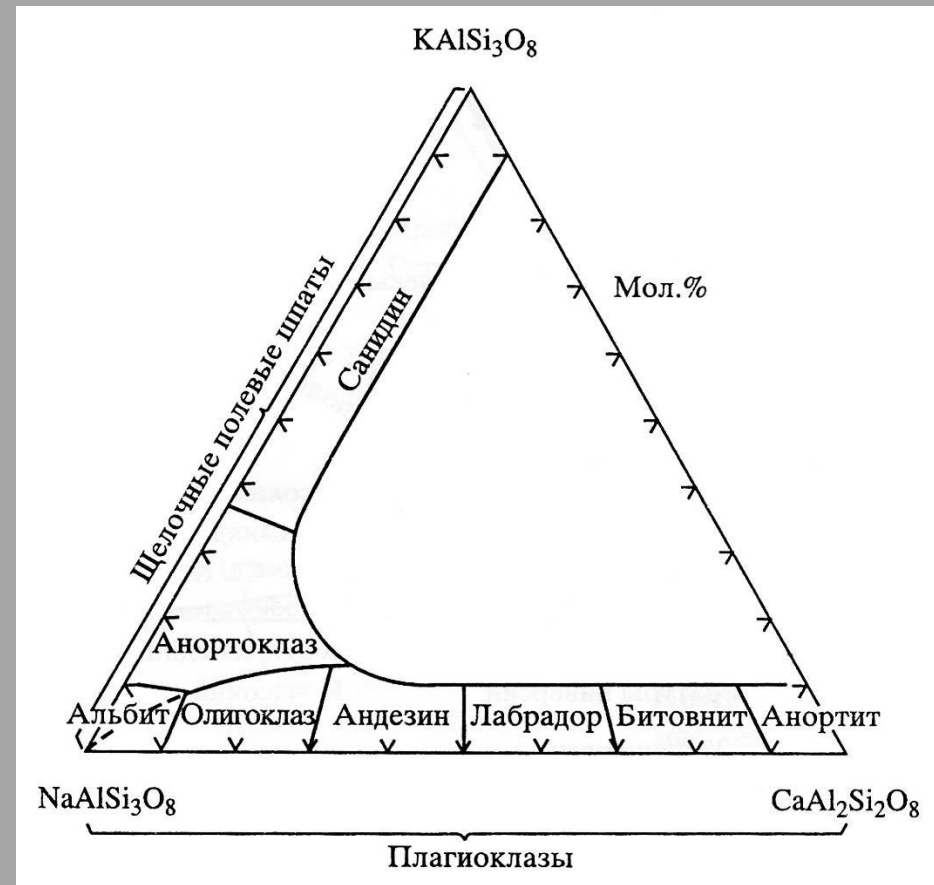


Кристаллическая структура
ортоклаза

Группа полевых шпатов

Большинство полевых шпатов входят в тройную систему $\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ - $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ - $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$ - *K-Na полевые шпаты и Na-Ca полевые шпаты (плагиоклазы).*

За минеральные виды приняты крайние члены, все промежуточные фазы рассматриваются как разновидности.



Номенклатура полевых шпатов
(высокотемпературная
неупорядоченная серия)

Группа полевых шпатов

Меньшим распространением пользуются К-Ва и Ва полевые шпаты.

Гиалофан $K_{1-x}Ba_x[Al_{1+x}Si_{3-x}O_8]$ *Цельзиан* $Ba[Al_2Si_2O_8]$

Между гиалофаном и
цельзианом
существует разрыв
смесимости.

Кристаллы гиалофана.
Бусовача, близ Травник, Босния.
Минералогический музей
Белградского Университета.



Группа полевых шпатов

Борный аналог анортита – *данбурит* $\text{Ca}[\text{B}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$

Борный аналог альбита – *ридмерджнерит* $\text{Na}[\text{BSi}_3\text{O}_8]$

Славсонит – $\text{Sr}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$

Рубиклин – $(\text{Rb}, \text{K})[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$

Баддингтонит – $(\text{NH}_4)[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$

Филатовит $\text{K}[(\text{Al}, \text{Zn})_2(\text{As}, \text{Si})_2\text{O}_8]$

Ферросанидин $\text{K}[\text{FeSi}_3\text{O}_8](2019)$

Данбурит (кристаллы более 30 см).
Дальнегорск, Россия.
Центральный Сибирский геологический
музей (Новосибирск).



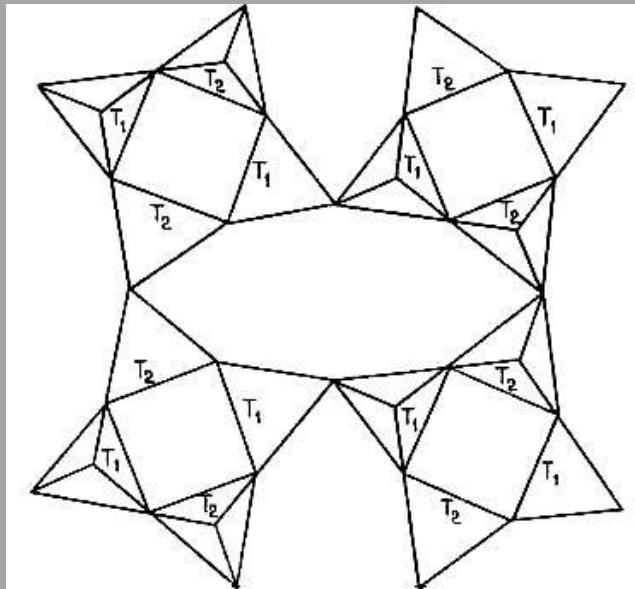
Калиевые полевые шпаты

Санидин, мон.

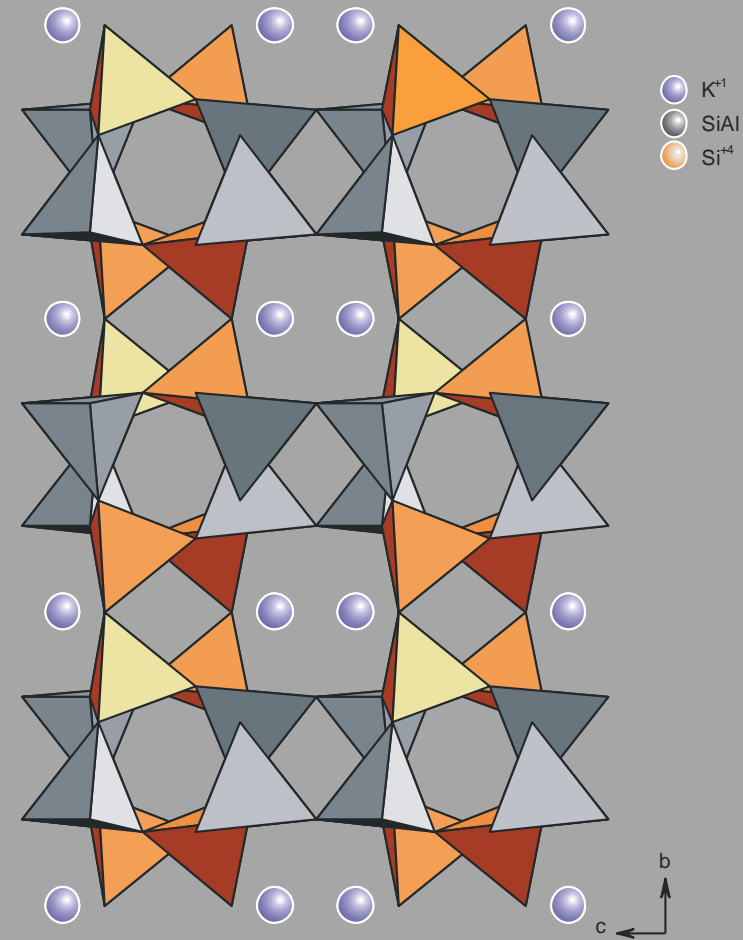
Ортоклаз, мон.

(низкотемпературная
разновидность – адуляр)

Микроклин, трикл.



Тетраэдрические позиции T_1 и T_2 в
структуре ПШ



Кристаллическая
структура ортоклаза

Калиевые полевые шпаты



санидин – ортоклаз – микроклин

Полностью неупорядоченный высокий санидин $\text{K}[(\text{Si}_{3/4}\text{Al}_{1/4})_4\text{O}_8]$; занятость каждой тетраэдрической позиции Al составляет 0,25.

Температура перехода моноклинного разупорядоченного санидина в триклинный упорядоченный микроклин ниже 500°C .

Процесс превращение разупорядоченного санидина в упорядоченный микроклин двуступенчатый, идет с чрезвычайно низкой скоростью, **закаливаемый**. В отличие от КПШ, переход высокого альбита в низкий альбит одноступенчатый и **незакаливаемый** (что связано с меньшим радиусом Na^+). Процесс упорядочения КПШ сильно тормозят примеси. Известны образцы санидина с возрастом до 500 млн. лет!

Калиевые полевые шпаты



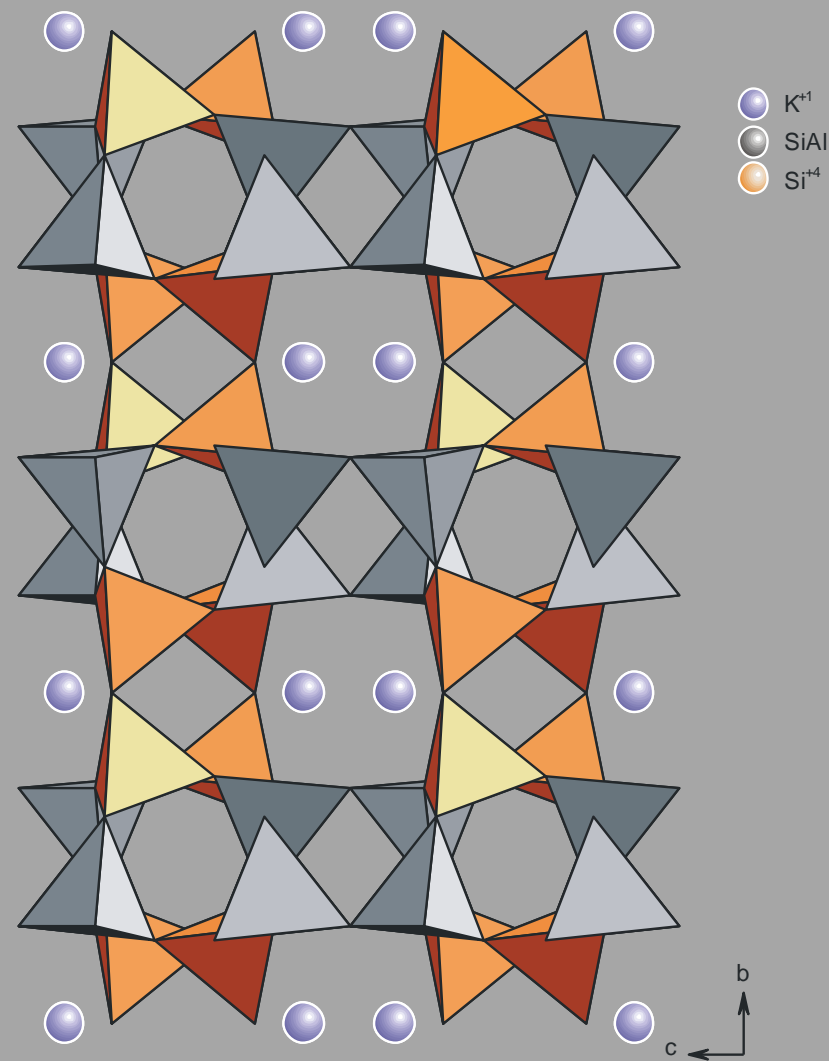
Водяно-прозрачные
вкрапленники и
мегакристаллы санидина из
трахитов позднечетвертичного
возраста в Рейнском грабене –
вулканическая группа Эйфеля.



Водяно-прозрачный **железистый**
санидин, Мадагаскар. Вероятно,
примесь Fe тормозит процесс
упорядочения.

Калиевые полевые шпаты

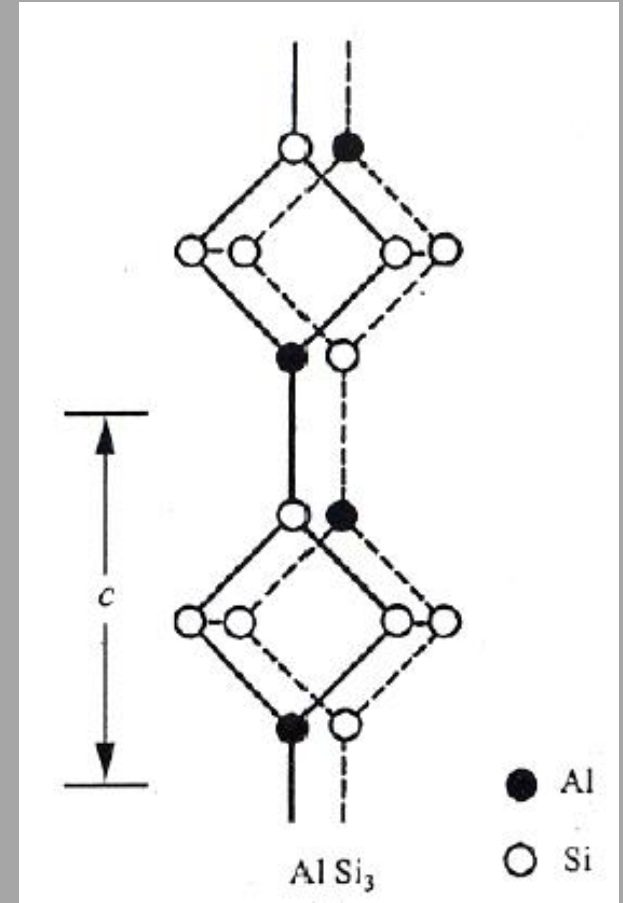
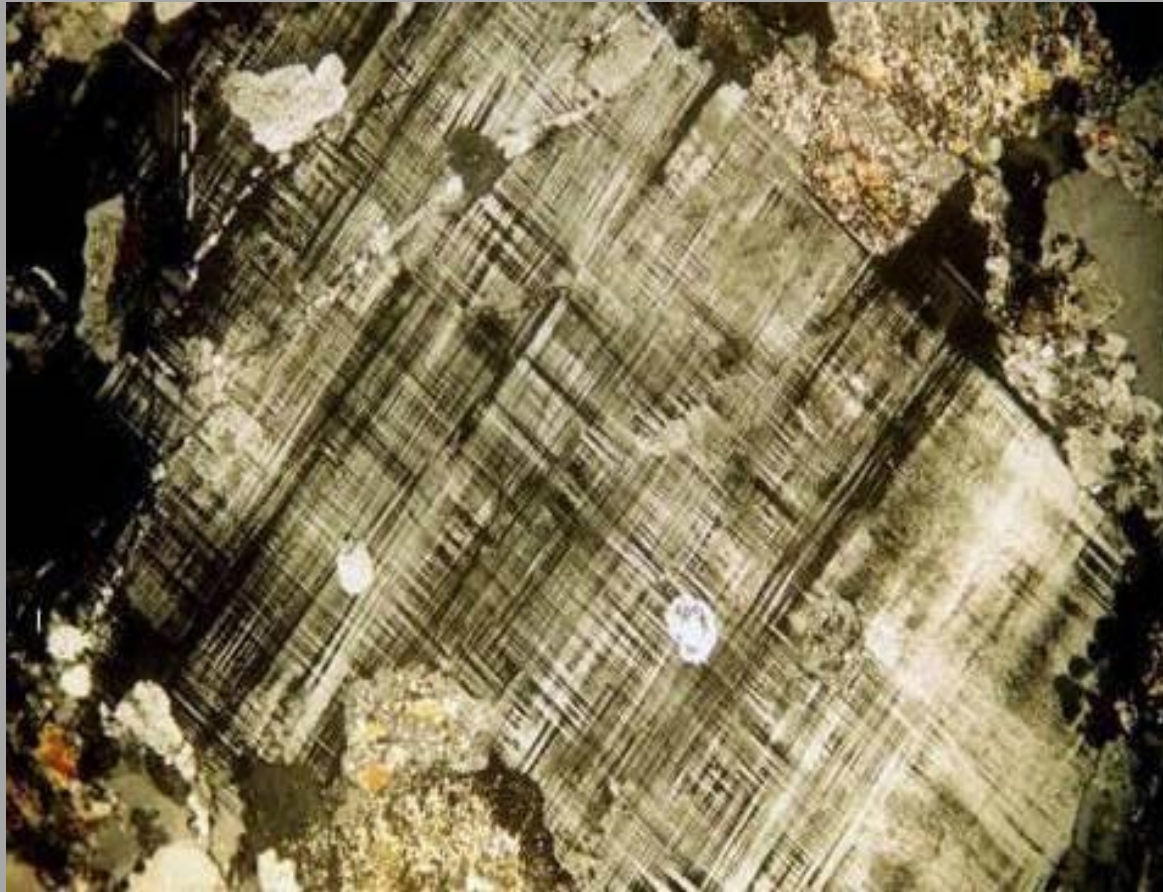
Частично
упорядоченный
ортоклаз
 $\text{K}[(\text{Si}_{1/2}\text{Al}_{1/2})_2\text{Si}_2\text{O}_8]$ –
является
промежуточной фазой
между санидином и
микроклином.



Кристаллическая
структура ортоклаза

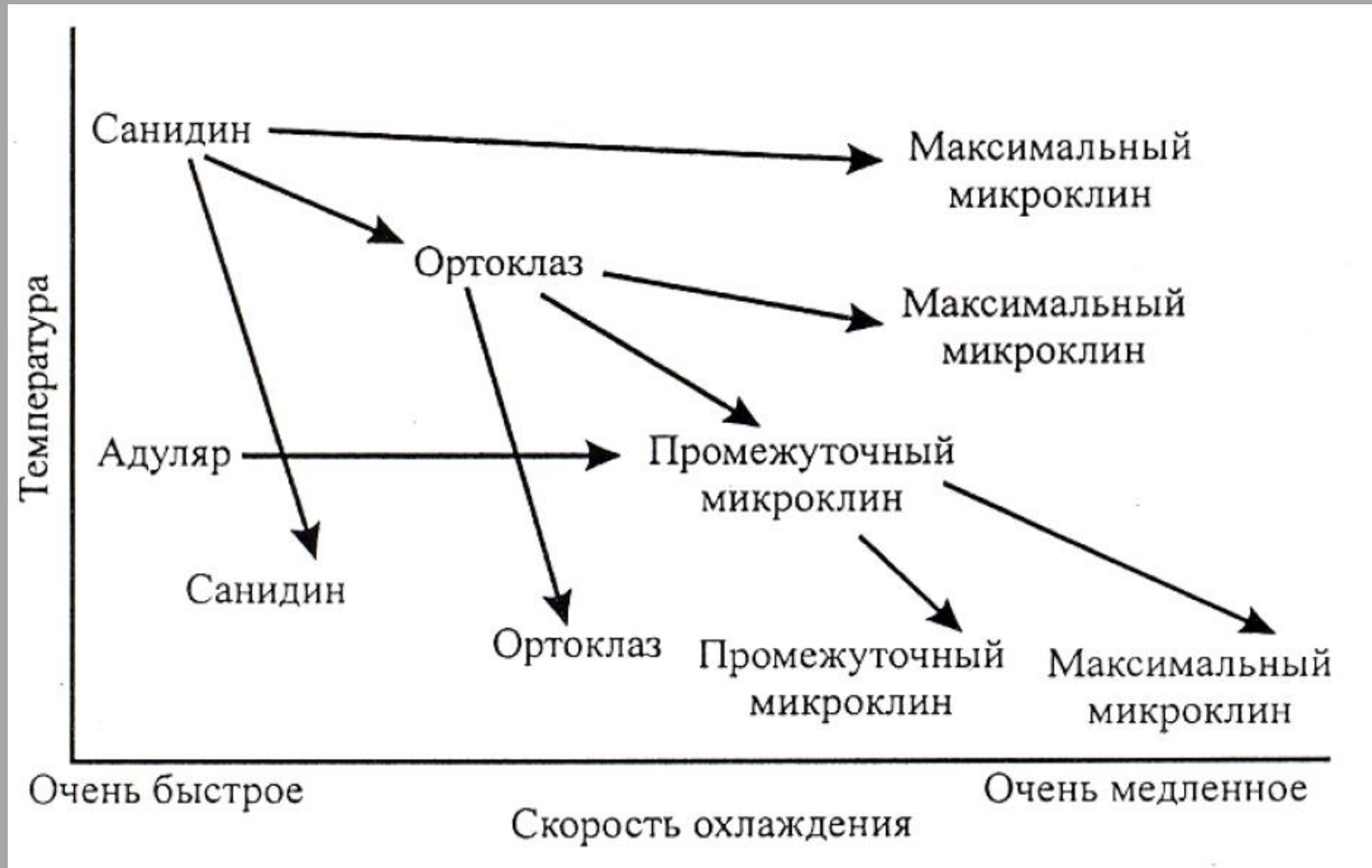
Калиевые полевые шпаты

Полностью упорядоченный низкий микроклин $K[AlSi_3O_8]$.



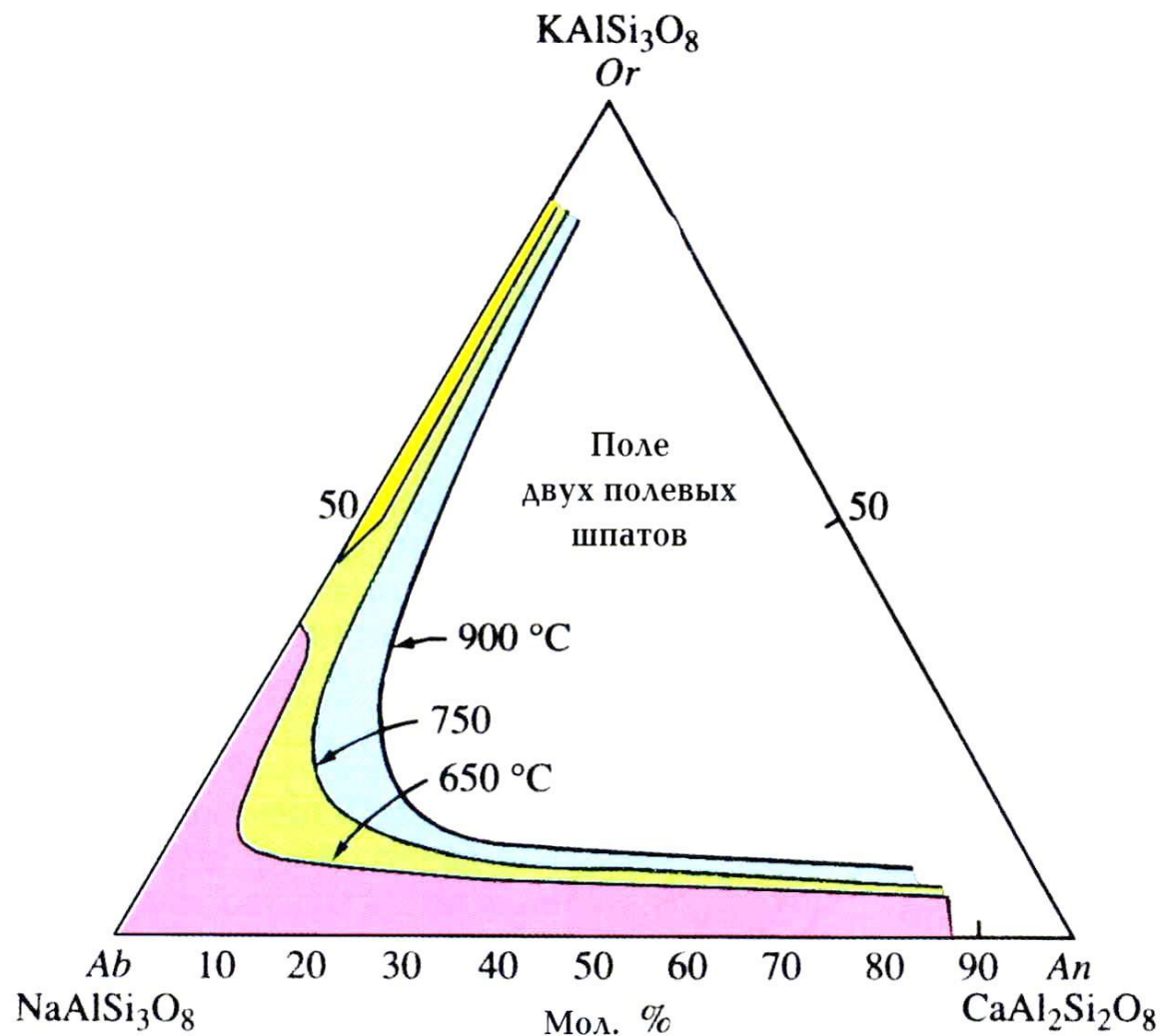
Двойники превращения в микроклине (микроклиновая решетка).
Отсутствие двойникования – признак низкой T образования!

Варианты эволюции КПШ в зависимости от температуры и времени (Патнис, Мак-Коннелл, 1983).



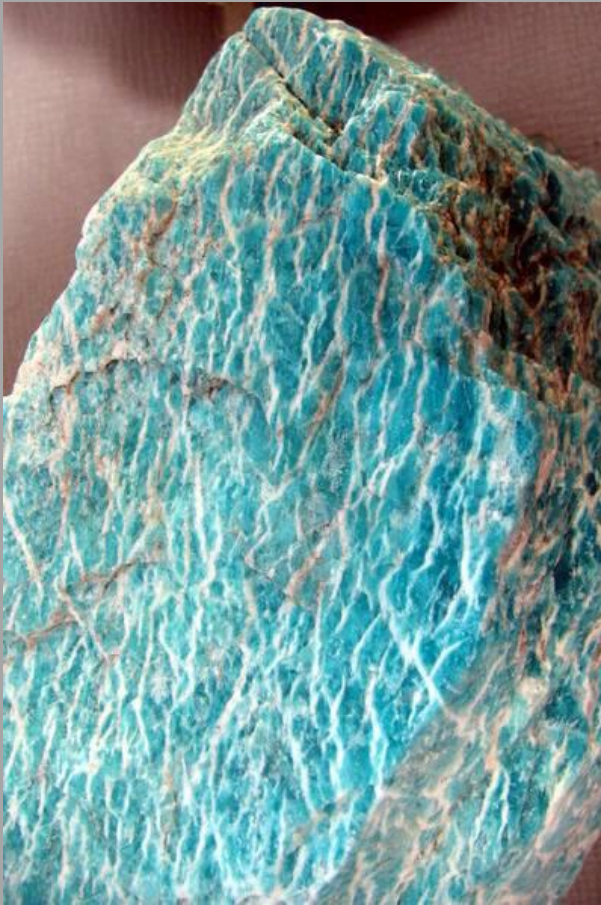
Распределение Si и Al зависит от температуры кристаллизации и последующей термической истории – КПШ информативны при проведении каких-либо геологических реконструкций.

Щелочные (К-Na) полевые шпаты

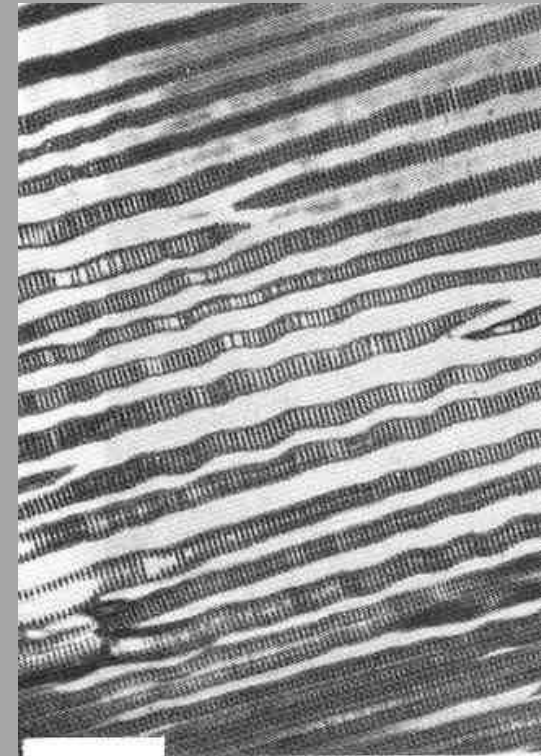
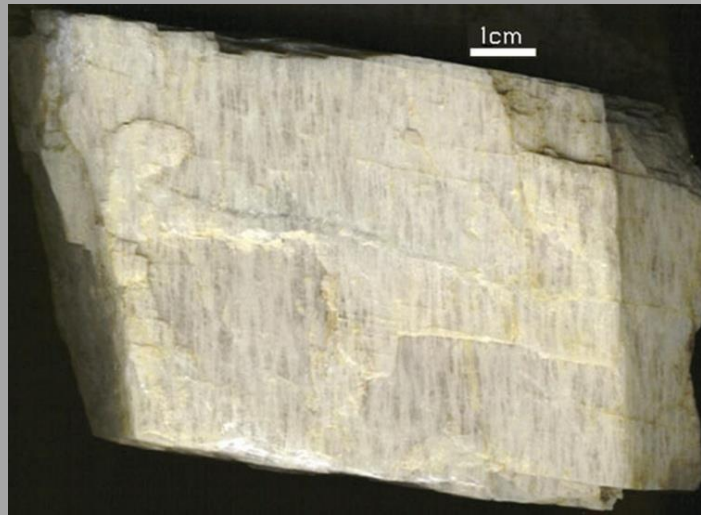


Гомогенность и распад твердых растворов в системе ортоклаз-альбит-анортит (Боруцкий, 2006).

Распад твердых растворов в щелочных (K-Na) полевых шпатах Пертиты и антипертиты



Макропертит



Криптопертит, альбит
сдвойникован (полоска
0.5 мкм)

Распад твердых растворов в щелочных (K-Na) полевых шпатах



Лунный камень

<http://geo.web.ru/druza>

Солнечный полевой шпат.
Фото Павла Мартынова.



Кальциево-натриевые полевые шпаты

Кальциево-натриевые полевые шпаты (плагиоклазы) – твердые растворы альбита $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ и анортита $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$.

– ОЛИГОКЛАЗ (10-30 An)	<i>Кислые Pl – 0-30 An</i>
– АНДЕЗИН (30-50 An)	<i>Средние Pl – 30-50 An</i>
– ЛАБРАДОР (50-70 An)	<i>Основные Pl – 50-100 An</i>
– БИТОВНИТ (70-90 An)	

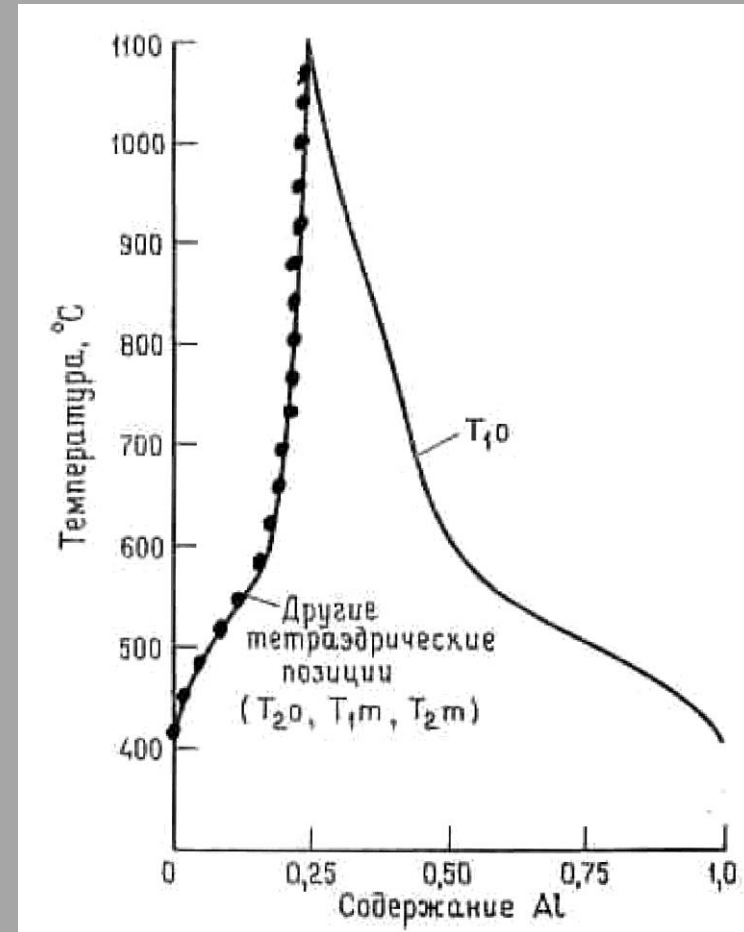
При высоких температурах плагиоклазы представляют собой непрерывный ряд твердых растворов, при снижении температуры происходит их распад.

Порядок – беспорядок в альбите

Высокотемпературный альбит может быть разупорядоченным, но при снижении T происходит его упорядочение *без закаливания!*

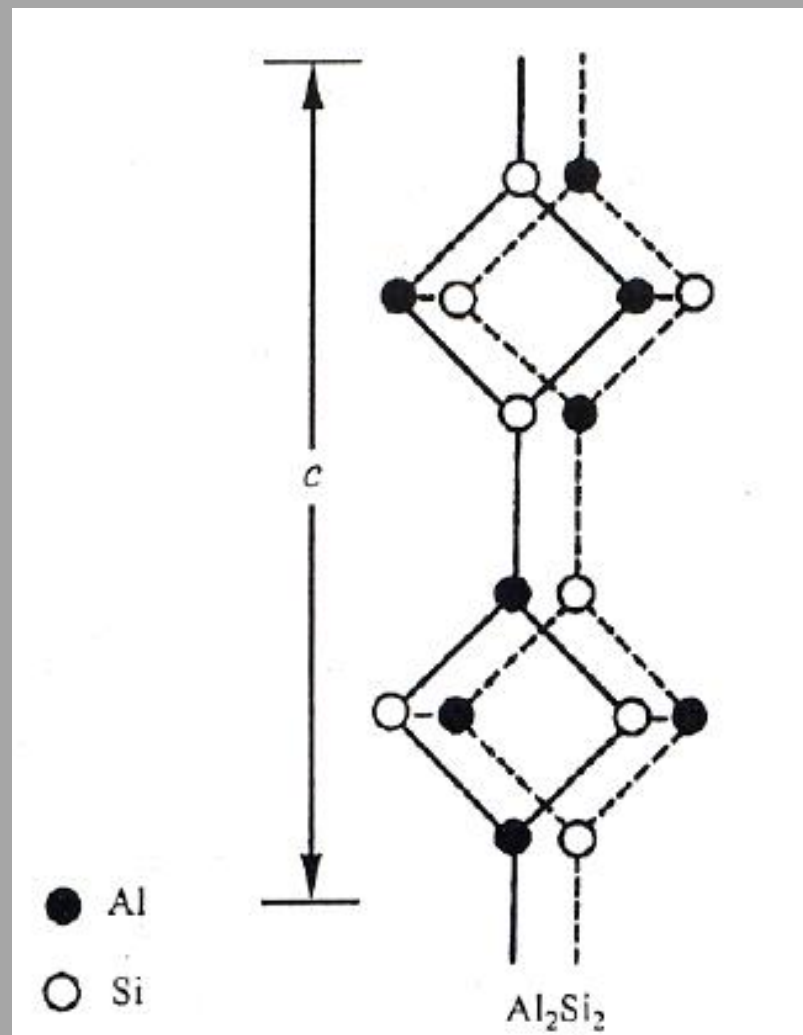
При температуре выше 1100°C альбит моноклинный (мональбит) с тетраэдрическими позициями $T1$ и $T2$, в каждой из которых по 25% Al.

Поскольку радиус Na^+ небольшой, то при T ниже 1100°C структура искажается до триклинной. При снижении температуры до 400°C доля алюминия в позиции $T1_0$ последовательно возрастает от 25% до 100%, а трёх других позициях последовательно снижается от 25% до 0.

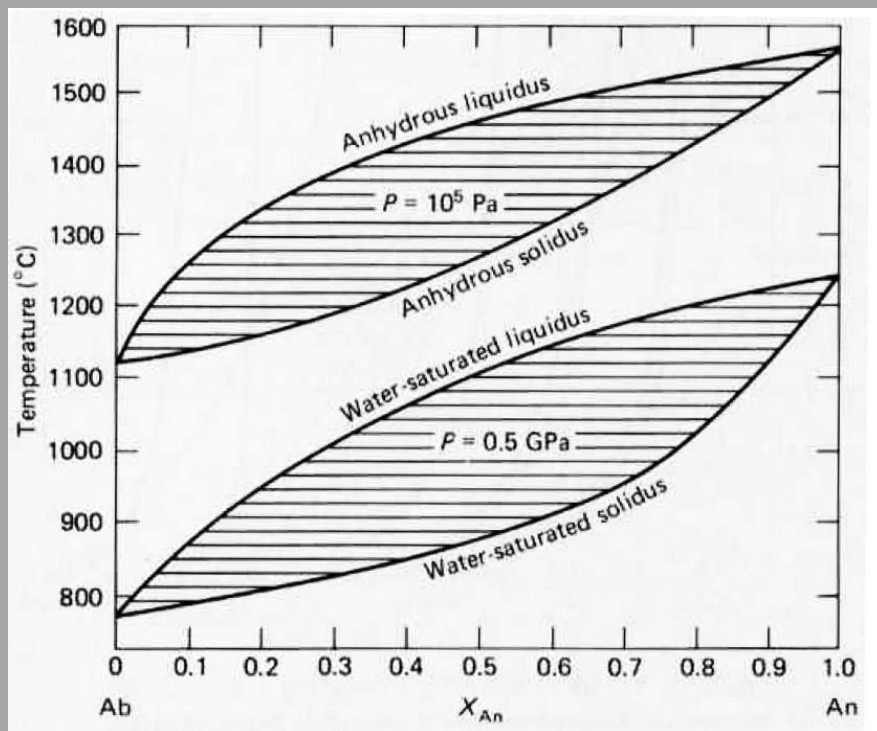


Порядок – беспорядок в плагиоклазах

Основные
плагиоклазы
формируются
упорядоченными –
в каркасе
чередуются
тетраэдры с Al и Si.



Зональность плагиоклазов



Система альбит-анортит
сухая и водонасыщенная



Даже незначительное
колебание P_{H_2O} приводит
к смене состава
кристаллизующегося
плагиоклаза

Распад твердых растворов в плагиоклазах

1. Перистеритовые (от греч. - голубь)
прорастания – распад кислых
плагиоклазов на упорядоченный Ab
и плагиоклаз с составом An_{25-35}



2. Прорастания Бёггильда – распад
плагиоклазов An_{48-58} на An_{45} и An_{55-60}



3. Прорастания Гуттенлошера - распад
плагиоклазов An_{70-90} на $An_{\sim 65}$ и An

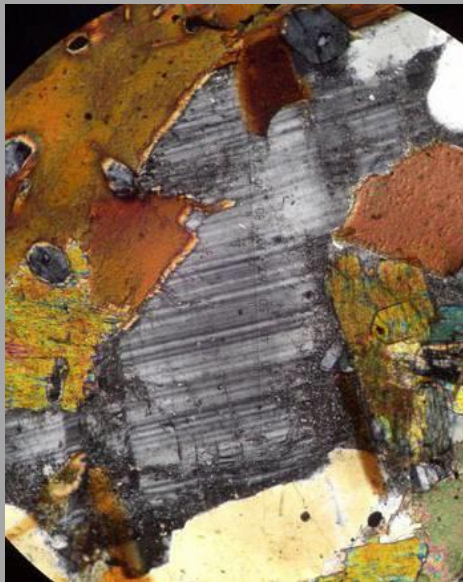


Иризирующие олигоклаз (беломорит) и лабрадор

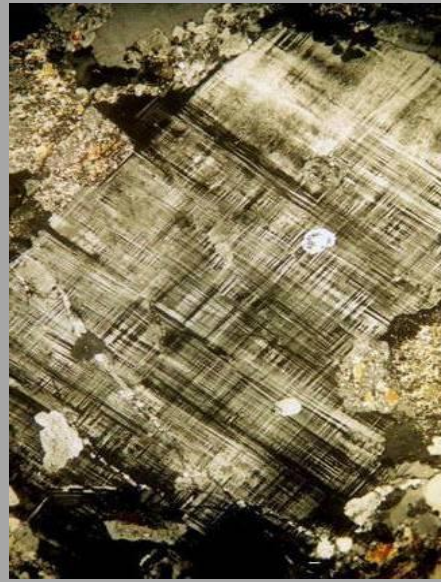
Мадагаскар

Группа полевых шпатов

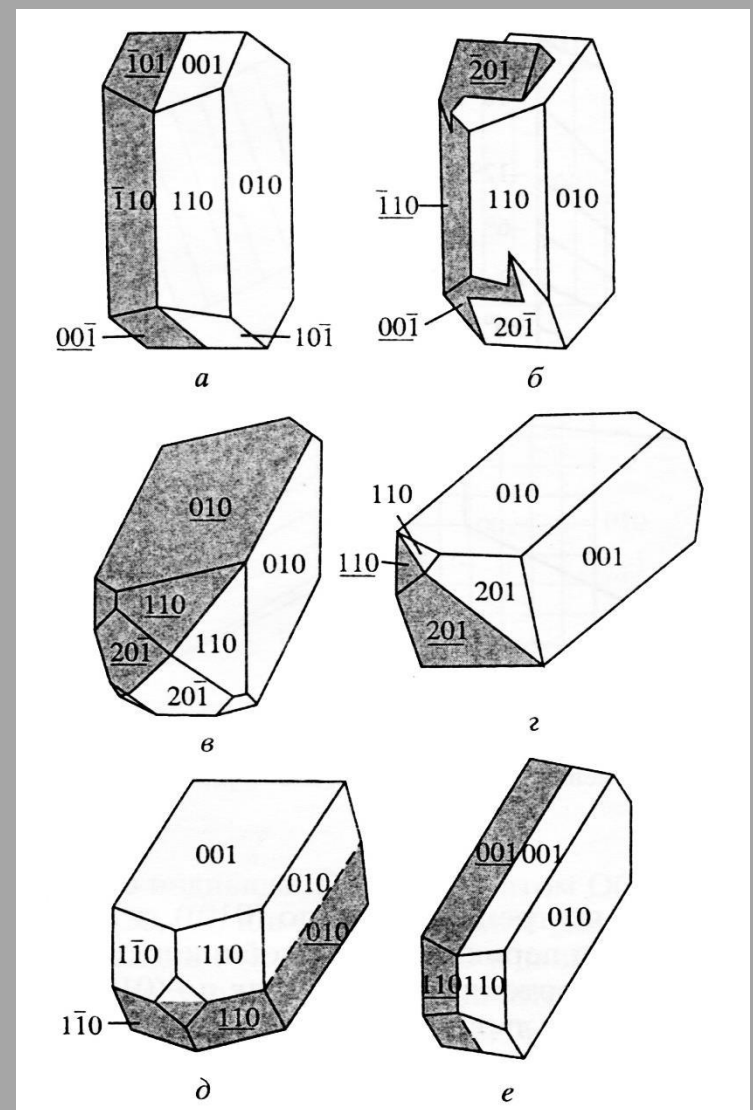
- Двойники роста
- Двойники превращения



Полисинтетическое
двойникование
плагиоклаза



Двойникование
микроклина



а,б – карлсбадские двойники срастания и прорастания ортоклаза; в,г – бавенские двойники ортоклаза; д – манебахский двойник ортоклаза; е – альбитовый двойник альбита

Окраска полевых шпатов

Идиохроматическая

желтая за счет Fe^{3+} в санидине;

зеленая в амазоните за счет центров окраски $[\text{Pb}^{2+} + \text{Pb}^{2+}] + e = [\text{Pb}_2]^{3+}$



Гора Парусная ,Кейвы, Кольский п-ов



Itrongay,
Madagascar

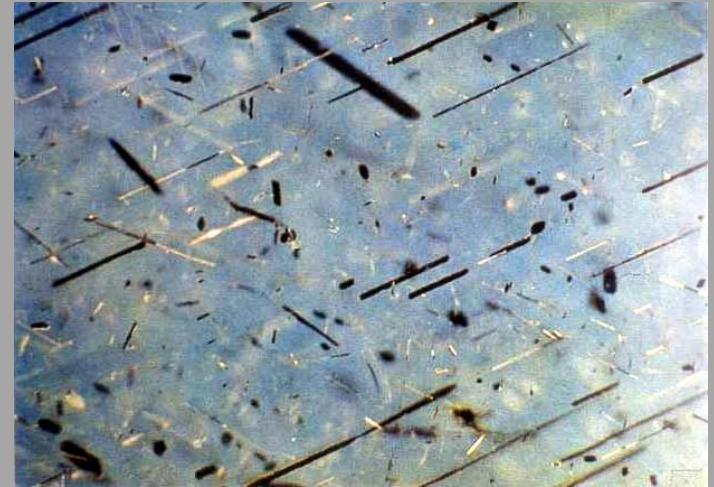


Tree Root pocket, Two Point
claim, Teller Co., Colorado, USA

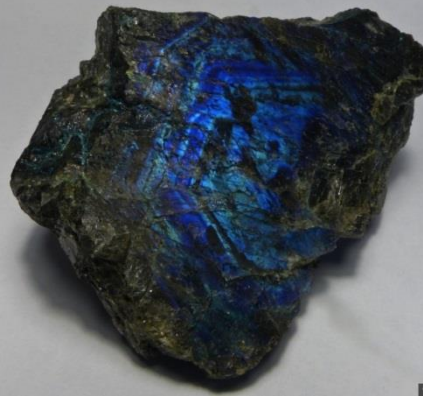
Окраска полевых шпатов

Аллохроматическая

темная окраска средних и основных плагиоклазов – включения ильменита; красноватая окраска микроклина - включения пластинчатых кристаллов гематита.



Ламелли распада гемоильменита в лабрадоре (Ньюфаунленда, Канада)



Магматические кальциевые плагиоклазы содержат в твёрдом растворе до 0.5-1 мас.% FeO и 0.1 % TiO₂. При отжиге за счёт этих элементов-примесей возникают тончайшие пластинки распада ильменита (гемоильменита), которые окрашивают кальциевые плагиоклазы от андезин-лабрадора до анортита в чёрный цвет.

Псевдохроматическая

иризация за счет тончайших структур распада твердых растворов.

Генезис полевых шпатов

Важнейшие минералы земной коры (плагиоклазы устойчивы до P 30 кбар; санидин устойчив до P 60 кбар – может присутствовать в верхней мантии).

При высоких P плагиоклаз переходит в жадеит. КПШ при увеличении P не меняет своей структуры и, соответственно, плотности (благодаря КПШ земная кора «плавает» на более плотных породах мантии).

Щелочные ПШ и плагиоклазы – важнейшие породообразующие минералы кислых, средних и щелочных магматических пород, пегматитов, метаморфических пород – гнейсов и кристаллических сланцев. Альбит и КПШ типичен для ряда метасоматических пород.

При гидротермальном изменении щелочные ПШ и плагиоклазы замещаются слюдами, цоизитом, эпидотом, фельдшпатоидами, цеолитами. В гипергенных условиях замещаются каолинитом, смектитами и др.

Использование полевых шпатов

- Керамическое сырье
- Производство технических видов стекла
- Наполнители для лакокрасочной и резиновой промышленности
- Драгоценные и поделочные камни (ограночные санидин и ортоклаз, амазонит, лунный камень, беломорит, солнечный камень, лабрадор)

Семейство фельдшпатоидов

Фельдшпатоиды по катионному составу близки полевым шпатам (главные катионы – Na^+ , K^+ , Ca^{2+}), но при этом содержат обычно меньше SiO_2 , часто присутствуют дополнительные анионы (Cl^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , S^{2-} и др.).

Фельдшпатоиды образуются либо вместо ПШ (при недостатке SiO_2 или высокой активности летучих компонентов), либо замещают ПШ при метасоматических изменениях.

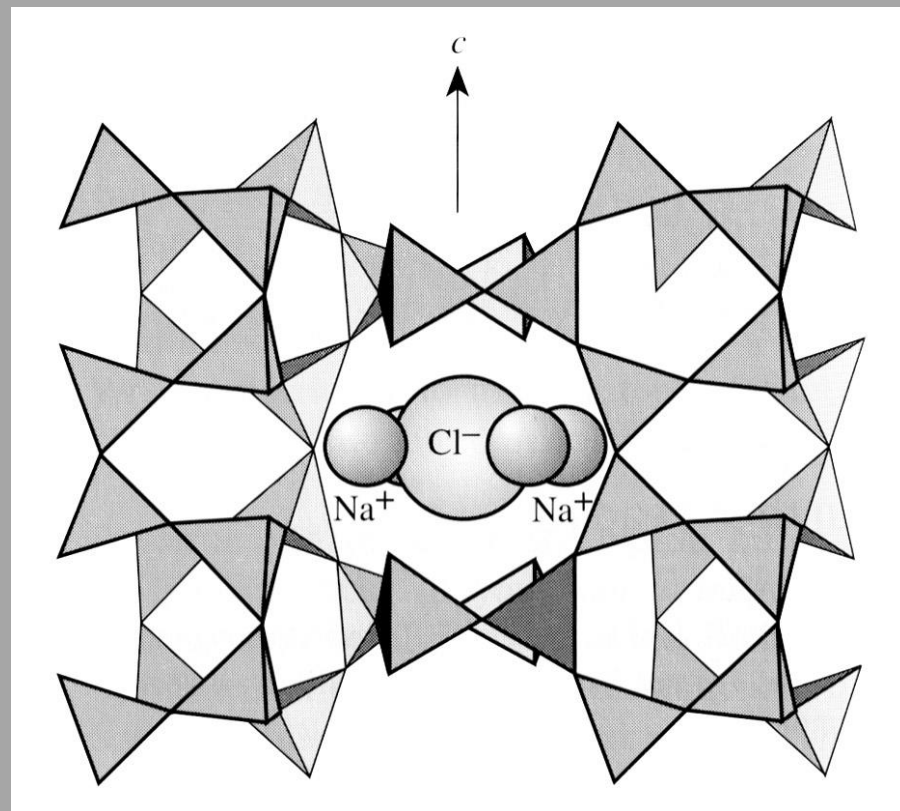
Группа скаполита

Мариалит $3\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8] \cdot \text{NaCl}$

Мейонит $3\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8] \cdot \text{Ca}(\text{CO}_3, \text{SO}_4)$

Образуют непрерывный изоморфный ряд.

В основе структуры – цепочки SiO_4 - и AlO_4 -тетраэдров объединяющиеся в объемные колонки. Дополнительные анионы окруженные катионами, располагаются в крупных «фонарях» между пережимами колонок. Распределение Si и Al упорядоченное.



Группа скаполита

Призматические кристаллы тетрагональной сингонии. Окраска связана с анионными центрами (SO_3^- , SO_2^- , CO_3^- , CO_2^- , возможно F-центр на вакансиях хлора).

Минералы группы скаполита — типичные минералы магнезиальных скарнов и метаморфических толщ (гнейсы, амфиболиты). Часто замещают более ранние плагиоклазы.

При региональном метаморфизме формируются в условиях повышенного давления CO_2 , а также при наличии в системе Cl (например, из эвапоритового галита первичных осадков).



Скаполит. Афганистан



Скаполит. Морогоро, Танзания.

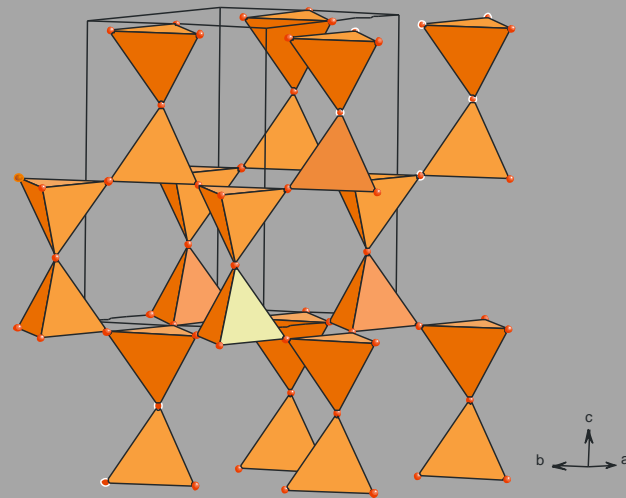
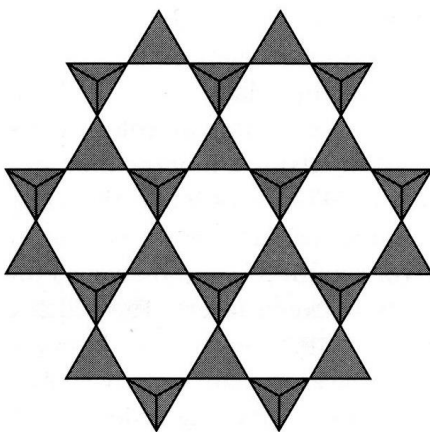
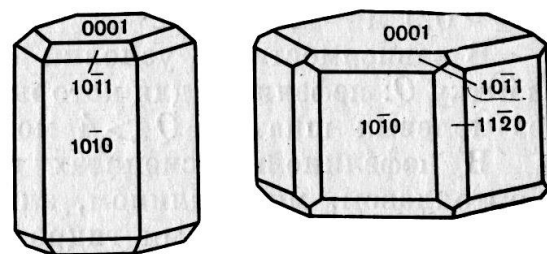
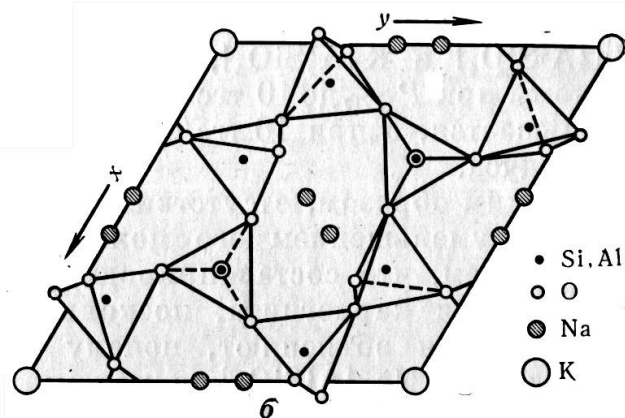
Нефелин - $\text{KNa}_3[\text{AlSiO}_4]_4$

Кальсилит - $\text{K}[\text{AlSiO}_4]$

Структуру можно рассматривать как искаженную структуру тридимита.

Сингония гексагональная.

В кристаллической структуре возможно упорядочение в распределении K-Na и Al-Si. Максимально разупорядочен нефелин высокотемпературных магматических образований (эффузивы, дайки и др.).



Нефелин - $\text{KNa}_3[\text{AlSiO}_4]_4$

Характерны уплощенные бочонковидные кристаллы.

Окраска обычно неоднородная аллохроматическая (включения эгирина, гематита).



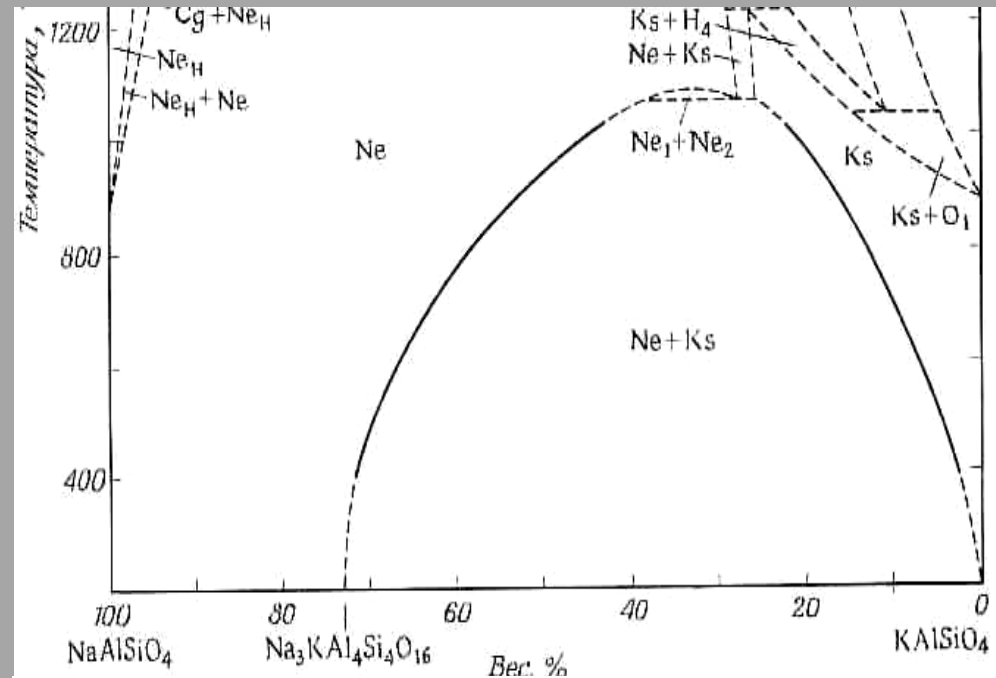
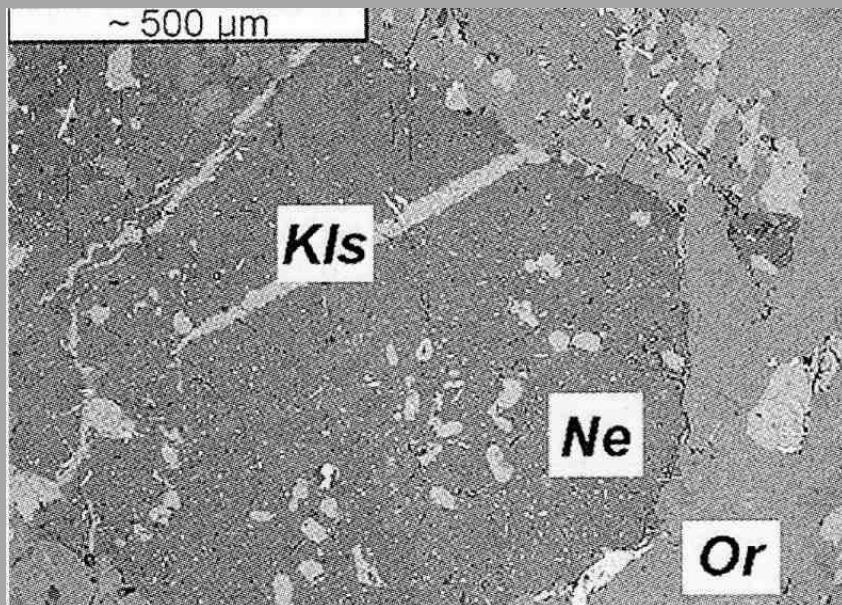
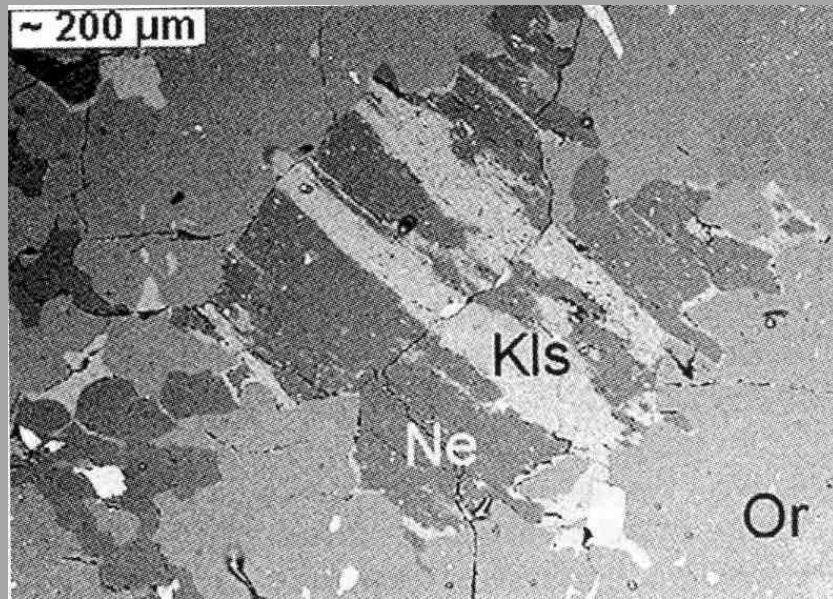
Нефелин. Онтарио, Канада.

<https://www.mindat.org> Copyright: © Rock Currier

Нефелин – породообразующий минерал большинства щелочных горных пород, щелочных пегматитов и метасоматитов. Не встречаются **парагенезисы** нефелина и кварца, т.к. при их реакции должен образовываться альбит!

Нефелин легко замещается альбитом, содалитом, канкринитом, цеолитами (минеральные смеси продуктов изменения нефелина - шпреуштейн). В гипергенных условиях легко выщелачивается.

Распад нефелин – кальсилит. Хибины



Фазовая диаграмма системы
 NaAlSiO_4 - KAlSiO_4

Для магматического нефелина характерны структуры распада с образованием микровключений кальсилита (признак для разделения магматического и метасоматического нефелина).

Группа канкринита-содалита

В группу объединены разнообразные минералы с каркасными структурами, образованными шестичленными кольцами тетраэдров, лежащими в плоскости ab .

Слои сдвинуты относительно соседних слоев на $1/3$ периода повторяемости по оси a или b . Таким образом, каркас может характеризоваться тремя видами идентичных слоев (А, В и С), различающихся взаимным расположением.

Выделяют три подгруппы минералов:

1. подгруппа канкринита

(период повторяемости 2 слоя)

2. подгруппа содалита

(период повторяемости 3 слоя)

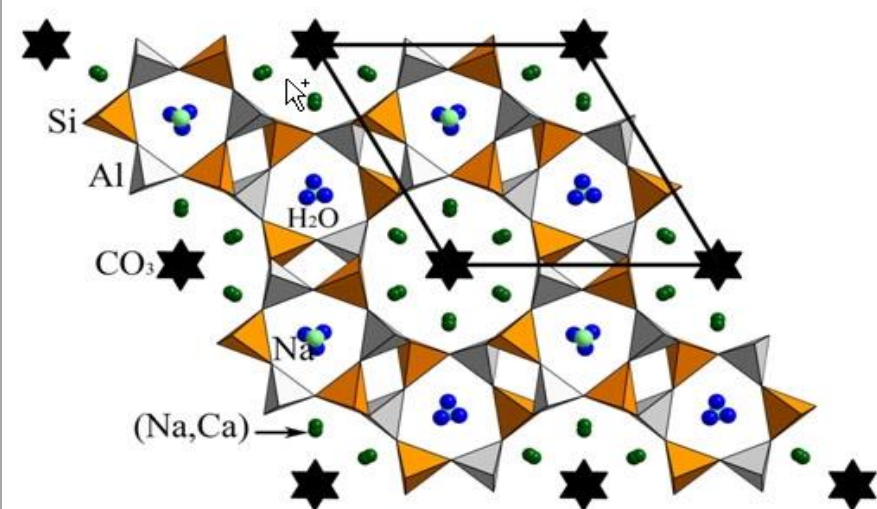
3. подгруппа канкринита сложного строения

(период повторяемости 4-36 слоев)

Типы полостей в минералах группы канкринита-содалита

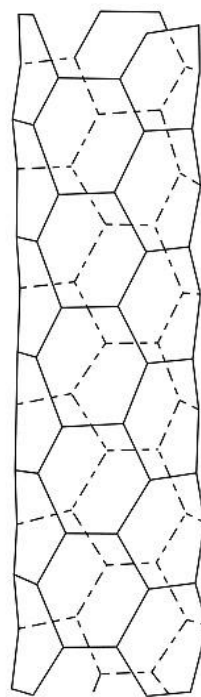
В каркасах выделяют цеолитные полости различного объема и конфигурации (канкринитовая, содалитовая, лосодовая, лиоттитовая и джузеппетитовая), в канкринитах также присутствует сквозной широкий канал.

Полости и канал заселены крупными катионами (Na, K, Ca и т.д.), дополнительными анионами и H_2O . Вода носит цеолитный характер и содержится в переменном количестве!

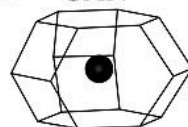


Кристаллическая структура (проекция ab) канкринита из места его первой находки – Ильменских гор на Южном Урале

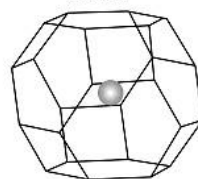
ШИРОКИЙ КАНАЛ



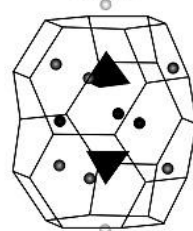
CAN



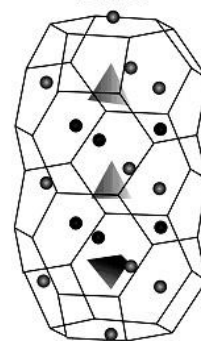
SOD



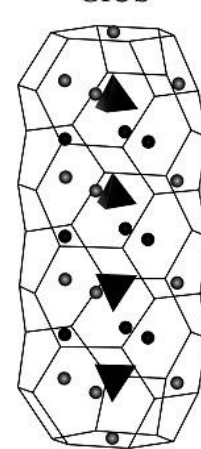
LOS



LIOT



GIUS



ТИПЫ ПОЛОСТЕЙ В СТРУКТУРАХ МГК (по Bonaccorsi & Merlino, 2005):

CAN - полость канкринитового типа,
SOD - содалитового типа,
LOS - лосодового (быстритового) типа,
LIO - лиоттитового типа,
GIUS - джузеппетитового типа.

Подгруппа канкринита

Минералы подгруппы канкринита – гексагональные каркасные минералы. Характеризуются простейшей последовательностью чередования слоев (*АВАВАВ*).

Общая формула минералов группы канкринита



где *A* – внекаркасные катионы Na, K, Ca, *X* – дополнительные анионы $(CO_3)^{2-}$, $(SO_4)^{2-}$, Cl^- , $(OH)^-$, S^{2-} , $(C_2O_4)^{2-}$, $(PO_4)^{3-}$.

Величина *y* редко превышает 1.2, а *n* колеблется от 0 до 5.

В настоящее время (2014) подгруппа канкринита насчитывает 12 минеральных вида.



Кианоксалит $Na_7[Al_{6.5}Si_{6.7}O_{24}](C_2O_4)_{0.5-1.5} \cdot H_2O$ - первый природный силикат с органическим дополнительным анионом – породообразующий минерал!

Подгруппа канкринита

Окраска связана с анионными центрами (в частности, желтая у канкринита - CO_3^- , розовая - CO_3^{3-} , голубая – SO_4^- , SO_3^- и др.).

Типичные минералы щелочных пород. Могут кристаллизоваться непосредственно из расплавов, но чаще всего связаны с метасоматическим преобразованием пород (замещение нефелина, микроклина, содалита, мелилита).



Вишневит. Вишневые горы
<http://geo.web.ru/druza>



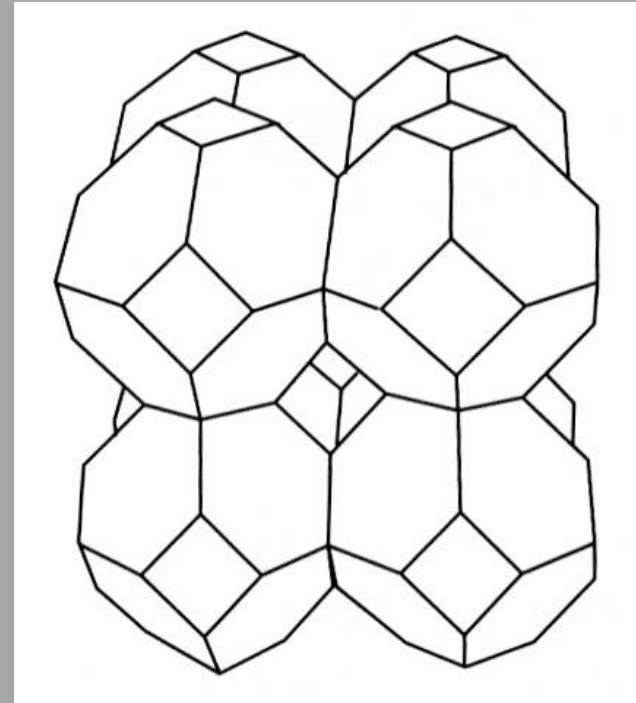
Октябрьский массив, Восточное
Приазовье, Донецкая область,
Украина <https://webmineral.ru/>

Подгруппа содалита

Подгруппа содалита - 12 мин.видов (2014).

В подгруппу входят кубические, тетрагональные и ромбические минералы, в каркасе которых присутствуют кубооктаэдрические «содалитовые фонари», внутри которых размещаются крупные катионы и дополнительные анионы.

Различия в химизме минералов касаются состава каркаса и заполнения пустот в нем.



Содалит $6\text{Na}[\text{AlSiO}_4] \cdot 2\text{NaCl}$

Гельвин $\text{Mn}_8[\text{Be}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}]\text{S}_2$

Нозеан $6\text{Na}[\text{AlSiO}_4] \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$

Даналит $\text{Fe}_8[\text{Be}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}]\text{S}_2$

Гаяюин $6(\text{Na}, \text{Ca}_{0,5})[\text{AlSiO}_4] \cdot 2-1(\text{Na}_2, \text{Ca})\text{SO}_4$ Гентгельвин $\text{Zn}_8[\text{Be}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}]\text{S}_2$

Лазурит $6\text{Na}[\text{AlSiO}_4] \cdot 2\text{Ca}(\text{SO}_4, \text{S}, \text{Cl}_2)$

Подгруппа содалита

Окраска связана с
анионными центрами
 S_2^- , S_3^- , SO_4^-



Содалит (гакманит) после облучения



Содалит (гакманит), Хибины



Лазурит , Малобыстринское м-е, Прибайкалье



Содалит, Боливия.

Подгруппа содалита

- Нозеан и гаюин встречаются преимущественно в вулканических щелочных породах.
- Содалит – щелочные магматические породы (кристаллизация из расплава или замещение нефелина и ПШ) и метасоматиты.



Содалит и канкринит в ассоциации с нефелином. Вишневые горы, Урал



Гаюин. Айфель, Германия

Подгруппа содалита

- Лазурит - глубинные магнезиальные скарны повышенной щелочности (контакт мраморов с щелочными гранитоидами).



Малобыстринское м-е, Прибайкалье.



Бадахшан, Афганистан.

Семейство цеолитов

Три этапа в развитии понимания цеолитов

- 1 – в 1756 г. шведским химиком и минералогом А.Ф.Кронштедтом был впервые употреблен термин «цеолит». Интерес исключительно минералогический к крупным хорошо образованным выделениям.
- 2 – в 50-х годах XX в. был освоен синтез цеолитов.
- 3 – 60-70-е года XX в. открытие крупных месторождений природных цеолитов, связанных с измененными вулканогенно-осадочными толщами (туфы и т.п.). Цеолиты тонкодисперсные.

Семейство цеолитов

Цеолиты — от греч. «вскипающие камни» из-за способности цеолитов выделять воду при нагревании.

Цеолиты очень разнообразны и широко распространены в природе. Они образуют многочисленное семейство минералов (**около 100** видов, более 40 структурных типов), большинство из которых составляют **водные алюмосиликаты щелочных и щелочноземельных металлов**.

Минералы относятся к различным группам, но все они характеризуются наличием жесткого каркаса с системой крупных пересекающихся каналов с полостями, в которых свободно могут помещаться крупные ионы, молекулы воды, молекулы органических веществ.

Цеолиты

В настоящее время принято следующее **определение** цеолитов (ИМА):

Цеолит - это кристаллическое вещество со структурой, характеризующейся каркасом из соединенных между собой тетраэдров. Каркас содержит открытые полости в форме каналов и ячеек-кегов (cage - ячейка, клетка; наиболее точно этот термин можно трактовать как “изолированная полость”, в противоположность открытому с торцов каналу). Они обычно заняты молекулами воды и внекаркасными катионами, которые, как правило, обладают способностью к обмену. Дегидратация водных фаз осуществляется главным образом при температурах ниже 400 °С и в значительной мере обратима.

Цеолиты

Полости и каналы, заселенные крупными катионами и молекулами воды, в структурах цеолитов **занимают до 50%** объема. Вода может быть удалена без нарушения структуры минералов. Такая вода получила название **цеолитной**.

Обезвоженные цеолиты обладают высокой сорбционной способностью. Дегидратированные фазы (**активированные**), могут вместо утраченных молекул воды принимать в свою структуру практически любые газы или пары.

Такое строение обуславливает целый набор специфических свойств цеолитов как микро- и мезопористых материалов, имеющих большое практическое значение.

Сегодня природные и синтетические цеолиты широко используются в хозяйственной деятельности как *сорбенты*, *молекулярные сита*, *ионообменники*, *катализаторы* и т.д.

Классификации цеолитов

По характеру каналов. Системы каналов *одномерные* (каналы не пересекаются, движение ионов или молекул возможно только в одном направлении), *двухмерные* (молекулы могут двигаться в плоскости) и *трехмерные* (молекула или ион могут проникнуть в любое место кристалла).

По размерам каналов и внутрикристаллическому объему:

рыхлые, у которых объем внутрикристаллического пространства больше 40%;

средние, с объемом внутрикристаллического пространства 30-40%;

плотные, внутрикристаллический объем которых менее 30%.

По диаметру входных окон выделяются:

широкопористые, у которых диаметр окна больше 5 Å;

среднепористые, у которых диаметр окна 4,3 - 3,5 Å;

узкопористые, у которых диаметр окна 2,6 Å.

Классификации цеолитов

По соотношению Si и Al выделяют низкокремниевые с соотношением Si/Al от 0.95 до 1.7, среднекремниевые с соотношением Si/Al от 1.7 до 2.5 и высококремниевые с Si/Al от 2.5 до 6.2 цеолиты.

По плотности каркаса (FD – framework density; выражается числом позиций каркасных атомов (Si, Al, Be, B и др.) на 1000 \AA^3). Для природных алюмосиликатных цеолитов эта величина колеблется в интервале от 12 до 21. Наименьшую плотность каркаса имеет *чёртнерит*, содержащий в своем каркасе уникальную полость, окруженную 96 алюмокремнекислородными тетраэдрами!

Данная характеристика является наиболее удобной и эффективной при различного рода сравнительных исследованиях, в которых участвуют представители разных структурных типов.

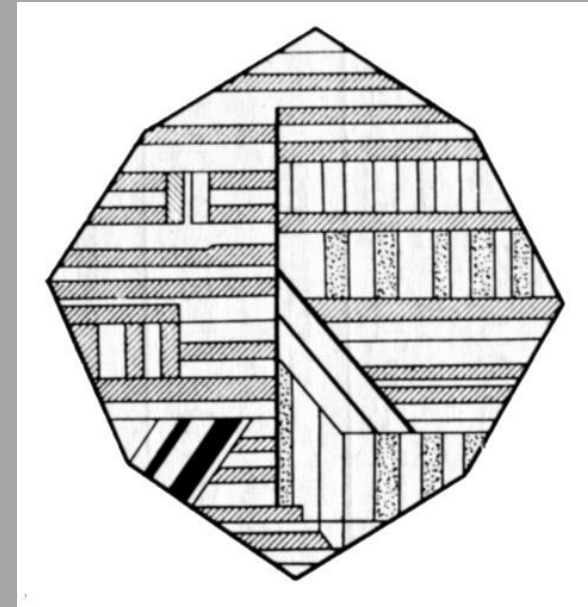
С повышением плотности каркаса не только падает содержание воды и ослабевают ионообменные свойства, но также растет степень избирательности кристалла в отношении крупных катионов.

Цеолиты

Структурный тип анальцима FD: 18.6
Минералы имеют пограничное положение между фельдшпатоидами и цеолитами.

- Анальцим $\text{Na}[\text{AlSi}_2\text{O}_6] \cdot \text{H}_2\text{O}$
- Лейцит $\text{K}[\text{AlSi}_2\text{O}_6]$
- Поллуцит $(\text{Cs}, \text{Na})[\text{AlSi}_2\text{O}_6] \cdot \text{H}_2\text{O}$

В основе каркаса четверные и шестерные кольца из AlO_4 - и SiO_4 -тетраэдров. Шестерные кольца располагаются друг над другом, образуя непрерывные каналы. В лейците и поллуците K^+ и Cs^+ располагаются в каналах. В анальциме Na^+ находится в квадратных пустотах.



Сингония минералов со структурным типом анальцима кубическая.

Лейцит при T ниже 625°C за счет искажения структуры и смещения K от центра каналов переходит в тетр. сингонию.

Цеолиты

Лейцит – породообразующий минерал недосыщенных SiO_2 эффузивных щелочных пород. Обычно кристаллизуется вместе с нефелином одним из первых, образуя порфировые вкрапленники. Не встречаются парагенезисы лейцита и кварца, т.к. при их реакции должен образовываться КПШ!

При взаимодействии с расплавом лейцит легко замещается агрегатами кальсилита (KAlSiO_4) или нефелина и КПШ с образованием псевдоморфоз (*псевдолейцит*).

При взаимодействии с гидротермальными растворами лейцит замещается агрегатами КПШ, мусковита, цеолитов также с образованием псевдоморфоз (*эпилейцит*).



Кристалл лейцита. Roccamonfina Volcanic Complex, Campania, Italy



Кристалл лейцита в пористой лаве. Somma-Vesuvius Complex, Italy

Цеолиты

Анальцим – редко породообразующий минерал щелочных магматических пород, чаще встречается в щелочных пегматитах, гидротермальных образованиях, метаморфитах.



Анальцим (кристаллы до 8-9 см) с томсонитом.
Озерное м-ние, р. Ниж. Тунгуска

<http://geo.web.ru/druza>



Поллуцит – минерал гранитных пегматитов!

Поллуцит (кристалл ~20 см). Shengus mine, Пакистан.
<http://geo.web.ru/druza>

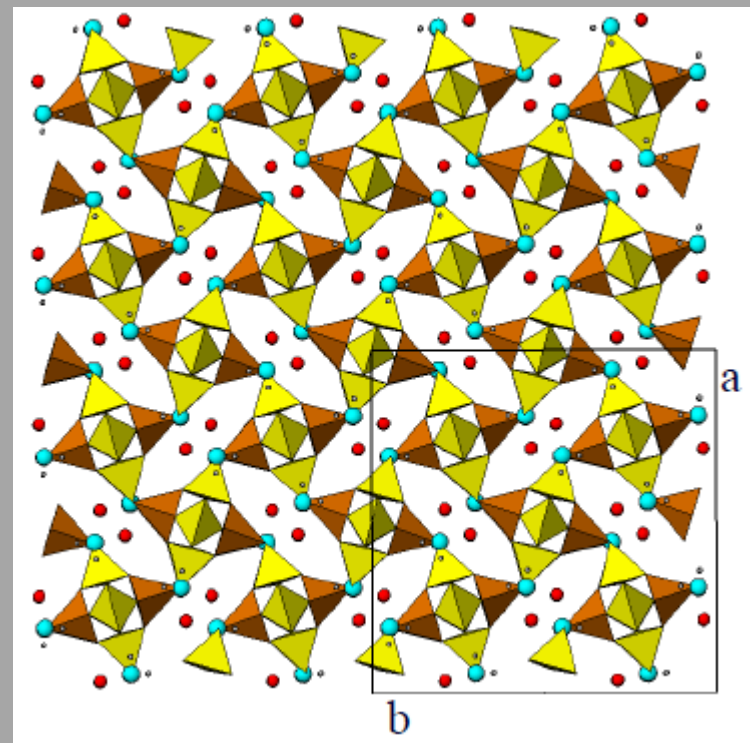
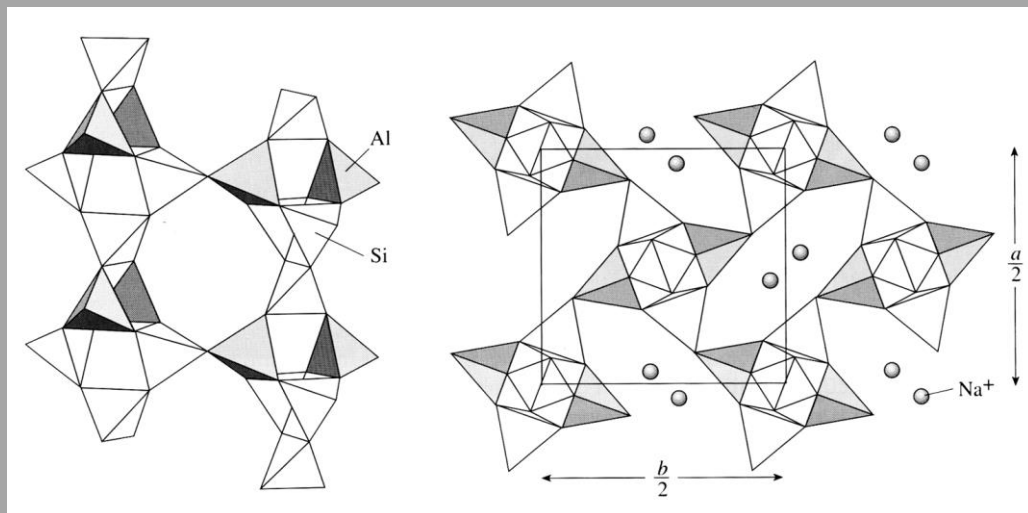
Цеолиты

Структурный тип натролита FD: 17.8

– Натролит $\text{Na}_2[\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

– Сколецит $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$

Субцепочечная структура из сконденсированных пятерных звеньев SiO_4 - и AlO_4 -тетраэдров. Вода кристаллогидратная, фиксирована в структуре (как в анальците, поллуците) - «ненастоящие цеолиты»!



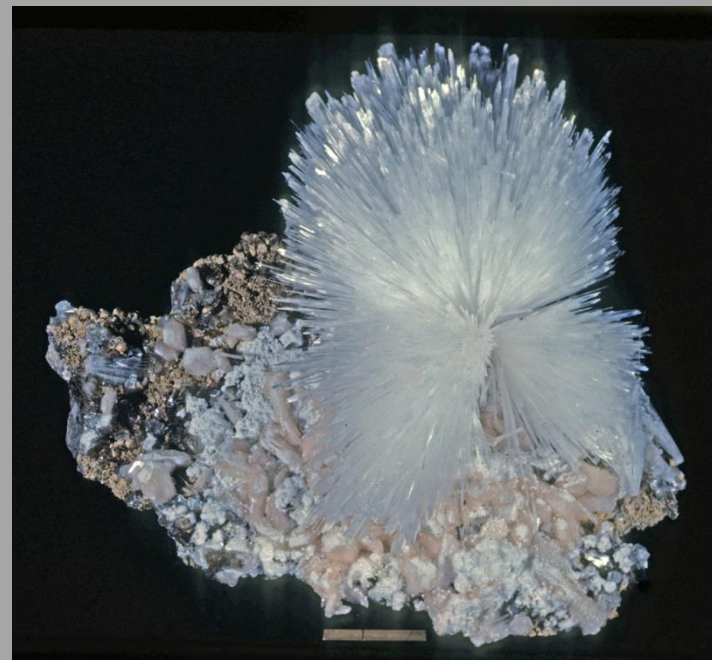
Структура натролита

http://crystal.geology.spbu.ru/files/courses/crystalChem_rock_minerals/crm_05.pdf

Цеолиты



Натролит. Хибиньы.
Кристалл 30x11x12 см.



Сколецит, Индия



Натролит, Индия

Цеолиты

Структурный тип томпсонита FD:
17.7

Томпсонит $\text{Ca}_2\text{Na}[\text{Al}_5\text{Si}_5\text{O}_{20}] \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

Структура субцепочечная

Структурный тип ломонтита
FD: 17.7

Ломонтит $\text{Ca}_4[\text{Al}_8\text{Si}_{16}\text{O}_{48}] \cdot 18\text{H}_2\text{O}$

Структура переходная от
субцепочечной к субслоистой.

Около 30% объёма минерала занимает
вода! Ломонтит на воздухе неустойчив,
может достаточно быстро потерять
часть воды и рассыпаться в порошок!



Ломонтит, Первомайский карьер, Крым
<http://webmineral.ru>



Ломонтит, Петропавловский карьер, Крым
<http://webmineral.ru>

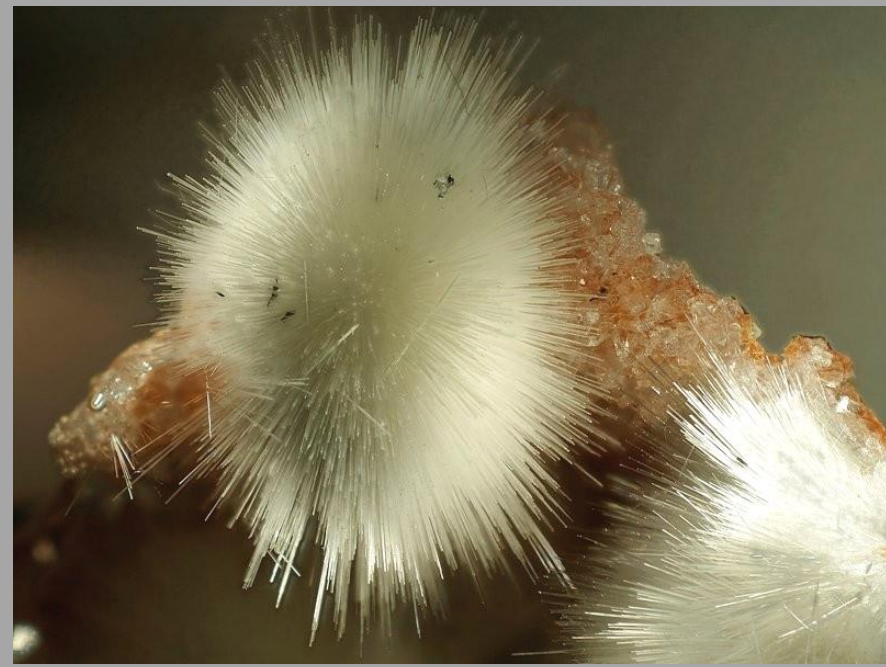
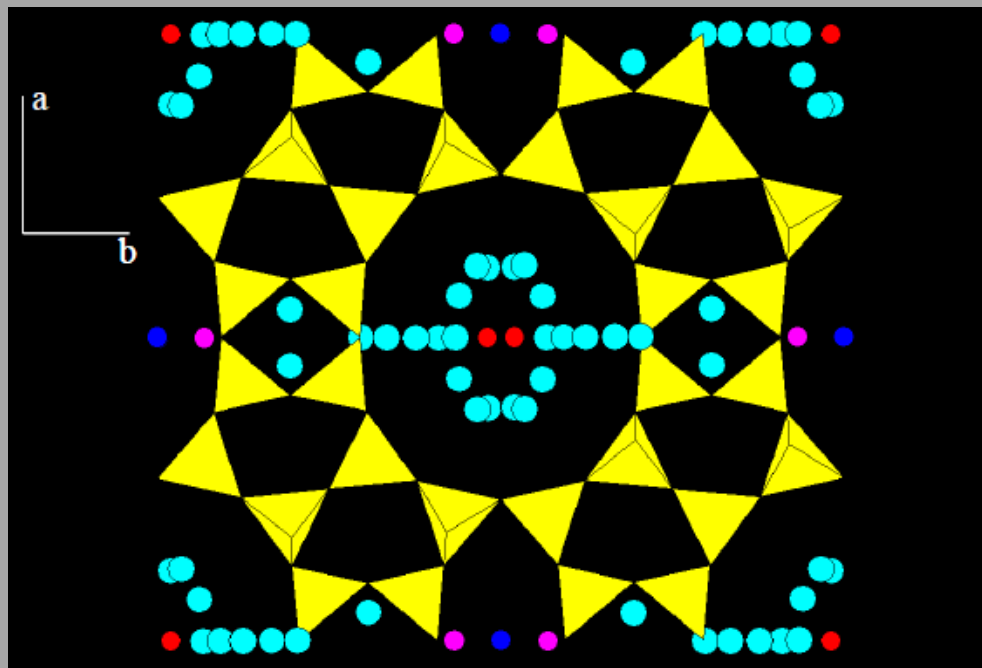
Цеолиты

Структурный тип морденита FD: 17.2

Морденит $(\text{Na}_2, \text{Ca}, \text{K}_2)[\text{Al}_8\text{Si}_{40}\text{O}_{96}] \cdot 28\text{H}_2\text{O}$

Структура субцепочечная с крупными полостями

Промышленно важный природный цеолит.



Структура морденита

http://crystal.geology.spbu.ru/files/courses/crystalChem_rock_minerals/crm_05.pdf

Морденит, шт. Вашингтон, США

Цеолиты

Структурный тип гейландита FD: 17.0

- Гейландит-Ca $(\text{Ca}_{0,5}, \text{Na}, \text{K})_9[\text{Al}_9\text{Si}_{27}\text{O}_{72}] \cdot 24\text{H}_2\text{O}$

- Гейландит-Sr

- Гейландит-Na

- Гейландит-K

- Клиноптилолит-Na

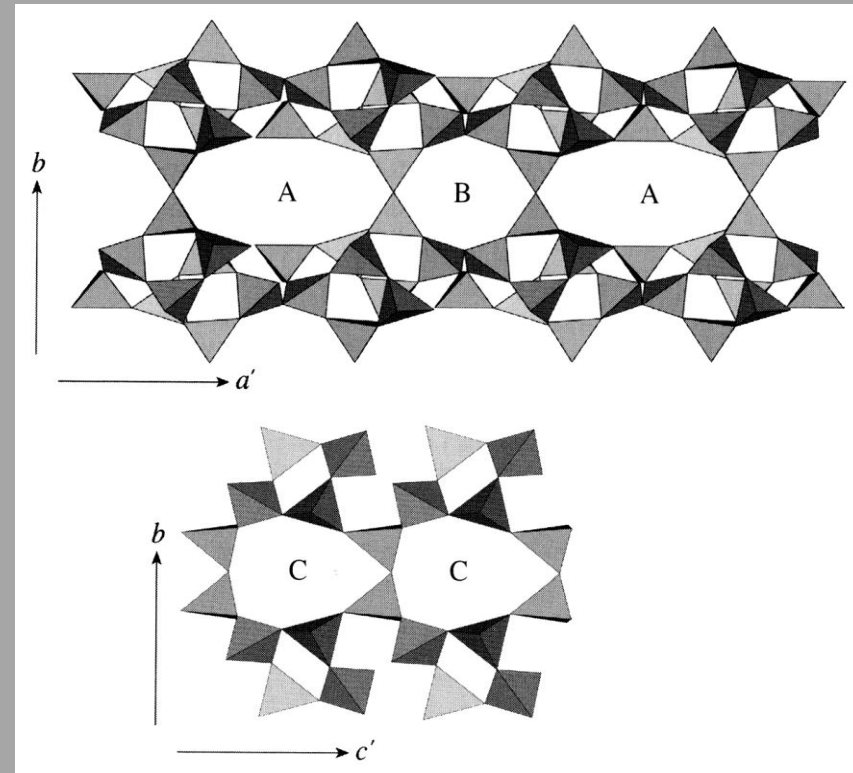
$(\text{Na}, \text{K}, \text{Ca}_{0,5})_6[\text{Al}_6\text{Si}_{30}\text{O}_{72}] \cdot 20\text{H}_2\text{O}$

- Клиноптилолит-K

- Клиноптилолит-Ca

Субслоистая структура

*Клиноптилолит и гейландит –
важнейшие для
промышленности природные
цеолиты*



Структура клиноптилолита с каналами 3-х типов – А, В и С. В каналах располагаются крупные катионы образующие гидратные комплексы.

Цеолиты



Гейландит, Индия



Гейландит с включениями селадонита, Индия

Цеолиты

Структурный тип **филлипсита** FD: 15.8

Филлипсит-Са $(\text{Ca}_{0.5}, \text{Na}, \text{K}, \text{Ba}_{0.5})_{4-7}[\text{Al}_{4-7}\text{Si}_{12-9}\text{O}_{32}] \cdot 12\text{H}_2\text{O}$

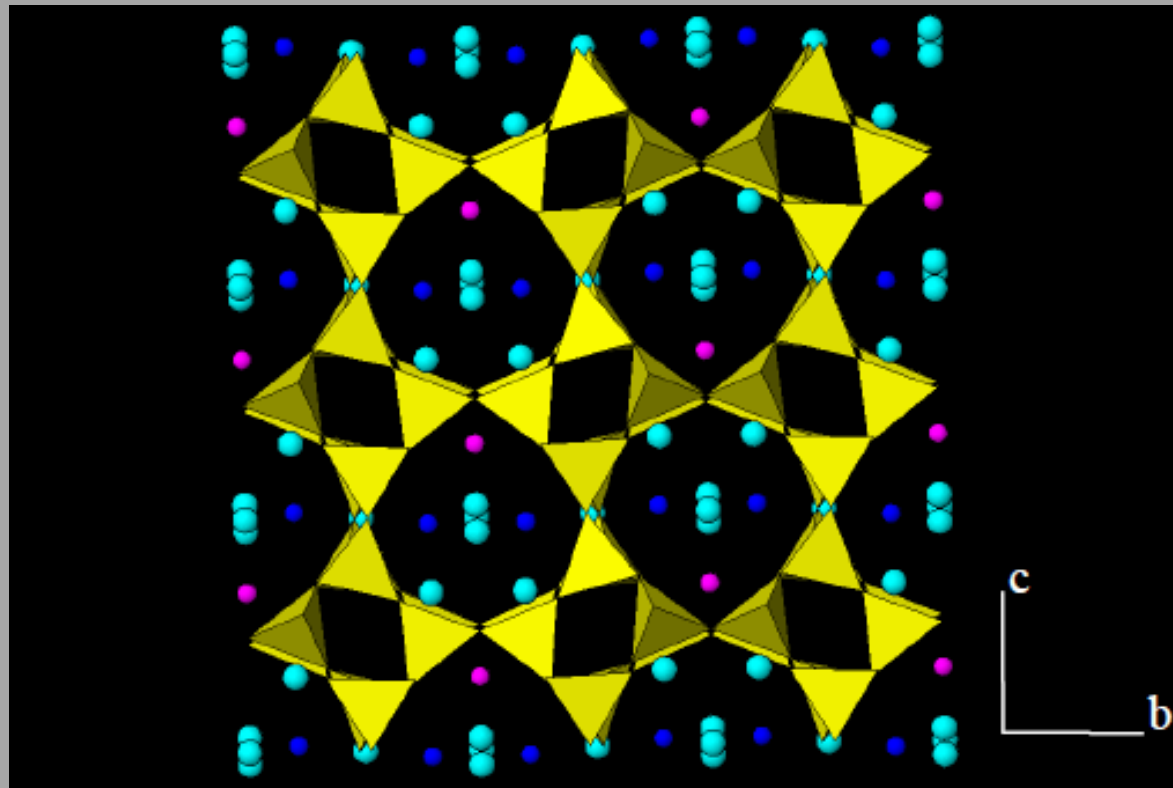
Филлипсит-К

Филлипсит-На

Гармотом $(\text{Ba}_{0.5}, \text{Ca}_{0.5}, \text{Na}, \text{K})_5[\text{Al}_5\text{Si}_{11}\text{O}_{32}] \cdot 12\text{H}_2\text{O}$

Структура филлипсита

http://crystal.geology.spbu.ru/files/courses/crystalChem_rock_minerals/crm_05.pdf



Цеолиты

Структурный тип гмелинита FD: 14.6

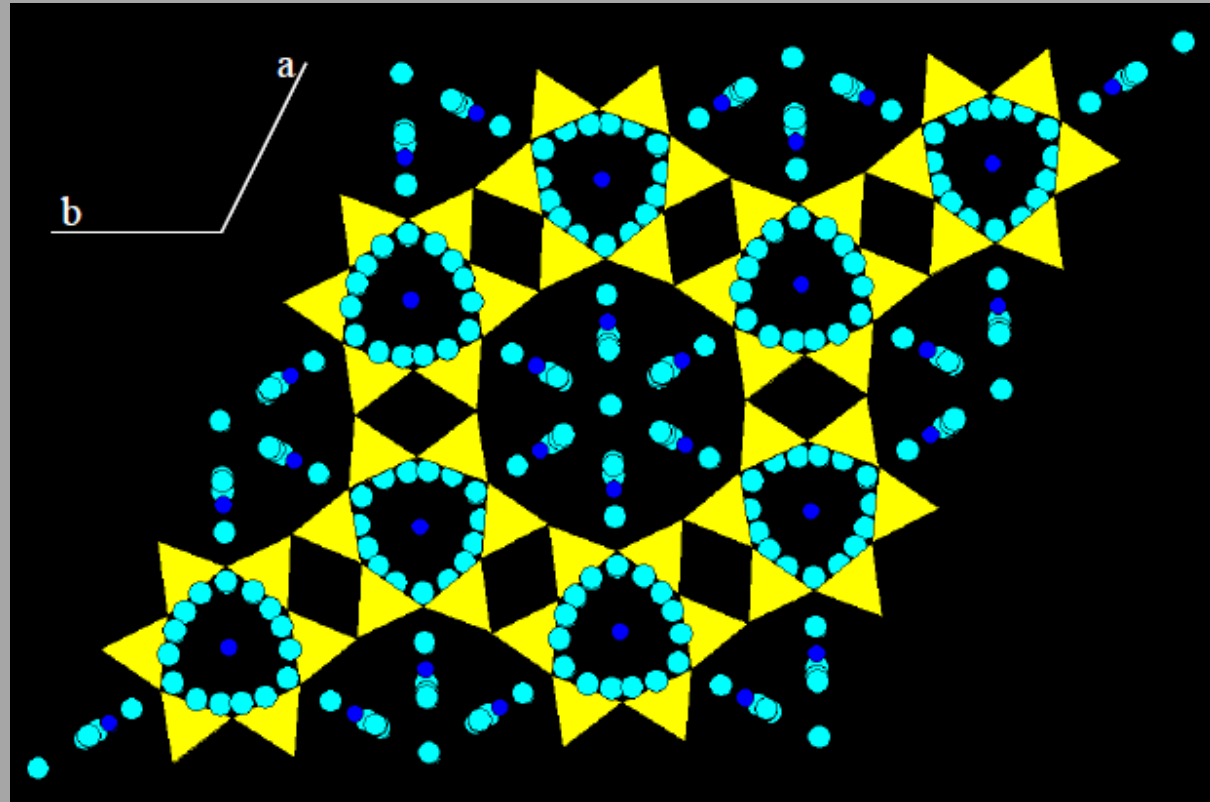
Гмелинит-Са $(\text{Ca}_{0,5}, \text{Sr}_{0,5}, \text{Na}, \text{K})_4[\text{Al}_8\text{Si}_{16}\text{O}_{48}] \cdot 22\text{H}_2\text{O}$

Гмелинит-К

Гмелинит-На

Структура гмелинита

http://crystal.geology.spbu.ru/files/courses/crystalChem_rock_minerals/crm_05.pdf



Цеолиты

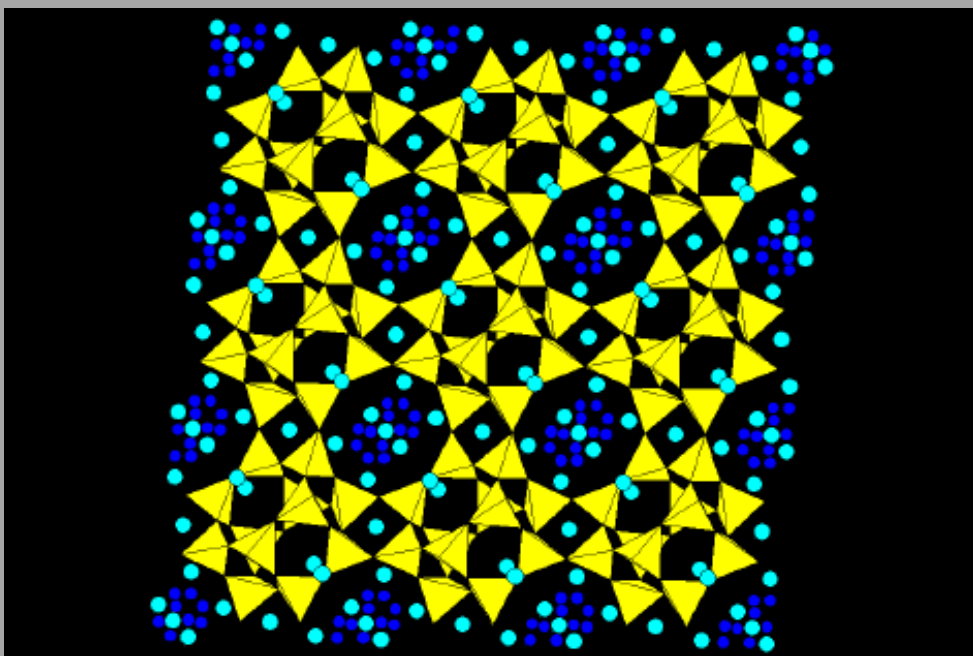
Структурный тип шабазита FD: 14.6



Шабазит-Na

Шабазит-K

Промысленно важный природный цеолит.



Структура шабазита

http://crystal.geology.spbu.ru/files/courses/crystalChem_rock_minerals/crm_05.pdf



Шабазит, Соколовский р-к, Казахстан

Генезис цеолитов

Магматические образования

Щелочные и гранитные пегматиты

Гидротермально-метасоматические образования

(скарновые и гидротермальные рудные месторождения, измененные щелочные породы (шпреуштейнизация))

Низкоградный метаморфизм (цеолитовая фация)

Измененные вулканогенно-осадочные толщи

Самые знаменитые в «музейно-минералогическом» отношении объекты - это тела базальтов и андезитов с полостями (Индия, Сибирь), а также скарновые и гидротермальные рудные месторождения.

Большинство промышленных месторождений цеолитов связано с сильно измененными вулканитами, в первую очередь туфами и донными осадками.

Использование цеолитов

- Очистка и смягчение питьевой воды
- Глубокая осушка газов (актуально при транспортировке природного газа)
- Избирательное поглощение определенных веществ из жидких или газовых сред
- Очистка сточных вод, в том числе от радиоактивных изотопов Sr, Cs, Co и других побочных продуктов производств, имеющих дело с ядерными реакциями, а также от токсичных тяжелых металлов Tl, Cd, Hg, Pb и др.
- Катализаторы (крекинг нефти; образуются те молекулы, которые по размеру соответствуют размеру каналов)
- Высококачественные наполнители при производстве бумаги и резины
- Добавки к минеральным удобрениям, регулирующие поступление элементов в почву.
- В медицине для повышения иммунитета и ускорения вывода тяжелых металлов и радионуклидов.