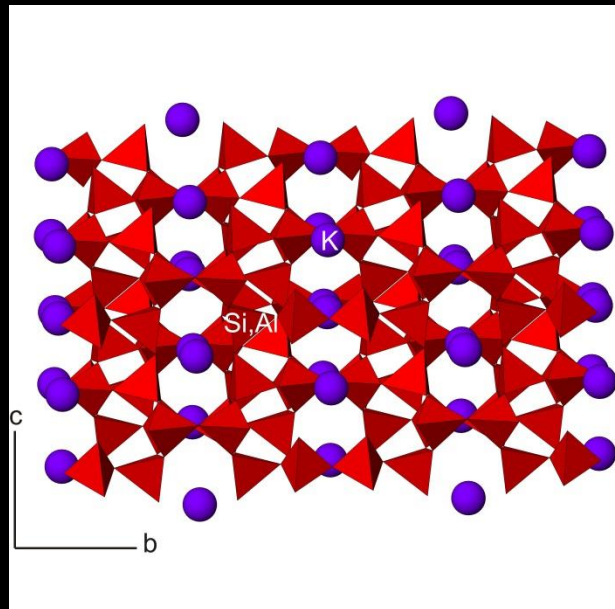
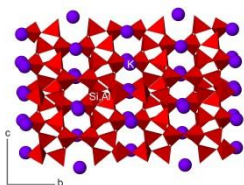


Кристаллохимия породообразующих минералов

Лекция 2. Полевые шпаты, Щелочные полевые шпаты

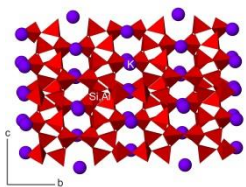




Полевые шпаты

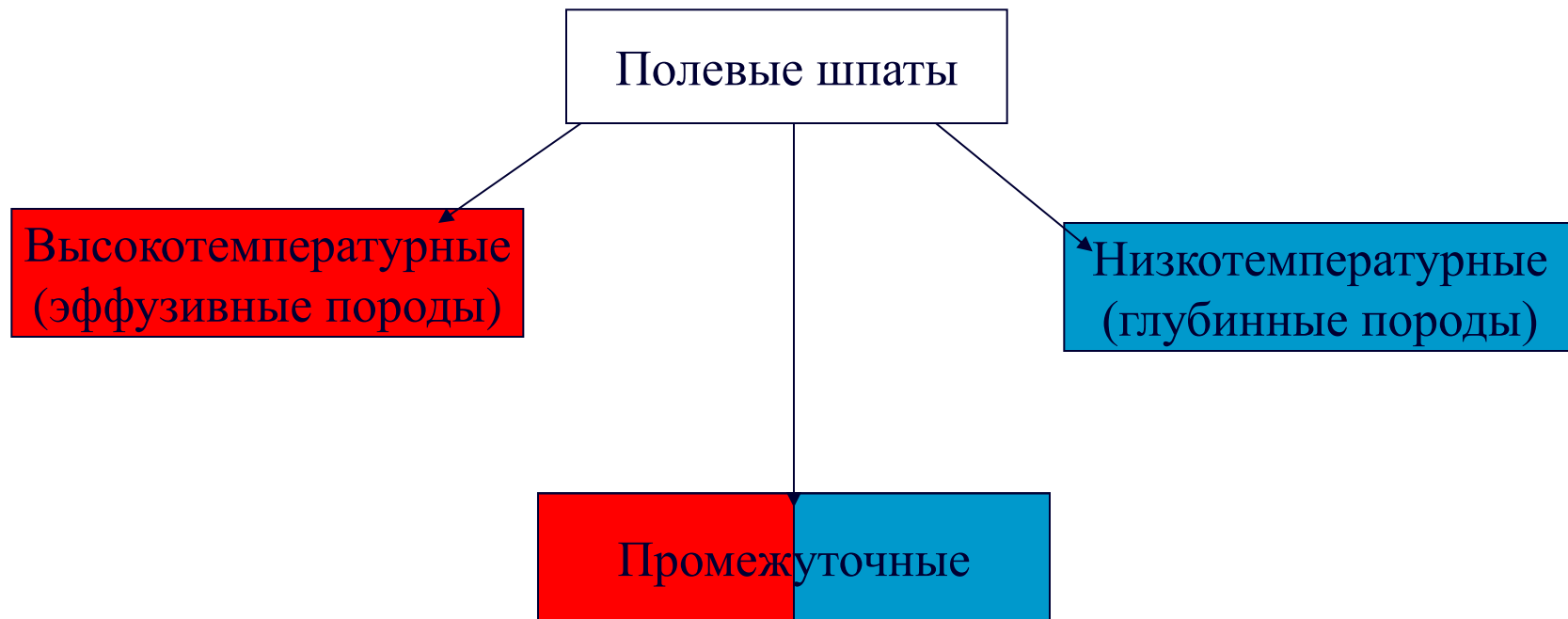
- все типы магматических пород до 60% объема (кроме некоторых ультраосновных и щелочных)
- пегматиты и жильные породы
- гнейсы, сланцы, метаморфизованные породы
- осадочные породы (песчаные)

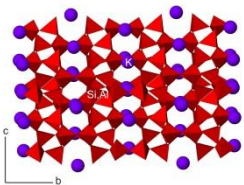
существует большое число разновидностей П.Ш., отличающихся химическими, физическими и структурными свойствами; образование различных П.Ш. зависит от температуры кристаллизации и от дальнейшей «температурной истории» минералов



Полевые шпаты

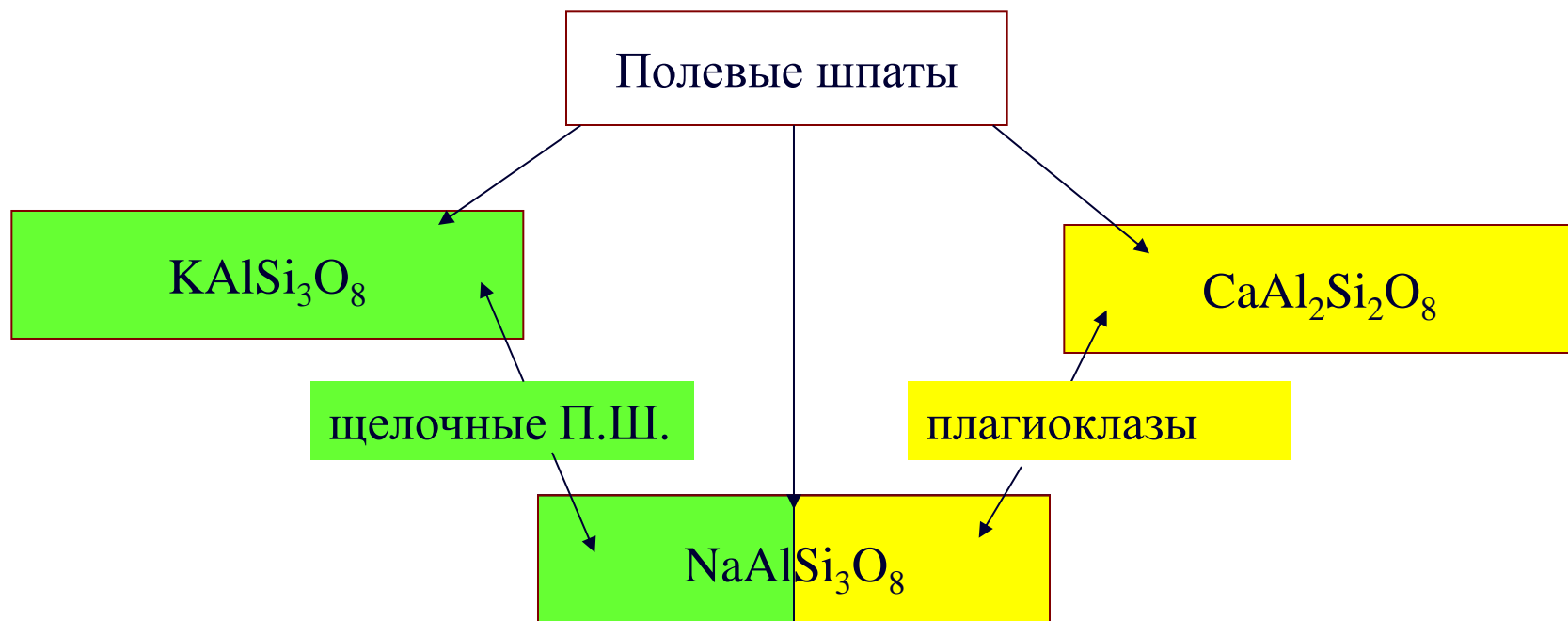
по генезису (структуре):

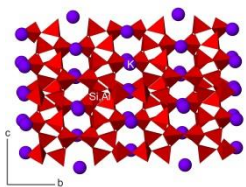




Полевые шпаты

по составу:





Чистые конечные члены П.Ш.



→ анортит, триклинный



→ высокий альбит, триклинный/моноклинный
→ промежуточный альбит
→ низкий альбит, триклинный

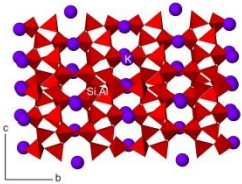


→ санидин, моноклинный
→ ортоклаз, моноклинный
→ микроклин, триклинный

↓ максимальный микроклин (наиболее косоугольная решетка), триклинный

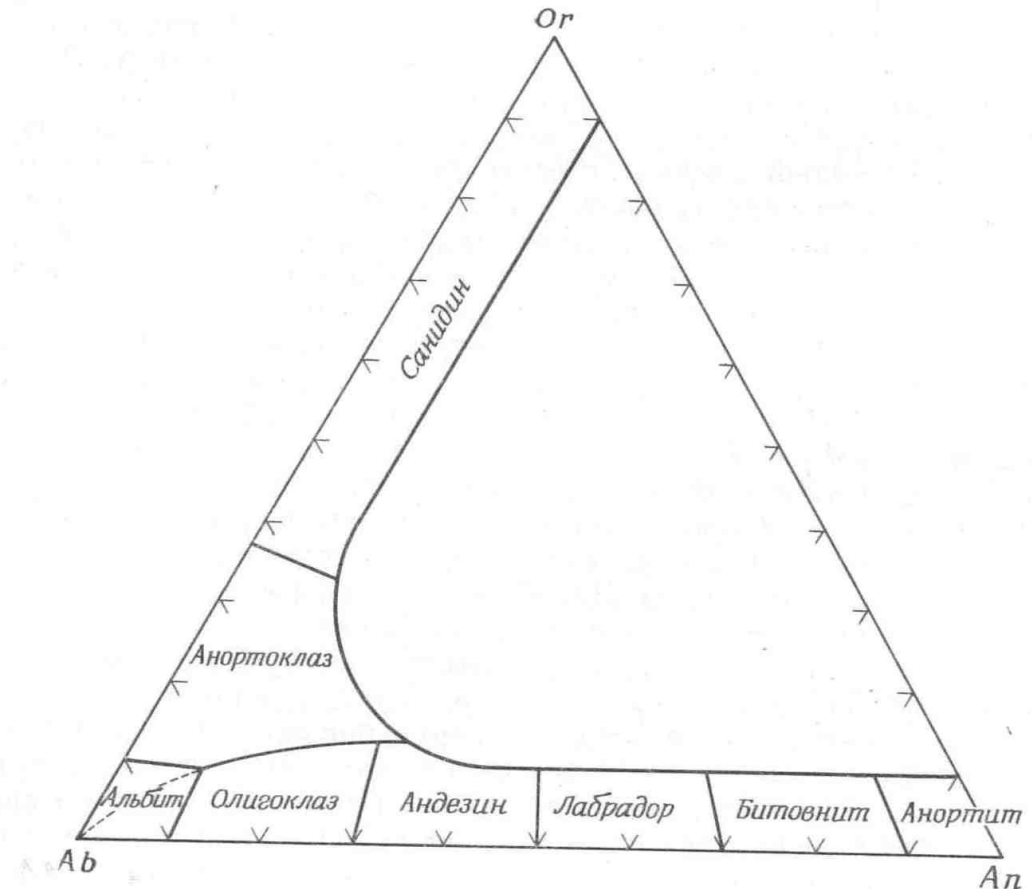
T

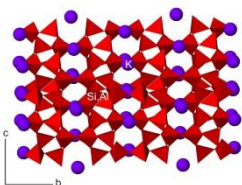
T



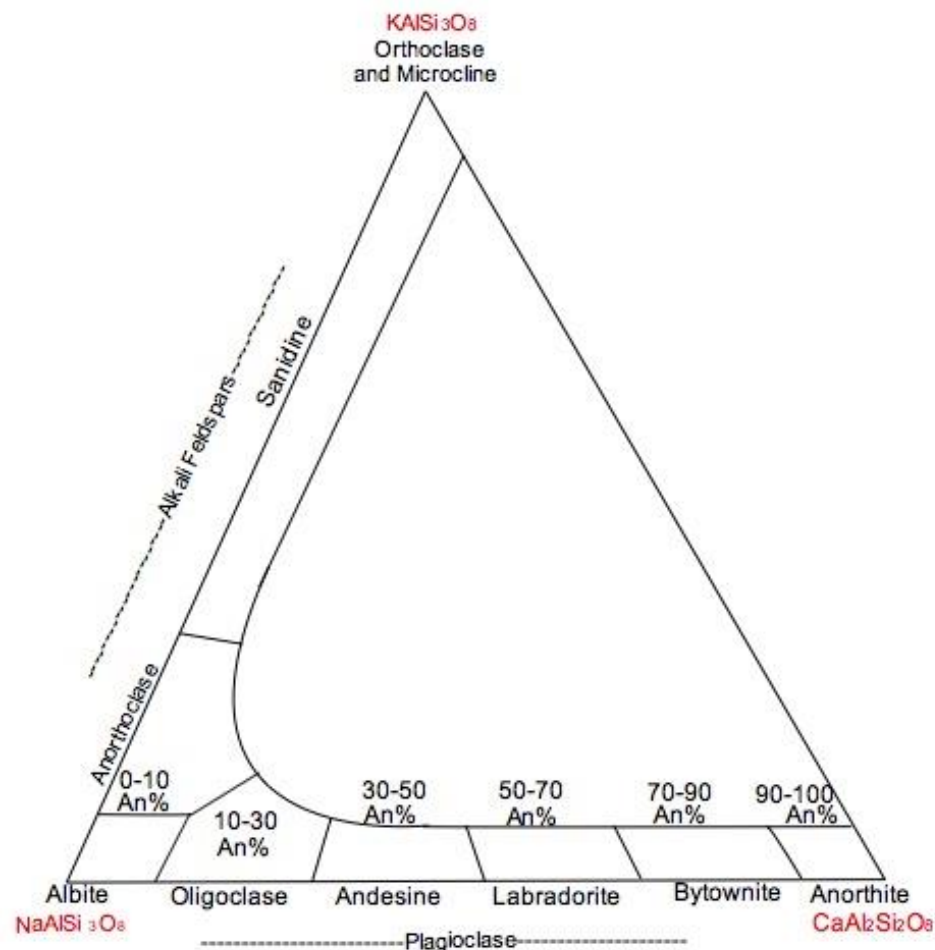
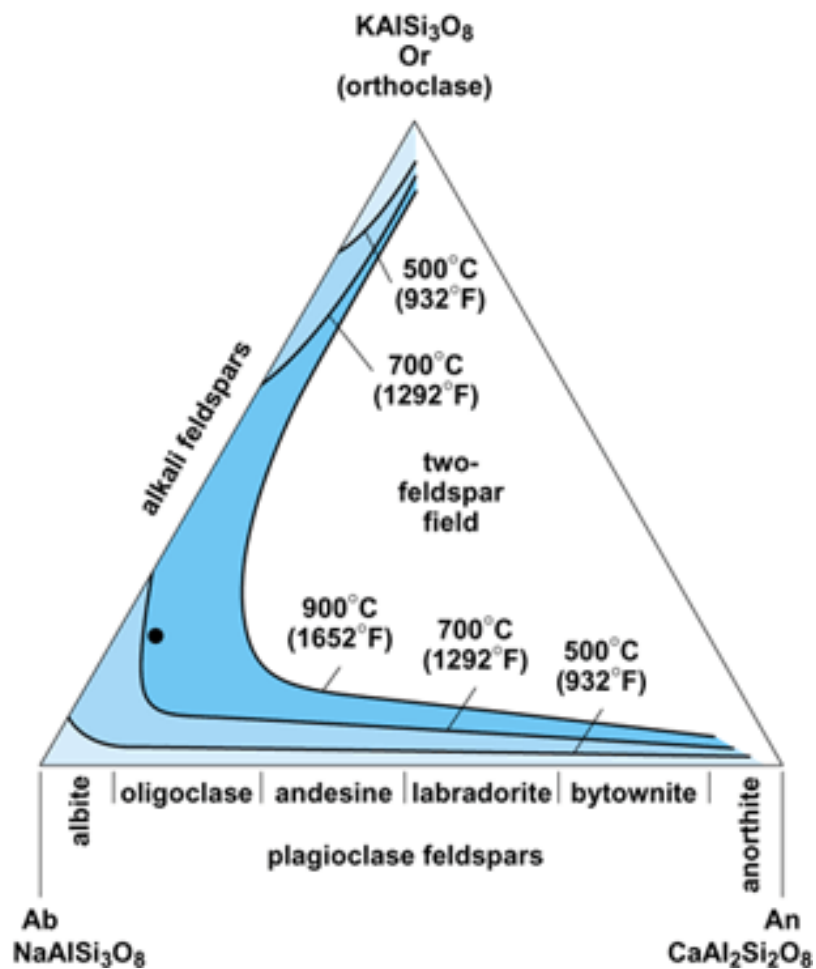
Полевые шпаты

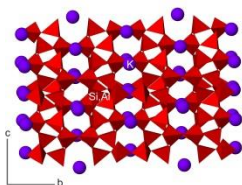
- высокотемпературные серии щелочных П.Ш. и плагиоклазов представляют собой непрерывные серии твердых растворов
- низкотемпературные серии щелочных П.Ш.: растворимость ограничена, существуют раздельно K и Na фазы, которые срастаются - криптопертиты, микропертиты, пертиты
- низкотемпературные серии плагиоклазов имеют сложный характер



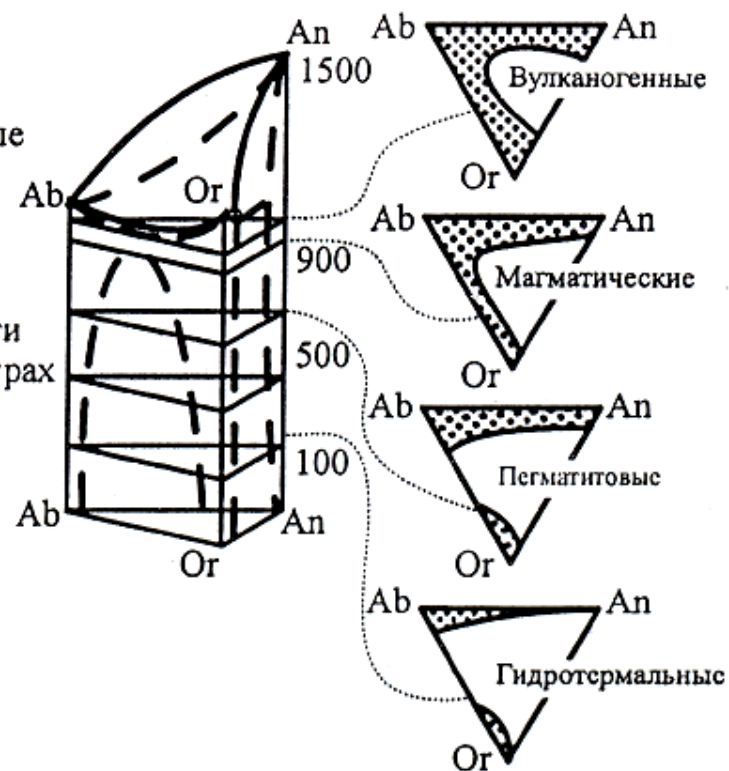
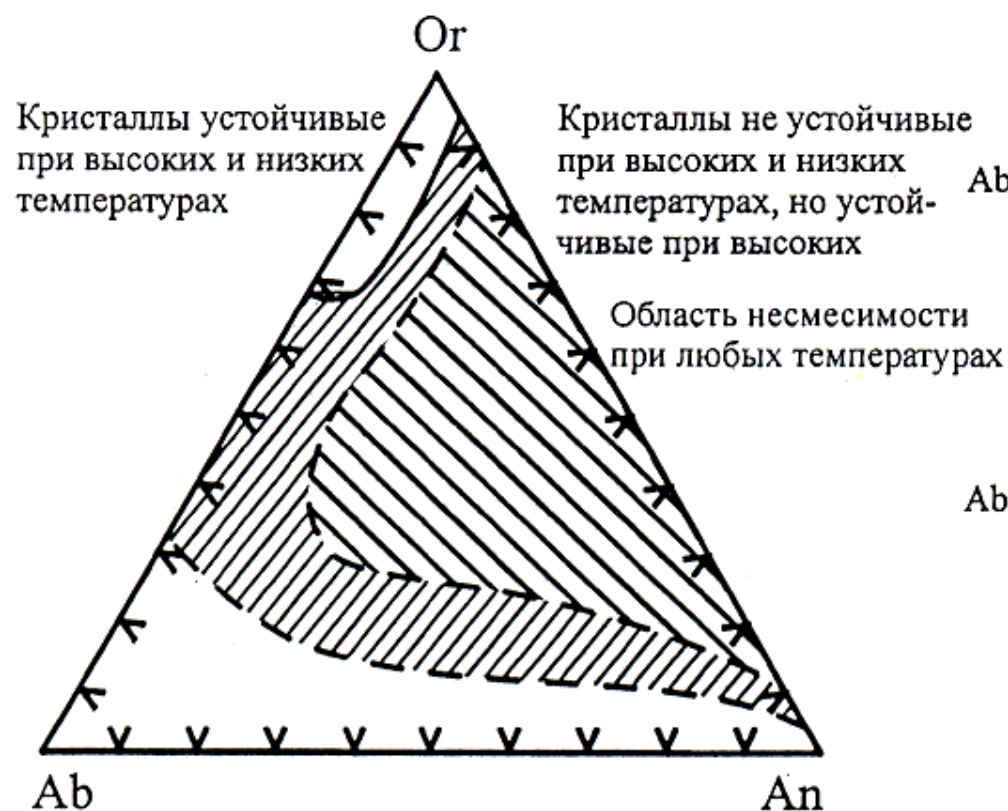


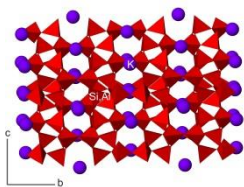
Полевые шпаты





Полевые шпаты





Номенклатура щелочных П.Ш.

Alkali Feldspars

Orthoclase (K,Na)[(Si,Al)₄O₈] Monoclinic, *C2/m* *a* = 8.56, *b* = 12.96, *c* = 7.21 Å β = 116.1°

Sanidine > 450°C (K,Na)[(Si,Al)₄O₈] Monoclinic, *C2/m* *a* = 8.60, *b* = 13.03, *c* = 7.18 Å β = 116.0°

Microcline < 450°C K[AlSi₃O₈] ordered Triclinic, *C-1* *a* = 8.59, *b* = 12.97, *c* = 7.22 Å
 α = 90.6, β = 116.0, γ = 87.6°

Monalbite > 980°C Na[(AlSi₃O₈] Monoclinic, *C2/m* *a* = 8.14, *b* = 12.99, *c* = 7.16 Å β = 116.3°

Anorthoclase (high) > 400°C (Na,K)[(AlSi₃O₈] disordered Monoclinic, *C2/m* *a* = 8.35, *b* = 12.98, *c* = 7.16 Å β = 116.1°

Anorthoclase (low) < 400°C (Na,K)[AlSi₃O₈] ordered Triclinic, *C-1* *a* = 8.29, *b* = 12.97, *c* = 7.15 Å
 α = 91.2, β = 116.3, γ = 90.1°

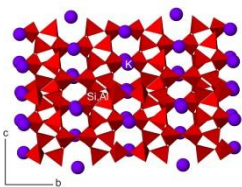
Hyalophane (гиалофан) (K,Ba)[(Al,Si)₂Si₂O₈] Monoclinic, *C2/m* *a* = 8.56, *b* = 13.04, *c* = 7.20 Å β = 115.7°

Celsian (цельзиан) Ba[Al₂Si₂O₈] Monoclinic, *I2/c* *a* = 8.62, *b* = 13.08, *c* = 14.41 Å β = 115.1°

Rubincine (Rb,K)[AlSi₃O₈] Triclinic, *P-1* *a* = 8.81, *b* = 13.01, *c* = 7.18 Å
 α = 90.3, β = 115.7, γ = 88.2°

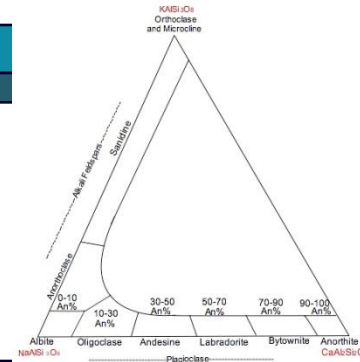
Buddingtonite (баддингтонит) (NH₄)[AlSi₃O₈] Monoclinic, *P2₁* *a* = 8.57, *b* = 13.03, *c* = 7.19 Å β = 112.7°

Filatovite K[(Al,Zn)₂(As,Si)₂O₈] ~ 400°C Monoclinic, *I2/c* *a* = 8.77, *b* = 13.37, *c* = 14.69 Å β = 116.7°



Номенклатура плагиоклазов

Plagioclase Feldspars



Albite (high) An_{0-10} $(Na,Ca)[(Si,Al)_4O_8]$ Triclinic, $C-1$ $a = 8.16$, $b = 12.88$, $c = 7.11 \text{ \AA}$
 $\alpha = 93.5$, $\beta = 116.5$, $\gamma = 90.2^\circ$

Albite (low) An_{0-10} $(Na,Ca)[(Si,Al)_4O_8]$ Triclinic, $C-1$ $a = 8.14$, $b = 12.79$, $c = 7.16 \text{ \AA}$
 $\alpha = 94.2$, $\beta = 116.6$, $\gamma = 87.7^\circ$

Oligoclase An_{10-30} $(Na,Ca)[(Si,Al)_4O_8]$ Triclinic, $C-1$ $a = 8.16$, $b = 12.82$, $c = 7.14 \text{ \AA}$
 $\alpha = 94.0$, $\beta = 116.5$, $\gamma = 88.6^\circ$

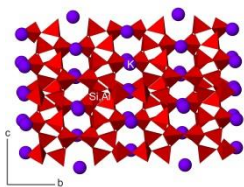
Andesine An_{30-50} $(Na,Ca)[(Si,Al)_4O_8]$ Triclinic, $P-1$ $a = 8.15$, $b = 12.83$, $c = 14.21 \text{ \AA}$
 $\alpha = 93.6$, $\beta = 116.2$, $\gamma = 89.7^\circ$

Labradorite An_{50-70} $(Ca,Na)[(Si,Al)_4O_8]$ Triclinic, $C-1$ $a = 8.17$, $b = 12.87$, $c = 7.10 \text{ \AA}$
 $\alpha = 93.5$, $\beta = 116.0$, $\gamma = 90.5^\circ$

Bytownite (битовнит) An_{70-90} $(Ca,Na)[(Si,Al)_4O_8]$ Triclinic, $I-1$ $a = 8.19$, $b = 12.88$, $c = 14.20 \text{ \AA}$
 $\alpha = 93.4$, $\beta = 116.0$, $\gamma = 90.9^\circ$

Anorthite An_{90-100} $(Ca,Na)[(Si,Al)_4O_8]$ Triclinic, $P-1$ $a = 8.18$, $b = 12.88$, $c = 14.17 \text{ \AA}$
 $\alpha = 93.2$, $\beta = 115.8$, $\gamma = 91.2^\circ$

Reedmergnerite (ридмерджнерит) $Na[(BSi_3O_8)]$ Triclinic, $C-1$ $a = 7.84$, $b = 12.37$, $c = 6.81 \text{ \AA}$
 $\alpha = 93.3$, $\beta = 116.4$, $\gamma = 92.0^\circ$



Номенклатура П.Ш.

Feldspar-like minerals

Paracelsian $\text{Ba}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$ Monoclinic, $P2_1/a$ $a = 9.07$, $b = 9.59$, $c = 8.58 \text{ \AA}$, $\beta = 90.2^\circ$

Svyatoslavite (святославит) $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$ Orthorhombic, $P2_12_12$ $a = 8.23$, $b = 8.61 \text{ \AA}$, $c = 4.85$

Slawsonite-1M $\text{Sr}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$ Monoclinic, $P21/a$ $a = 8.89$, $b = 9.34$, $c = 8.33 \text{ \AA}$, $\beta = 90.3^\circ$

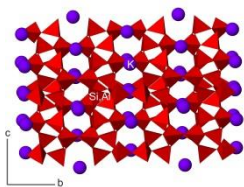
Slawsonite-1A (слаусонит) $\text{Sr}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$ Triclinic, $P-1$ $a = 6.14$, $b = 8.99$, $c = 7.46 \text{ \AA}$
 $\alpha = 90.0$, $\beta = 90.3$, $\gamma = 90.0^\circ$

Lisetie (лисетит) $\text{CaNa}_2[\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{16}]$ Orthorhombic, $Pbc2_1$ $a = 8.26$, $b = 17.09$, $c = 9.65 \text{ \AA}$

Stronalsite (стрональсит) $\text{SrNa}_2[\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{16}]$ Orthorhombic, $Ibam$ or $Iba2$ $a = 8.42$, $b = 9.90$, $c = 16.73 \text{ \AA}$

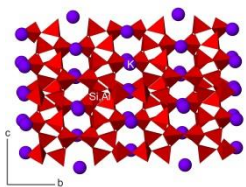
Banalsite (банальсит) $\text{BaNa}_2[\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{16}]$ Orthorhombic, $Ibam$ $a = 8.50$, $b = 9.98$, $c = 16.76 \text{ \AA}$

Danburite $\text{Ca}[\text{B}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$ Orthorhombic, $Pnam$ $a = 8.04$, $b = 8.75$, $c = 7.73 \text{ \AA}$



Номенклатура П.Ш.

- Tilas, 1740: *нем.* feldtspat – термин полевой шпат, feldt – пашня, spath – брусочки
- Kirwan, 1794: *нем.* felspar, fels - порода
- Плагиоклаз: *греч.* plagios (косой, наклонный)
- Микроклин: *греч.* mikros (небольшой), klinein (наклонять)
- Ортоклаз: *греч.* orthos (прямой) klasis (излом)
- Анортоклаз: *греч.* an (отрицательная частица), orthos (прямой), klasis (излом)
- Санидин: *греч.* sanis (таблетка), idos (явление, вид)
- Альбит: *лат.* albus (белый)
- Олигоклаз: *греч.* oligos (маленький), klasis (излом)
- Анортит: *греч.* an (отрицательная частица), orthos (прямой)
- Андезин: горы Андо
- Лабрадор: побережье Лабрадора
- Битовнит: по местности Битовн (Оттава)
- Гиалофан: *греч.* hualos (стеклянный), phanes (явление, вид)
- Цельзиан: в честь швед. естествоиспытателя А. Цельзиуса
- Пертит: месторождение Перт, Квебек.

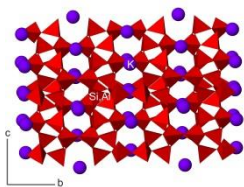


Щелочные полевые шпаты



- Щелочные полевые шпаты: кислые и щелочные интрузивные и эффузивные породы, гнейсы, метаморфизованные глинистые породы
- Калиевые крайние члены редки, содержат обычно большую примесь $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$
- Выделяют четыре серии Щ.П.Ш.: высокий санидин – высокий альбит, санидин – высокий альбит, ортоклаз – низкий альбит, микроклин – низкий альбит
- При высоких температурах образуют непрерывный ряд твердых растворов, с уменьшением температуры увеличивается распад смешимости: в результате Щ.П.Ш. состоят из двух фаз (К и Na) – образуются специфичные текстуры: крипто-, микро-, пертиты (антипертиты)





Номенклатура щелочных П.Ш.

Alkali Feldspars

Orthoclase (K,Na)[(Si,Al)₄O₈] Monoclinic, *C2/m* *a* = 8.56, *b* = 12.96, *c* = 7.21 Å β = 116.1°

Sanidine > 450°C (K,Na)[(Si,Al)₄O₈] Monoclinic, *C2/m* *a* = 8.60, *b* = 13.03, *c* = 7.18 Å β = 116.0°

Microcline < 450°C K[AlSi₃O₈] ordered Triclinic, *C-1* *a* = 8.59, *b* = 12.97, *c* = 7.22 Å
 α = 90.6, β = 116.0, γ = 87.6°

Monalbite > 980°C Na[(AlSi₃O₈] Monoclinic, *C2/m* *a* = 8.14, *b* = 12.99, *c* = 7.16 Å β = 116.3°

Anorthoclase (high) > 400°C (Na,K)[(AlSi₃O₈] ordered Monoclinic, *C2/m* *a* = 8.35, *b* = 12.98,
c = 7.16 Å β = 116.1°

Anorthoclase (low) < 400°C (Na,K)[AlSi₃O₈] ordered Triclinic, *C-1* *a* = 8.29, *b* = 12.97, *c* = 7.15 Å
 α = 91.2, β = 116.3, γ = 90.1°

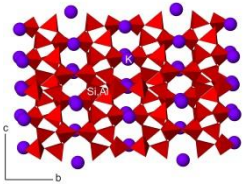
Hyalophane (K,Ba)[(Al,Si)₂Si₂O₈] Monoclinic, *C2/m* *a* = 8.56, *b* = 13.04, *c* = 7.20 Å β = 115.7°

Celsian Ba[Al₂Si₂O₈] Monoclinic, *I2/c* *a* = 8.62, *b* = 13.08, *c* = 14.41 Å β = 115.1°

Rubincine (Rb,K)[AlSi₃O₈] Triclinic, *P-1* *a* = 8.81, *b* = 13.01, *c* = 7.18 Å
 α = 90.3, β = 115.7, γ = 88.2°

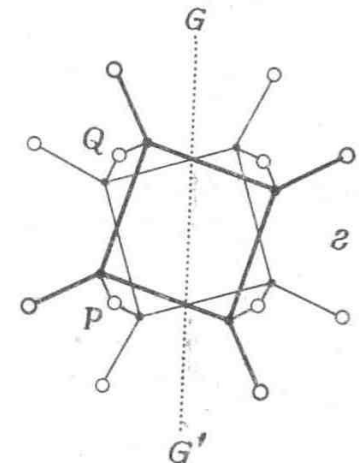
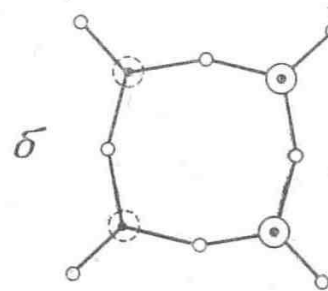
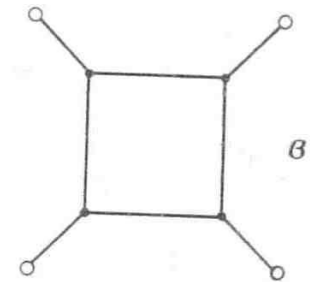
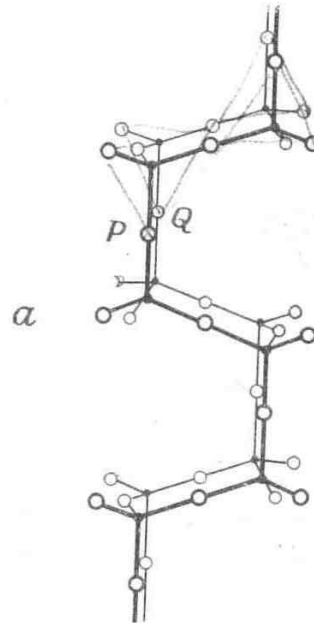
Buddingtonite (NH₄)[AlSi₃O₈] Monoclinic, *P2₁* *a* = 8.57, *b* = 13.03, *c* = 7.19 Å β = 112.7°

Filatovite K[(Al,Zn)₂(As,Si)₂O₈] ~ 400°C Monoclinic, *I2/c* *a* = 8.77, *b* = 13.37, *c* = 14.69 Å β = 116.7°

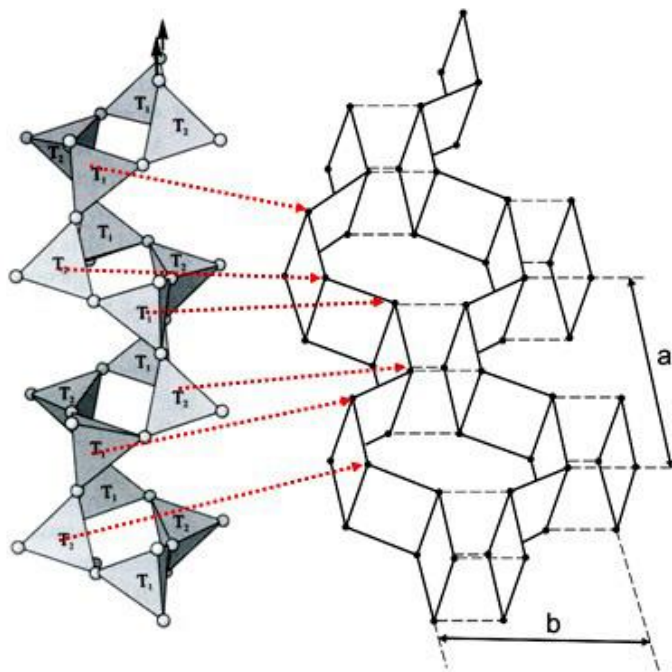


Структура щелочных П.Ш.

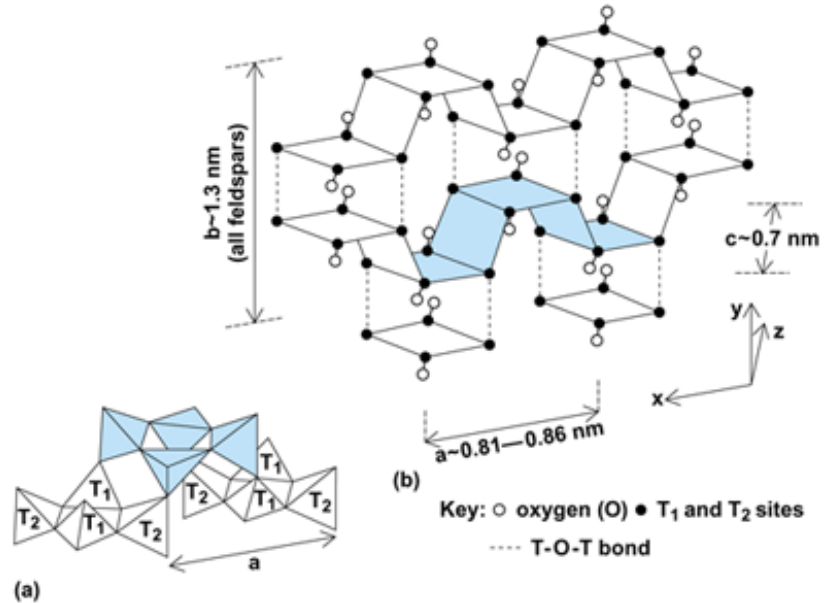
- $(\text{Si,Al})\text{O}_4$ тетраэдры, каркасные алюмосиликаты
- представление в виде цепей вдоль направления a (а), цепи состоят из колец (в, б), кольца состоят из 4-х тетраэдров
- кольца тетраэдров искажены
- горизонтальные кольца связаны по средствам кислородных атомов P, Q и связаны вертикальными плоскостями скользящего отражения (г)

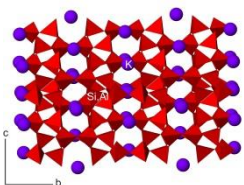


Структура щелочных П.Ш.



Dots at right indicate positions of cations at centers of tetrahedra





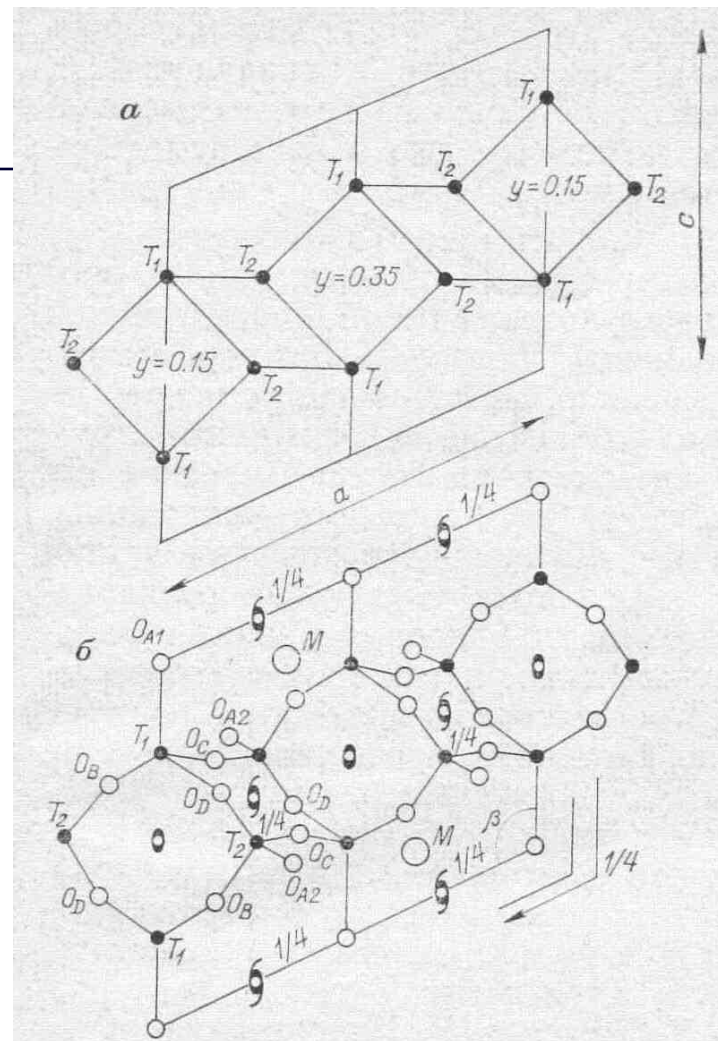
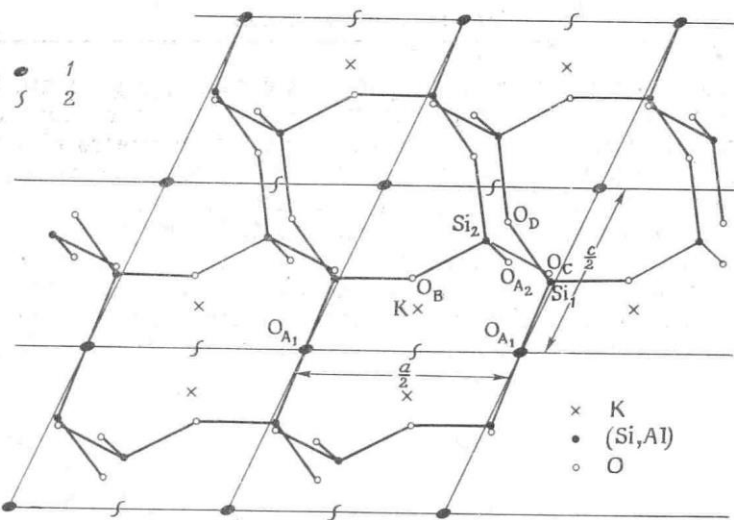
Структура щелочных П.Ш.

проекция структуры

моноклинного полевого шпата

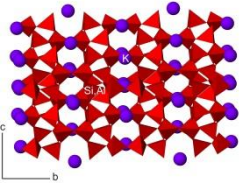
на плоскость (010)

- а: идеализированная схема сочленения колец кремнекислородных тетраэдров
- б: показаны атомы кислорода, калия, элементы симметрии



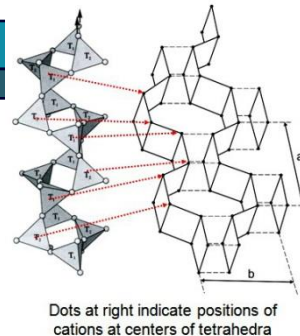
проекция на плоскость (010)

- 1 – вертикальные 2
- 2 – вертикальные 2_1



Структура щелочных П.Ш.

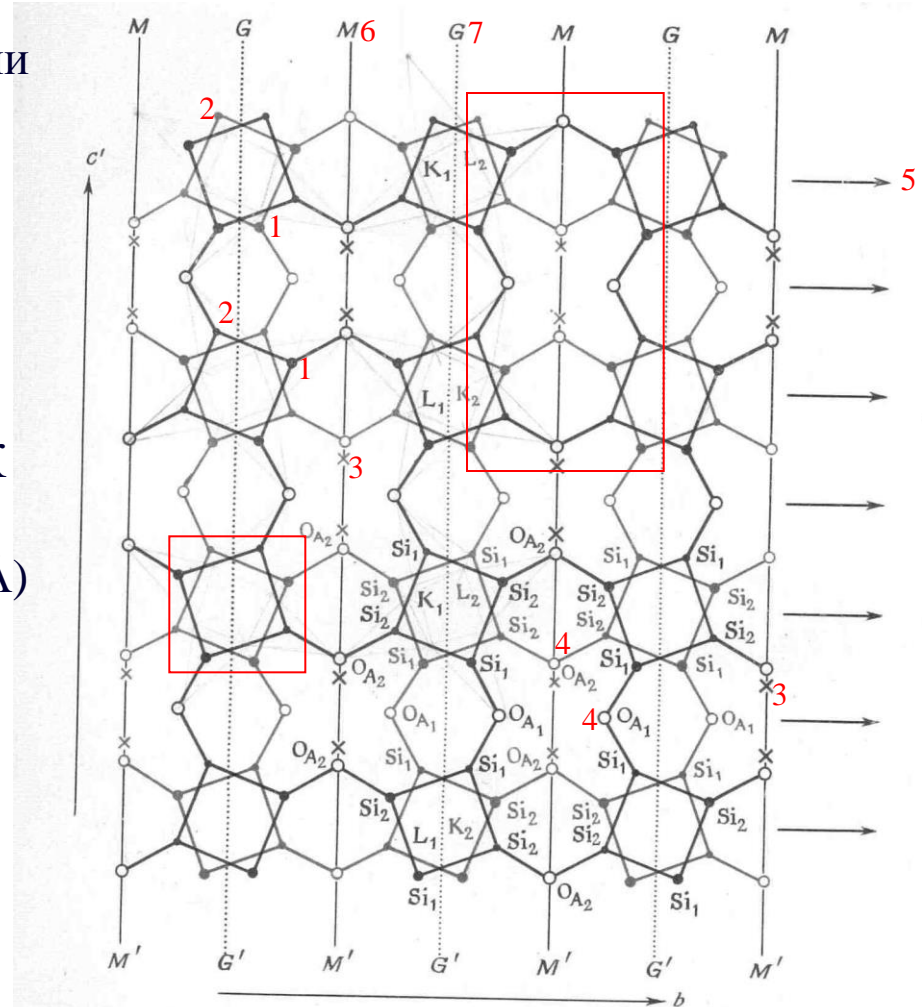
Моноклинные калиевые П.Ш.

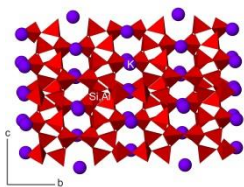


- связь колец друг с другом в направлении перпендикулярном длине цепи
- показано две сетки (первая выделена жирным)
- сетка состоит из 4- и 8- членных колец тетраэдров
- вторая сетка находится на высоте $a/2$
- внутри каркаса располагаются атомы К (на плоскостях m), координированные неравномерно 9 кислородами ($\langle K-O \rangle 3\text{\AA}$)

проекция на плоскость (100)

- 1 – тетраэдры, обращенные вверх
- 2 – тетраэдры, обращенные вниз
- 3 – калий
- 4 – кислород
- 5 – горизонтальные оси L_2
- 6 – m
- 7 – плоскость со скольжением $a/2$



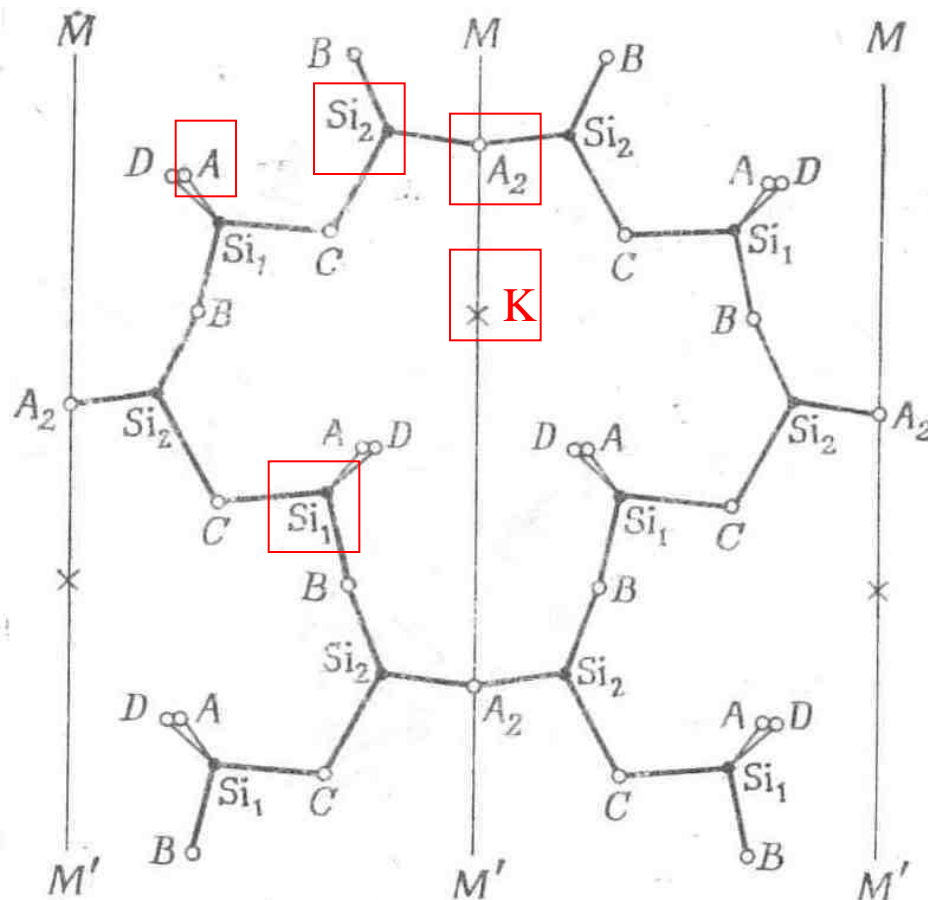


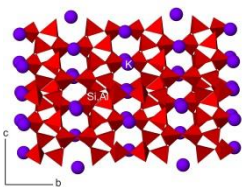
Структура щелочных П.Ш.

Моноклинные калиевые П.Ш.

проекция на плоскость (001)

- К, OA_2 – частные четырехкратные позиции на плоскостях симметрии
- OA_1 – частные четырехкратные позиции на осях 2
- остальные атомы – общие восьмикратные позиции
- позиции Si, Al – неупорядоченное распределение по двум тетраэдрическим позициям Si_1 и Si_2 (высокотемпературные модификации Щ.П.Ш.)
- Si, Al-O: 1.64 Å (санидин)
- K-O: 1 связь 2.698 Å, 8 связей 2.919-3.129 Å (санидин)
- ортоклаз: частичное упорядочение (Si, Al) по позициям Si_1 и Si_2



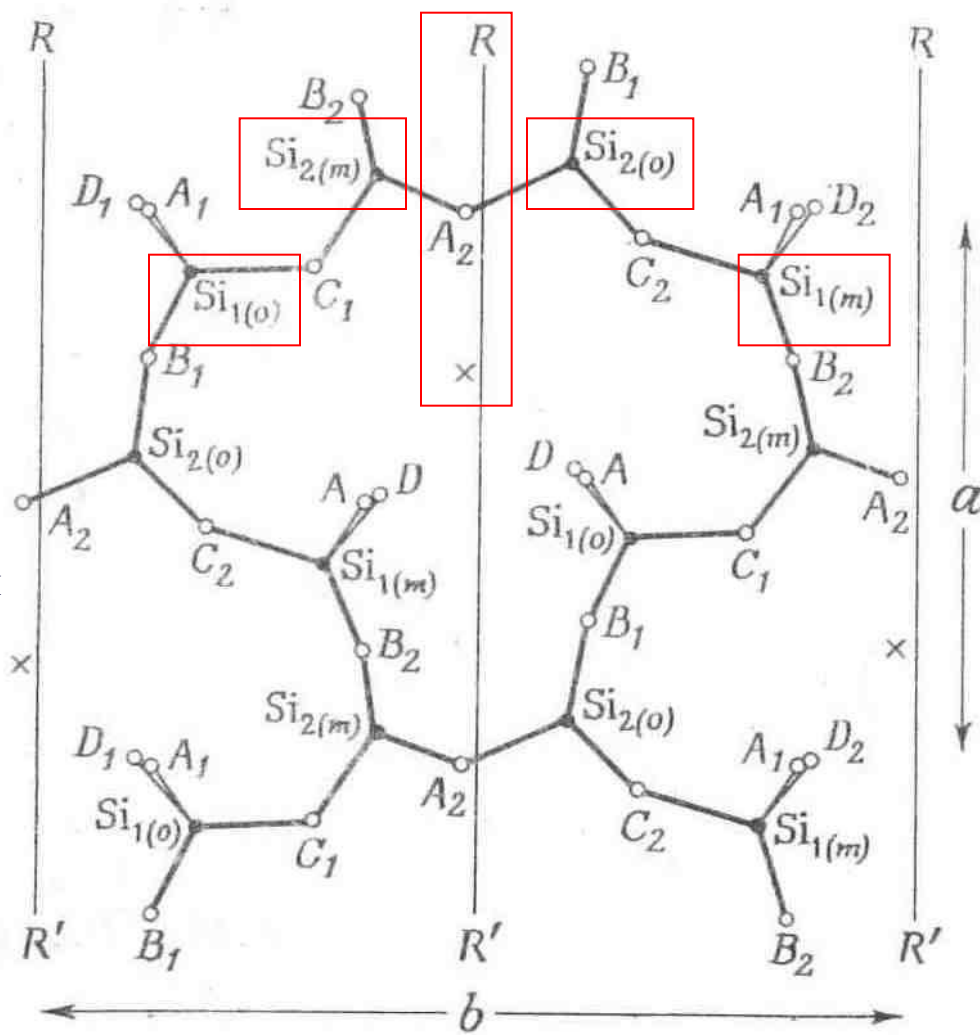


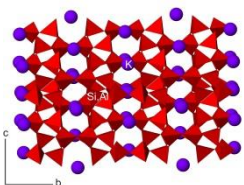
Структура щелочных П.Ш.

Триклинные калиевые П.Ш.

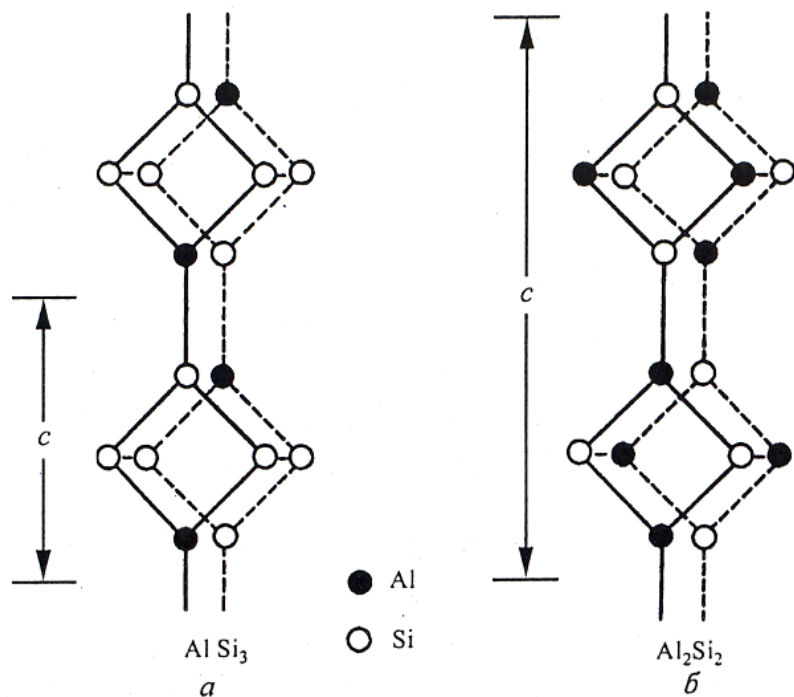
Микроклин – наиболее низкотемпературная форма KAlSi_3O_8 , упорядоченная структура, триклинная сингония $C-1$

- число эквивалентных общих положений уменьшается с 8 до 4
- вместо $\text{O}_B\text{O}_C\text{O}_D$ – четырехкратные позиции $\text{O}_{B1}\text{O}_{B2}\text{O}_{C1}\text{O}_{C2}\text{O}_{D1}\text{O}_{D2}$
- вместо Si_1Si_2 : позиции $\text{Si}_1(o)$, $\text{Si}_1(m)$, $\text{Si}_2(o)$, $\text{Si}_2(m)$
- различные длины связи (Si,Al) - O для 4-х тетраэдров, упорядочение Al по тетраэдрам
- степень отклонения от моноклинной симметрии (по углам α , γ) микроклинов – «триклинность»/ «косоугольность», наиболее триклинный микроклин – «максимальный микроклин»
- косоугольность решетки микроклина уменьшается при нагревании
- косоугольность решетки микроклина увеличивается с уменьшением содержания натрия

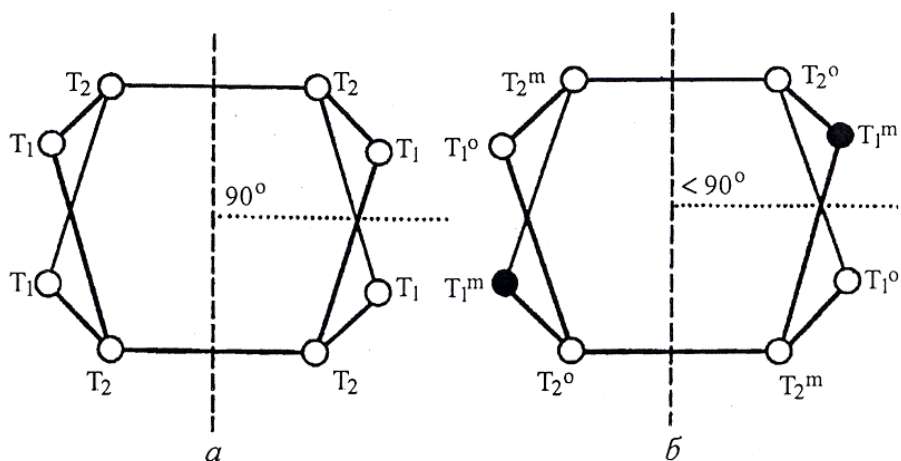




Структура щелочных П.Ш.

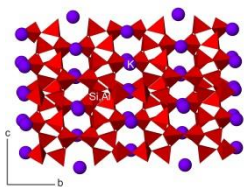


a – совершенная упорядоченность по Al и Si в микроклине и низком альбите с $\text{Al}:\text{Si}=1:3$;
 b – совершенная упорядоченность по Al и Si в анортите и низком альбите с $\text{Al}:\text{Si}=2$



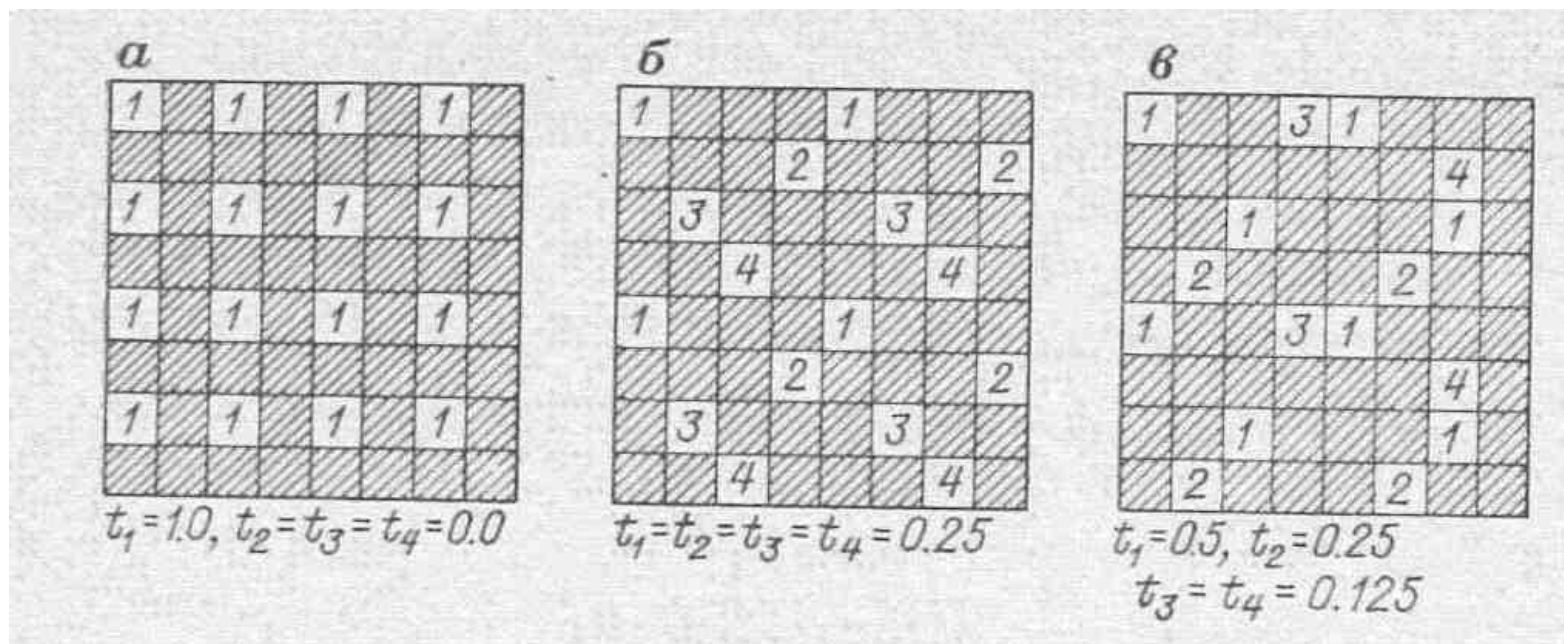
a – неискажённая структура моноклинного полевого шпата, когда оба тетраэдра T_1 и T_2 одинаково заполненные Al и Si;
 b – упорядоченная структура полевого шпата, где Al занимает позиции T_{1M} , приводя к искажению симметрии до триклинной

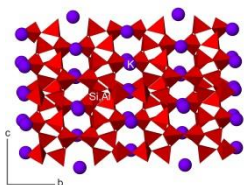
(Пантис, Мак-Коннелл, 1983)



Структура щелочных П.Ш.

Полностью неупорядоченный П.Ш (б).: атомы Al статистически распределены по кристаллографически неэквивалентным тетраэдрическим позициям; полностью упорядоченные П.Ш. (а) – атомы Al занимают строго определенную кристаллографическую позицию; (в) – П.Ш. промежуточной упорядоченности

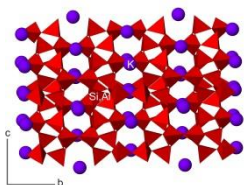




Структура калиевых П.Ш.

РАЗЛИЧНЫЕ СПОСОБЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АТОМОВ Al и Si ПО ГРУППАМ
ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ В ЭЛЕМЕНТАРНОЙ ЯЧЕЙКЕ
КАЛИЕВОГО ПОЛЕВОГО ШПАТА

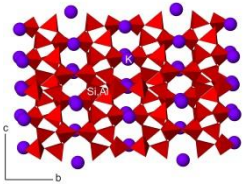
Моноклинный	Первое восьмикратное положение		Второе восьмикратное положение	
1	Si и Al		Si и Al	
2	Si		Si и Al	
Триклинный	Первое четырехкратное	Второе четырехкратное	Третье четырехкратное	Четвертое четырехкратное
3	Si и Al	Si и Al	Si и Al	Si и Al
4	Si	Si и Al	Si и Al	Si и Al
5	Si	Si	Si и Al	Si и Al
6	Si	Si	Si	Al



Структура калиевых П.Ш.

Распределения Al по тетраэдрическим подрешеткам полевых шпатов

Фаза	Сингония	T1o	T1m	T2o	T2m
Санидин	Моноклинная		0,25		0,25
Ортоклаз	Моноклинная		0,30		0,19
Микроклин	Моноклинная				
	Триклинная	0,25	0,56	0,07	0,08
Н-альбит (высокий)	Триклинная	0,25	0,25	0,25	0,25
Л-альбит (низкий)	Триклинная	0,80	0,00	0,22	0,10



Структура щелочных П.Ш.

Расстояния Т-О (тетраэдрический катион - кислород) линейно изменяются с составом тетраэдра

- значительные расхождения длин связи Т-О для алюмокислородных тетраэдров по данным разных авторов (1,2,3,4): разные оценки содержания Al в тетраэдрах
- уравнение Смита – определение содержания Al в тетраэдрах:

$$Al/(Al+Si) = 7.81[\{T-O\} - 1.612]$$

для $Al/(Al+Si)$ от 0 до 0.5

$$Al/(Al+Si) = 7.25[\{T-O\} - 1.676] + 0.5$$

для $Al/(Al+Si)$ от 0.5 до 1

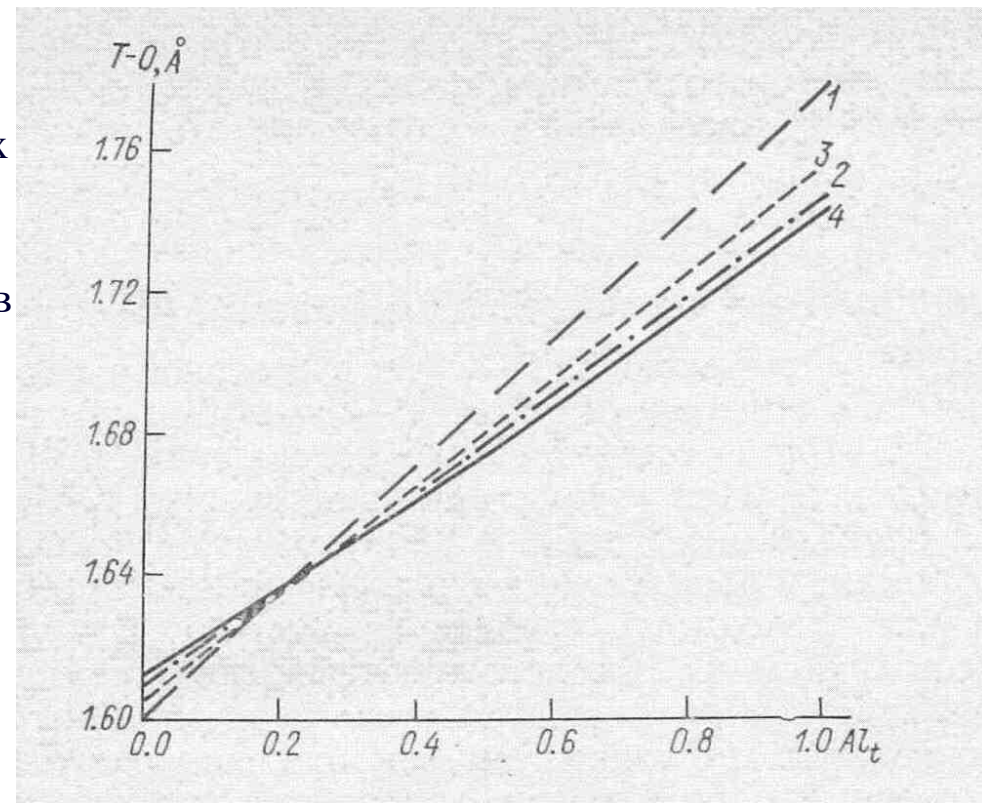
- тип катиона (Na, K, Ca) и координации:

влияет на угол Т-О-Т – влияет на расстояние Т-О

$$\Delta(T-O) = T_1o-O - 1/3(T_1m-O + T_2o-O + T_2m-O)$$

формула для расчета Al в тетраэдрах

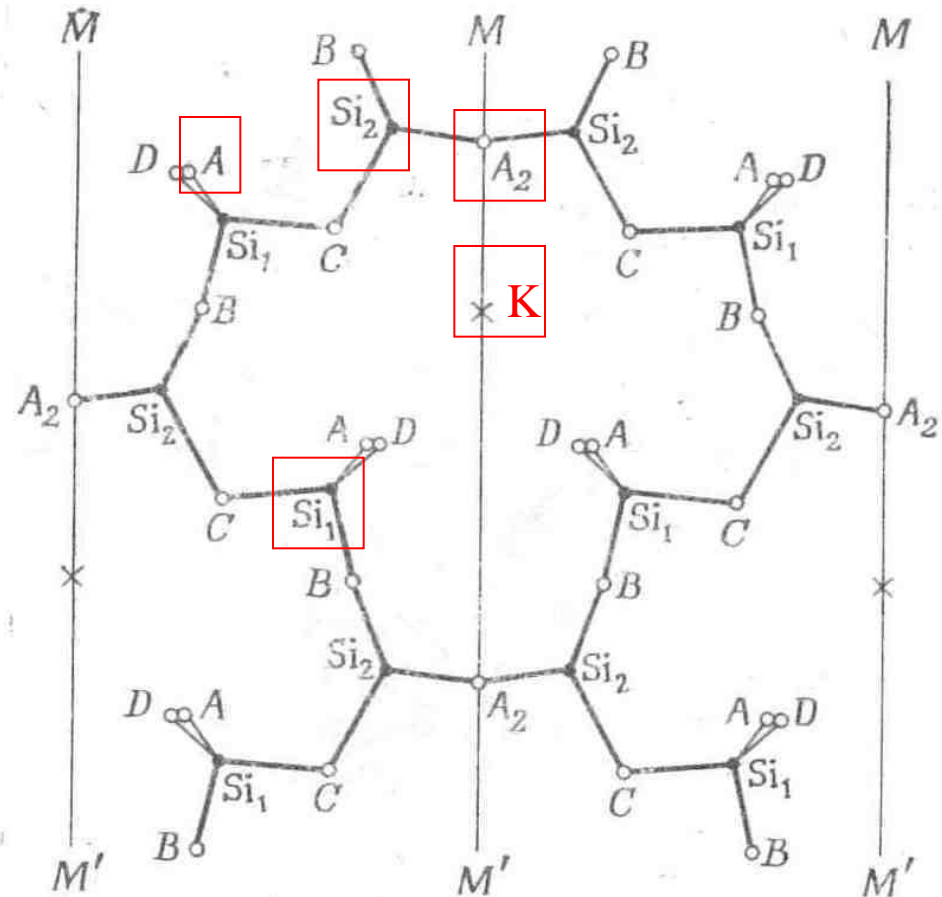
- концентрация Al в тетраэдрах – изменение длин связи Т-О – изменение п.э.я

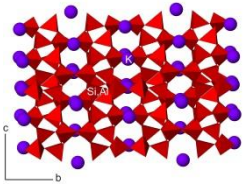


Структура щелочных П.Ш.

В процессе упорядочения наблюдается преимущественная концентрация Al в положении T_1 (для триклинных разновидностей T_1O), что объясняется неуравновешенностью зарядов у атомов кислорода O_{A1} и O_{A2} .

O_{A1} связан с двумя атомами T_1 и **двумя** атомами K, O_{A2} с двумя T_2 и **одним** K
 $\Sigma S(O_{A1}) = 2.097$, $\Sigma S(O_{A2}) = 1.986$
вхождение Al в T_1 уменьшает $\Sigma S(O_{A1})$
вхождение Si в T_2 увеличивает $\Sigma S(O_{A2})$

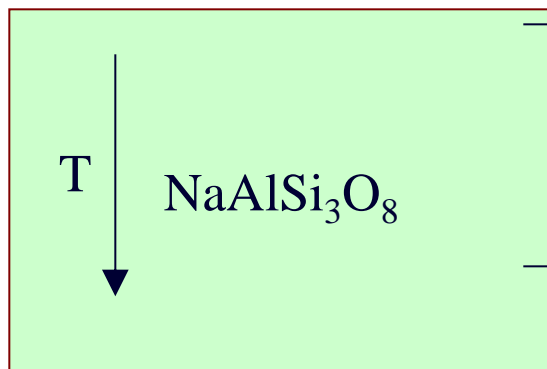




Натровые П.Ш.

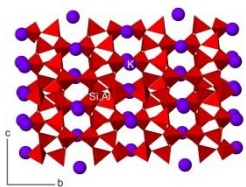
$\text{Na}(\text{AlSi}_3)\text{O}_8$, альбит, триклинная симметрия, $C-1$, сжатие структуры (вхождение Na в пустоты)

- по сравнению с К.П.Ш. заметное уменьшение параметра a
- четыре позиции (Si,Al): Si1(o), Si1(m), Si2(o), Si2(m)
- К.Ч. Na 6-7
- высокотемпературные формы («увеличение беспорядка») увеличением параметра b и уменьшением c



→ высокий альбит, триклинный/моноклинный ($> 900^\circ\text{C}$)
длина связи (Si,Al)-O одинакова для всех 4-х тетраэдров

→ низкий альбит, триклинный
упорядочение Al по позициям (Si,Al):
Si1(o), Si1(m), Si2(o), Si2(m)



Структура щелочных П.Ш.

упорядочение

структура триклинная

структура моноклинная

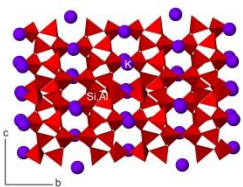
за счет перехода Al из тетраэдров
 T_{2o} T_{2m} T_{1m} в T_{1o}
структура триклинная

за счет перехода Al из тетраэдров
 T_2 в T_1
структура моноклинная

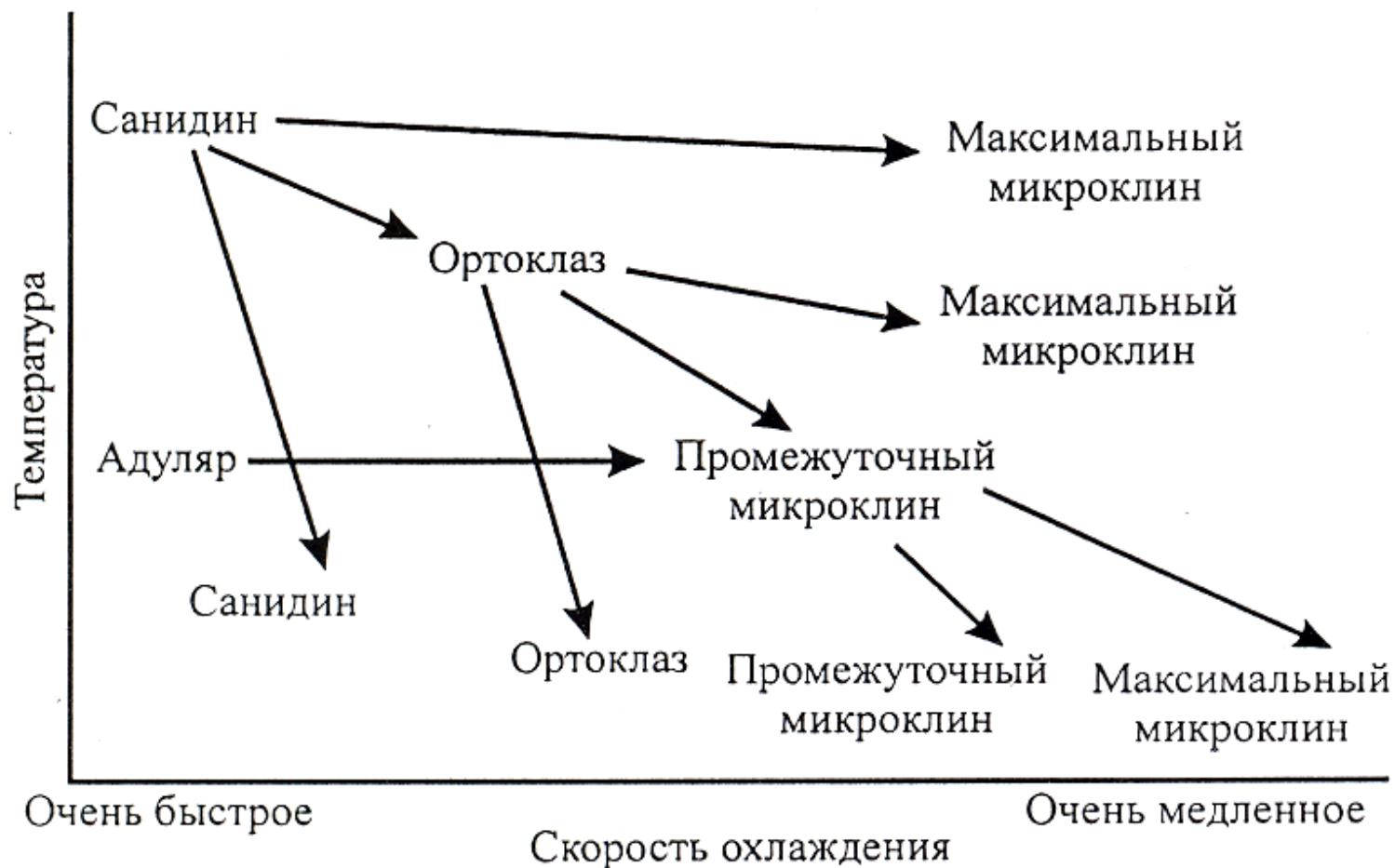
за счет перехода Al из тетраэдров
 T_{2o} T_{2m} в T_{1m} ;
 T_{1m} в T_{1o}
структура триклинная

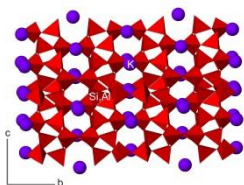
одноступенчатое

двухступенчатое



Схематическая карта «маршрутов» показывающая возможные варианты поведения калиевого полевого шпата в зависимости от температуры и времени (Патнис, Мак-Коннелл, 1983)

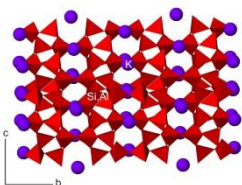




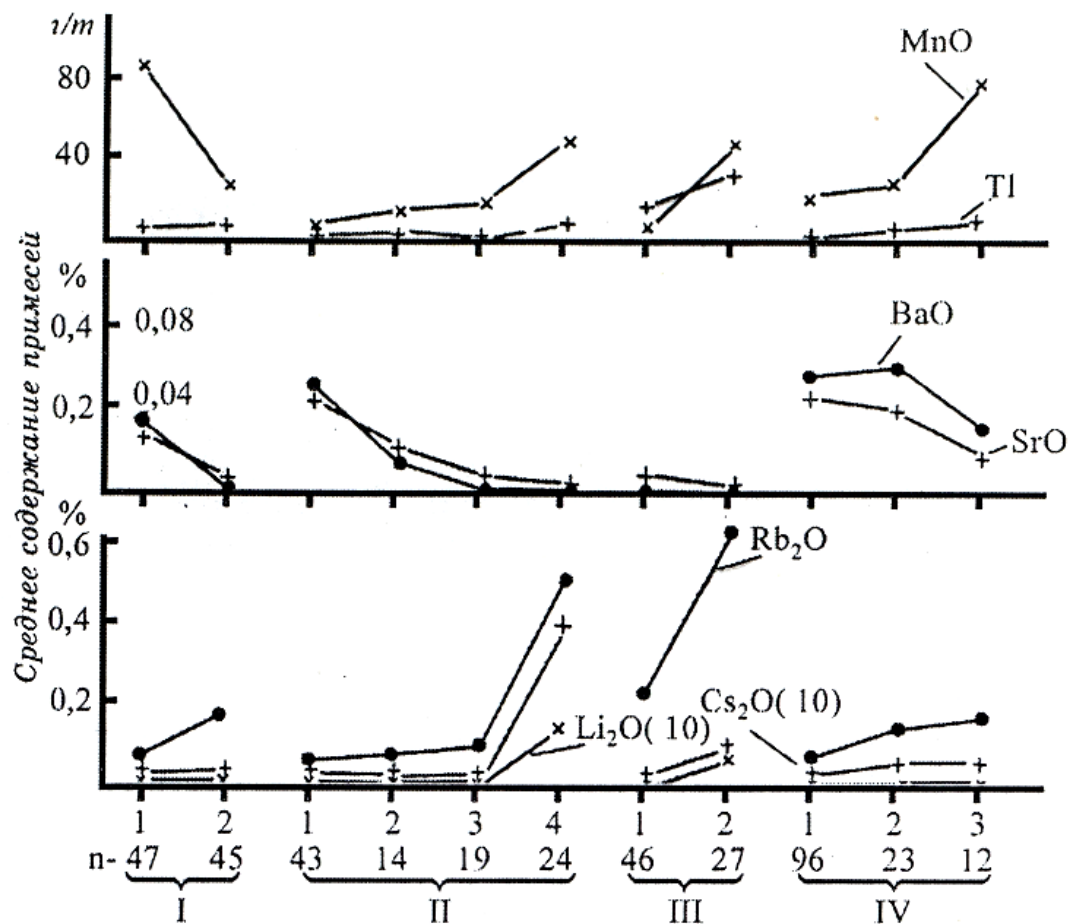
Химический состав щелочных П.Ш.

Щелочные полевые шпаты: ряд твердых растворов KAlSi_3O_8 - $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ с примесью $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ (5%)

- Ва: ВаО более 2% - бариевые полевые шпаты (замещает К)
- Fe^{+3} : железистые полевые шпаты (замещает Al)
- Rb: Rb_2O 0.53-3.30% - рубиклин (замещает К); Li, Cs
- В: – данбурит NaBSi_3O_8
- Na/K: Fe^{2+} , Mg^{2+} , Sr^{2+} , Pb^{2+} , NH_4
- Si/Al: Ti^{4+} , P^{4+}
- Al: Ga^{3+}
- Si: Ge^{4+}

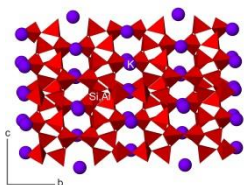


Химический состав щелочных П.Ш.



Средние содержания примесей в калиевых полевых шпатах разных пород (Караваяева и др., 1980):

I – оловорудные провинции: КПШ безрудных (1) и оловоносных (2) гранитоидов и метасоматитов;
 II – пегматитовый пояс: микроклины гранитов и гранитогнейсов (1), кварц-полевошпатовых жил (2), безрудных (3) и редкометальных (4) пегматитов;
 III – танталоносные гранитоиды: PZ3-Mz амазониты безрудных амазонитизированных гранитов и метасоматитов (1) и редкометальных метасоматитов (2);
 IV – зоны активизации протерозоя: микроклины пегматитов и гранитогнейсов (1), метасоматитов с Ta – Be оруденением (2), метасоматитов с Be оруденением (3);
 n – число анализов



Щелочные П.Ш.

- полевые шпаты: геологические термометры, позволяют судить о тепловой и химической истории содержащих их пород
- структурный типоморфизм – связь особенностей структуры и условий образования минералов
- широкие изоморфные схемы, образование доменов, явление порядок/беспорядок, низкосимметричные структуры
- распределение Al/Si зависит от температуры кристаллизации и последующей «термической истории»