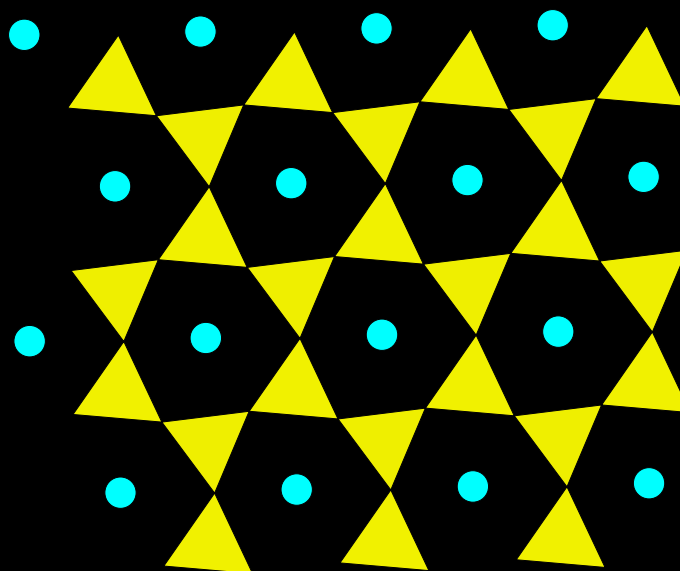
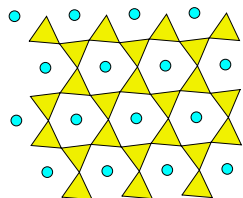


# Кристаллохимия породообразующих минералов

## Лекция 6. Слоистые силикаты



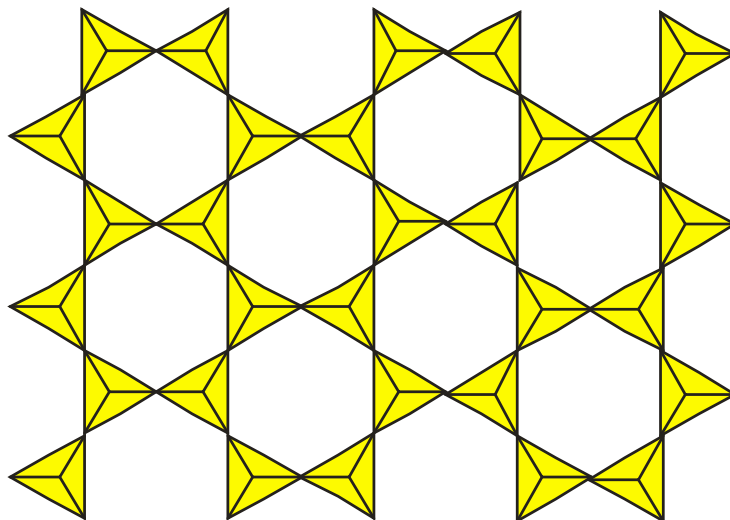


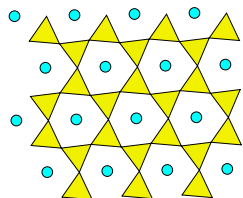
# Слоистые силикаты

## Листовые силикаты

### Phyllosilicates

**Слоистые силикаты**, это силикаты с непрерывными слоями кремнекислородных тетраэдров. Радикал структуры  $[\text{Si}_2\text{O}_5]^{2-}$ . Слои кремнекислородных тетраэдров обособлены друг от друга и связаны катионами. *Представители*: тальк, серпентин, хризотил-асбест, ревдинскит, польгорскит, **слюда** (мусковит, флогопит, биотит), гидрослюда (вермикулит, глауконит), хлориты (пеннит, клинохлор и др.), **минералы глин** (каолинит, хризоколл, гарниерит и др.), титаносиликаты (мурманит), ураносиликаты

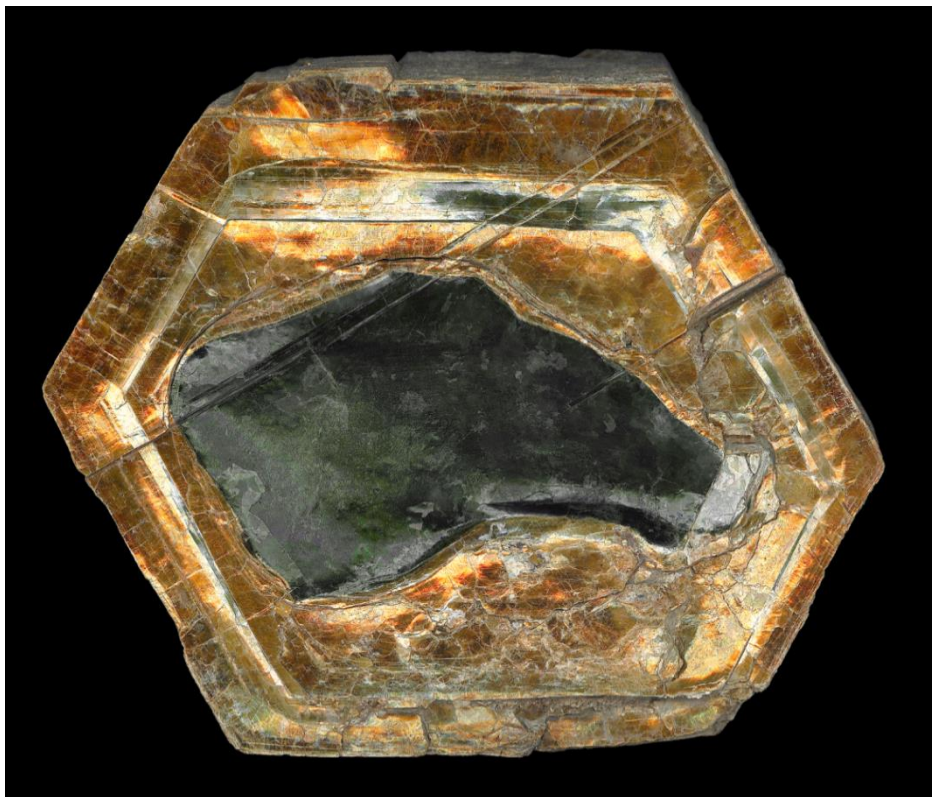




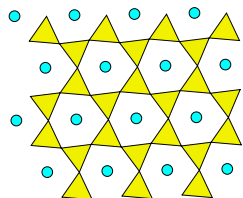
# Слоистые силикаты

## Листовые силикаты

### Phyllosilicates



Слоистые силикаты являются одними из наиболее распространённых в природе минералов. Они характерны для осадочных толщ (каолинит, монтмориллонит, бейделлит и др.), метаморфических пород (мусковит, биотит, хлориты), гранитов (мусковит, биотит), гранитных пегматитов (мусковит, лепидолит), основных и щелочных пород (хлориты, биотит, вермикулит, полилитинит, тайниолит...).



# Слоистые силикаты

## Листовые силикаты

### Phyllosilicates

#### Слюды

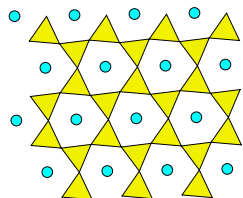
- одни из наиболее распространённых породообразующих минералов интрузивных, метаморфических и осадочных пород – 3.8 % по массе в земной коре
- полезное ископаемое
- генетическое значение (связь структура - условия образования)



#### Глинистые минералы:

- основная масса глинистых отложений и большей части почв – осадочные породы
- продукт выветривания преимущественно алюмосиликатов и силикатов магматических и метаморфических пород

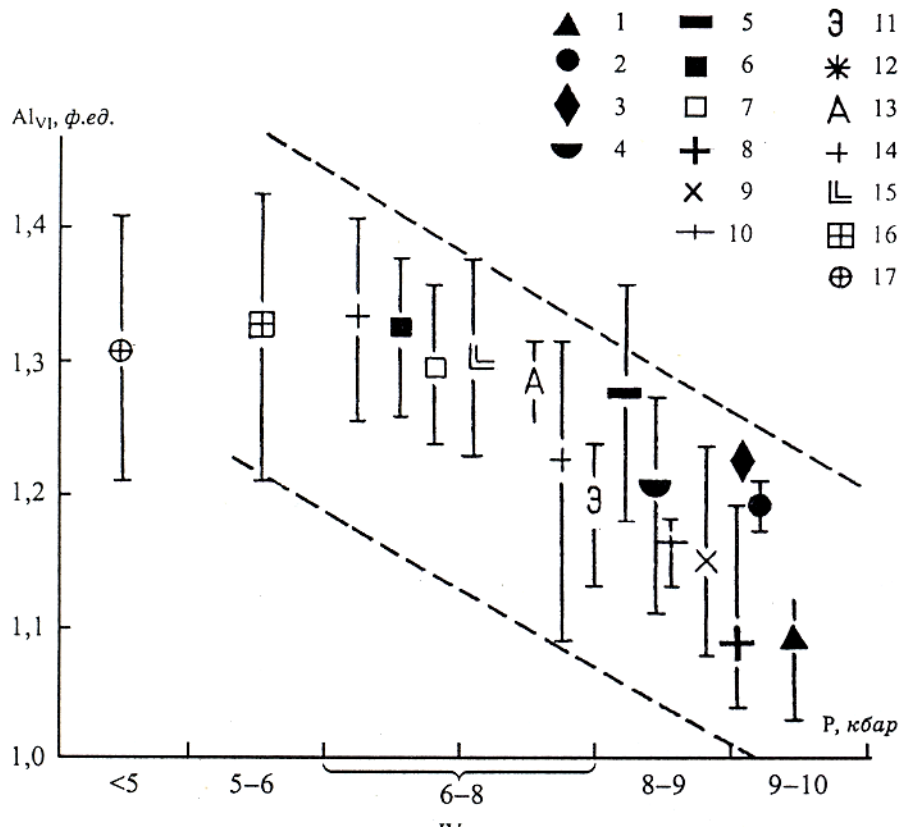
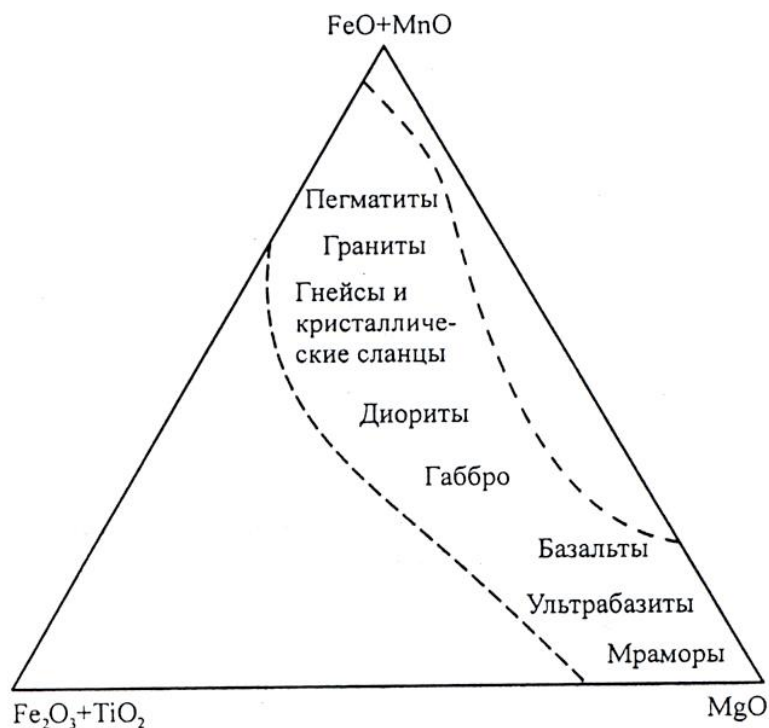




# Слоистые силикаты

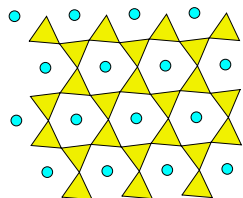
## Листовые силикаты

### Phyllosilicates



Колебания химического состава флогопитов и биотитов в зависимости от типа материнских пород (Heinrich, 1946)

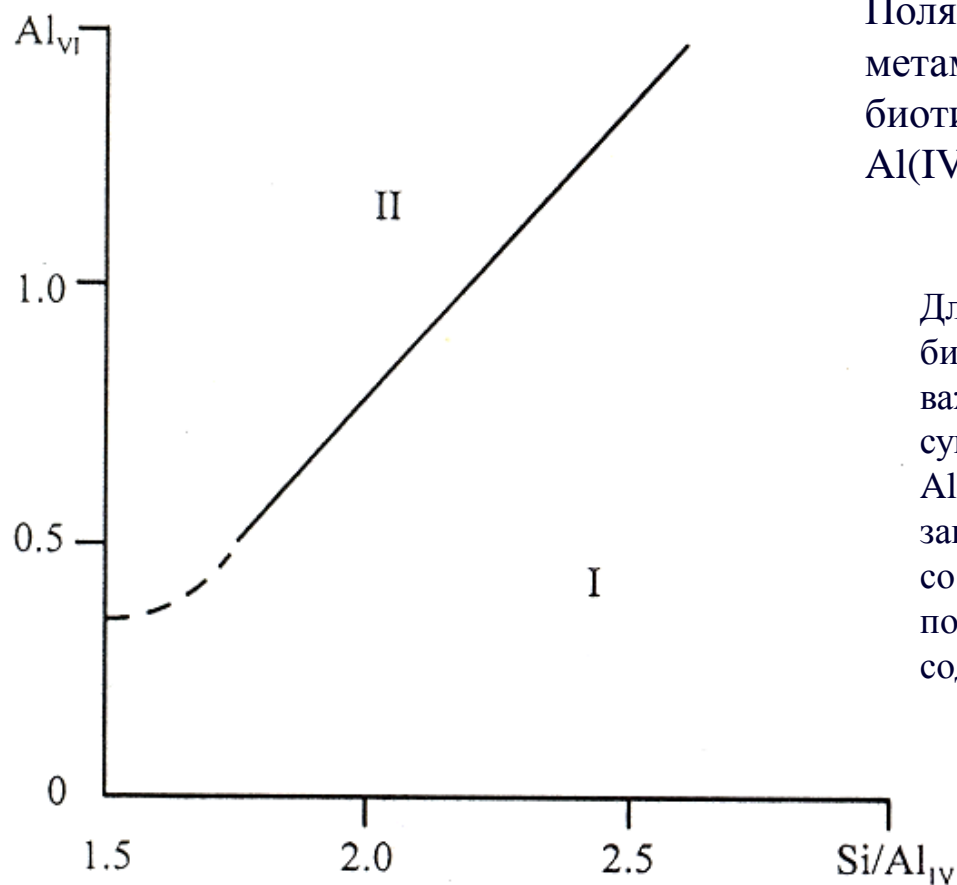
Связь давления Р и Al<sub>IV</sub> в биотитах из метаморфических и гранитоидных пород докембрия Балтийского щита (Крылова и др., 1991).



# Слоистые силикаты

## Листовые силикаты

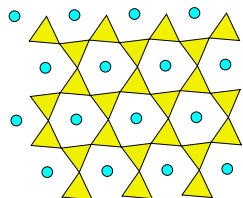
### Phyllosilicates



Поля магматических(I) и метаморфических (II) биотитов на диаграмме  $Al(IV)$ – $Si/Al(IV)$  (Bea, 1980)

Для определения зависимости элементного состава биотитов от условий образования важным является содержание и поведение алюминия, как суммарного, так и тетраэдрического и октаэдрического Al. Многочисленными исследователями была показана зависимость содержания общего алюминия в биотитах от состава вмещающих пород: биотиты из пород бедных глинозёмом имеют и наиболее низкие содержания этого компонента.

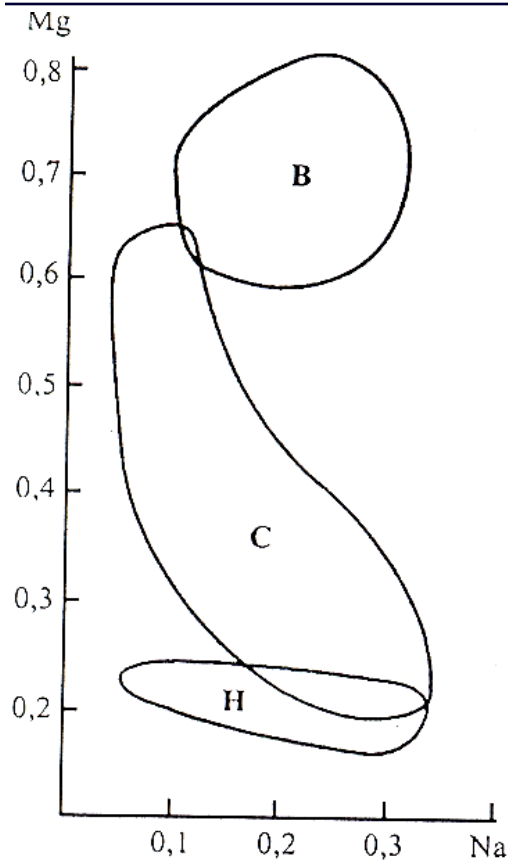




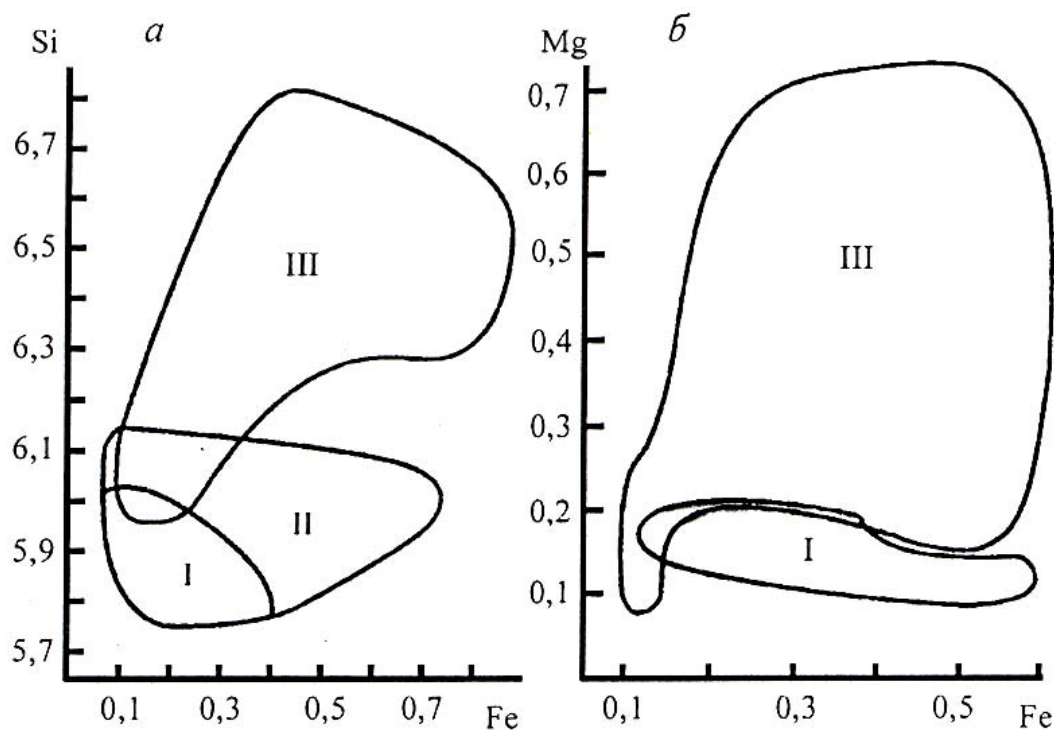
# Слоистые силикаты

## Листовые силикаты

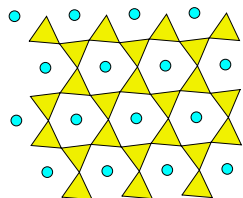
### Phyllosilicates



Поля состава мусковита в метаморфических фациях пород очень высоких (В), средних (С) и низких (Н) давлений



Поля состава мусковита в породах различного генезиса: I – граниты; II - пегматиты и жилы; III – метаморфические породы.



# Слоистые силикаты

## Листовые силикаты

### Phyllosilicates

Если слюды группы биотита, характеризуют довольно отчётливо особенности химизма магматогенных процессов минералообразования, то диоктаэдрические слюды несут богатую информацию о постмагматических процессах и метаморфогенном минералообразовании.

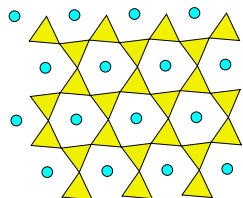
В.И.Павлишин (1980): “Слюды - наиболее изоморфноёмкие минералы земной коры, поэтому в их типоморфизме первое место занимает химический состав:

а) изоморфные замещения в тетраэдрическом слое, приводящие к образованию алюмосиликатных, силикатных (тетрасиликатных) и феррисиликатных слюд, отражают, прежде всего, геохимические условия минералообразующей среды - содержание (активность) и соотношение  $\text{Si}/\text{Al}, \text{Fe}^{3+}$ ,

б) изоморфизм катионов в октаэдрах и сопряжённые с ними замещения в тетраэдрах - индикаторы разнообразных генетических параметров (состава, глубины зарождения и степени дифференциации расплавов, тектонического положения, интенсивности и характера метасоматического преобразования гранитов; постмагматической истории пегматитов, щёлочности - кислотности,  $T, P, Eh$ ;

в) состав анионного окружения октаэдров – типоморфный признак состава, содержания летучих компонентов и тектонического режима”.

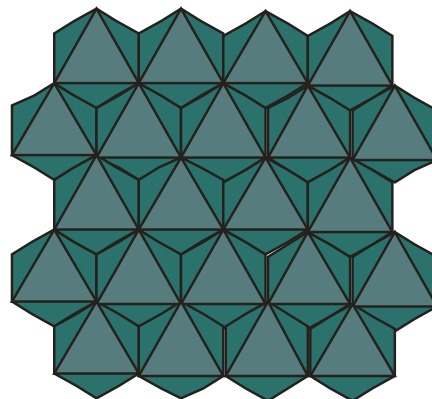
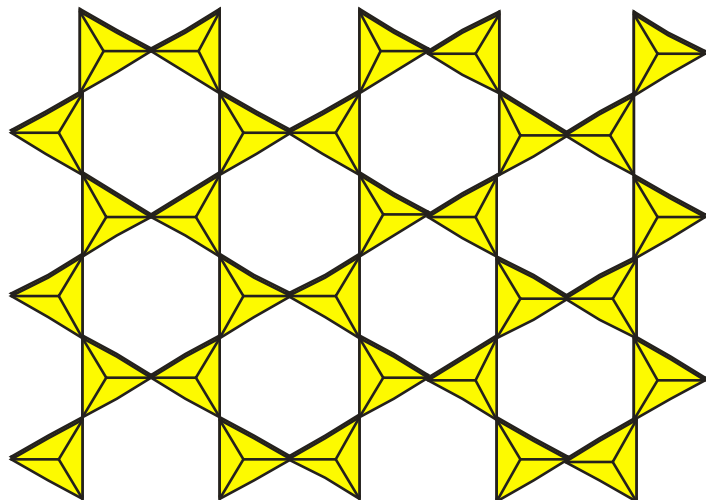




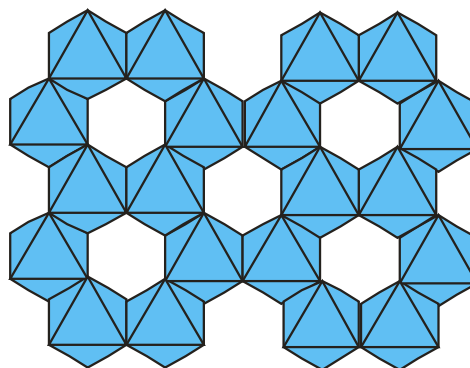
# Слоистые силикаты

## Листовые силикаты

### Phyllosilicates

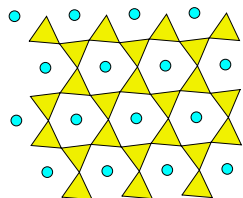


брусит  $\text{Mg}(\text{OH})_2$   
**три**октаэдрический  
слой



гипсцит  $\text{Al}(\text{OH})_3$   
**ди**октаэдрический  
слой

Комбинация октаэдрических и тетраэдрических сеток порождает разнообразие слоистых силикатов



# Слоистые силикаты

## Листовые силикаты

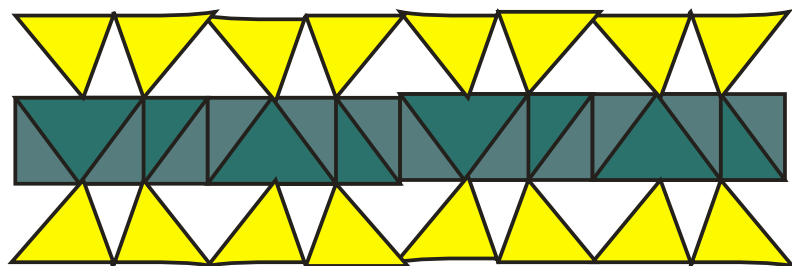
### Phyllosilicates

Слоистые силикаты  
Варианты укладки:

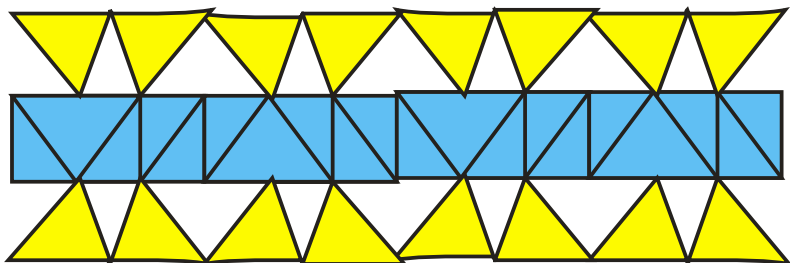
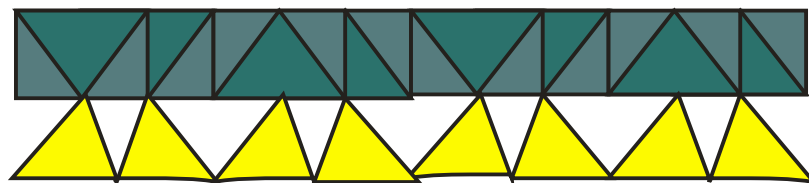
2:1

и

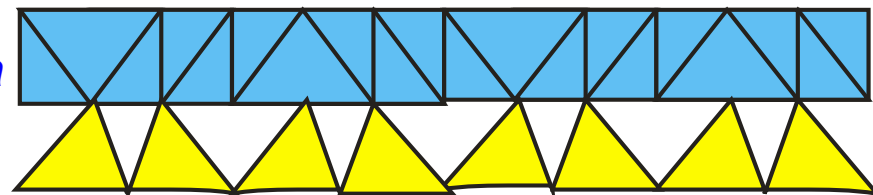
1:1

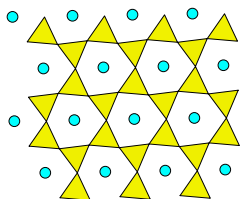


*триокта*



*диокта*



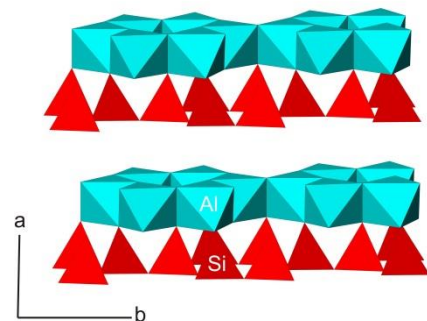


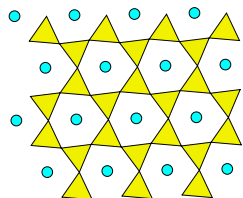
# Слоистые силикаты

## Листовые силикаты

### Phyllosilicates

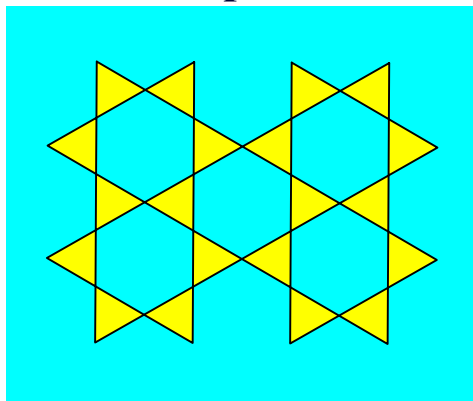
	2:1	1:1
<i>триокта</i>	<p>таляк</p> $\text{Mg}_3[\text{Si}_2\text{O}_5]_2(\text{OH})_2$	<p>лизардит и хризотил</p> $\text{Mg}_3[\text{Si}_2\text{O}_5](\text{OH})_4$
<i>диокта</i>	<p>пирофиллит</p> $\text{Al}_2[\text{Si}_2\text{O}_5]_2(\text{OH})_2$	<p>каолинит</p> $\text{Al}_2[\text{Si}_2\text{O}_5](\text{OH})_4$



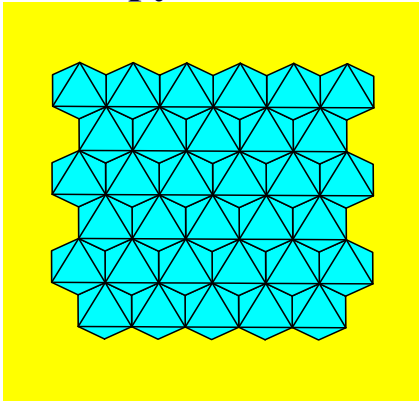


# Слоистые силикаты Листовые силикаты Phyllosilicates

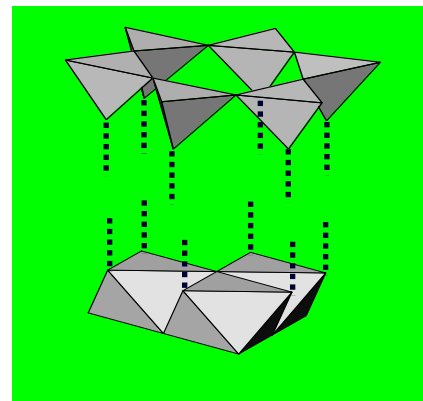
**T** → тридимит



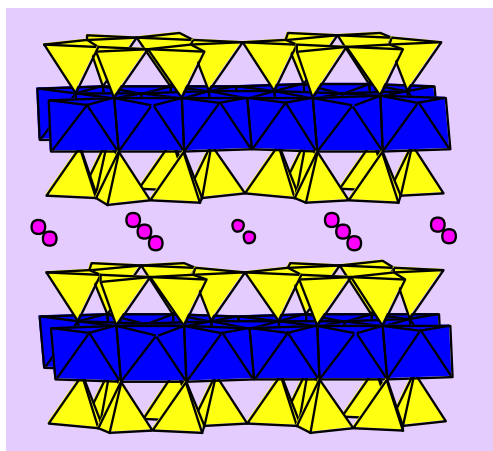
**O** → брусит, гиббсит



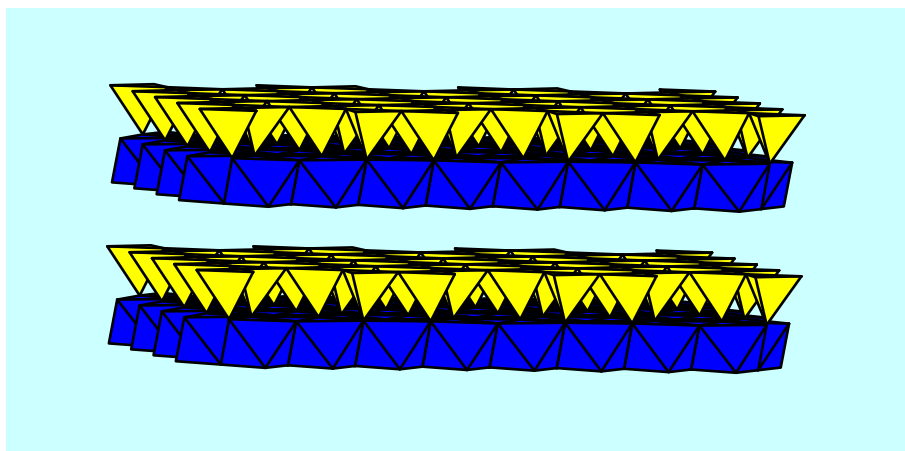
**TO...** → филлосиликат

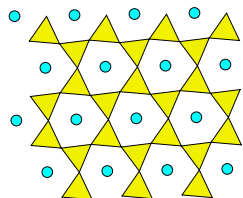


**TOT** → слюды



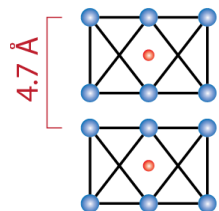
**TO** → серпентины



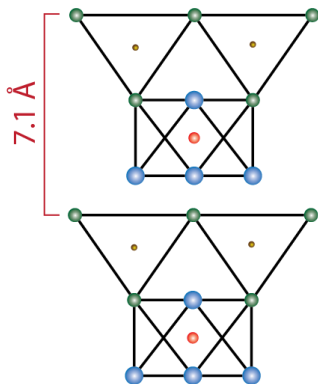


# Слоистые силикаты Листовые силикаты Phyllosilicates

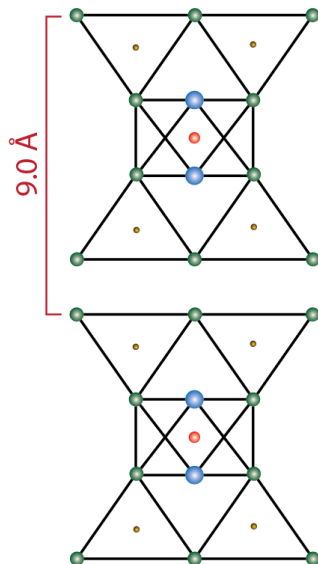
Брусит,  
гиббсит



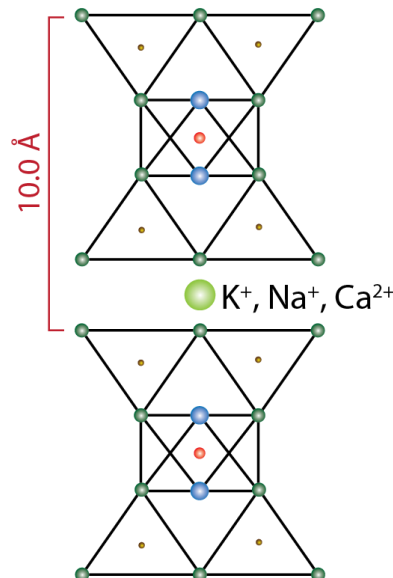
Серпентин,  
каолинит



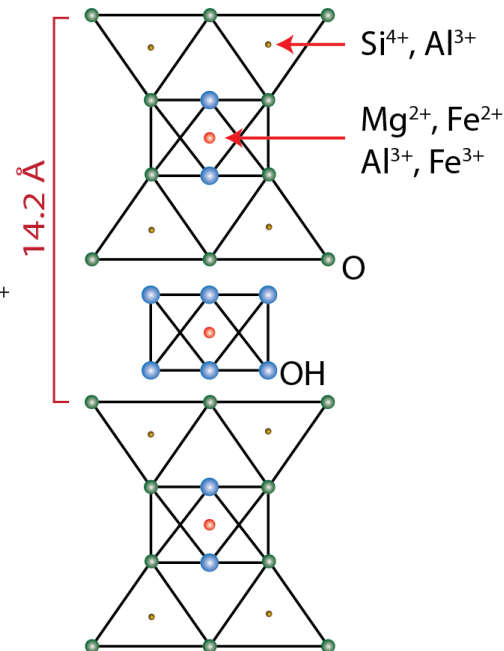
Тальк,  
пирофиллит



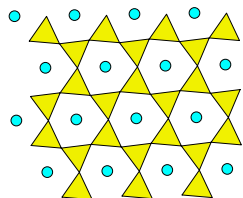
Слюда



Хлориты



Основные структурные типы филлосиликатов различаются сочетанием бруситовых (октаэдрических) и кремнекислородных (тетраэдрических) слоёв, а также наличием и характером межслоевых «вставок».



## Сорбенты на основе филлосиликатов



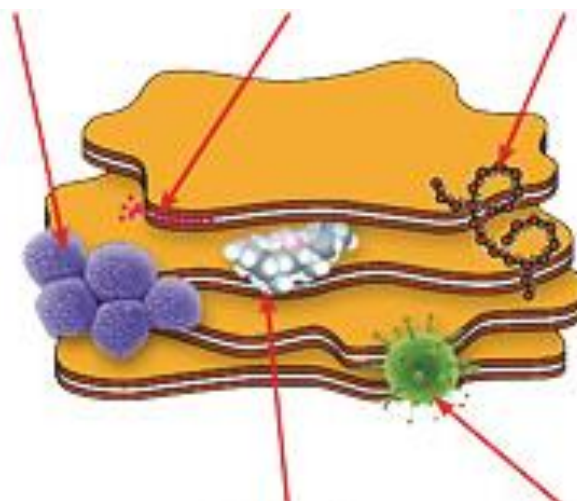
Смекта – диоктаэдрический Mg-Al-силикат из группы монтмориллонита с острова Сардинии:



Токсины  
бактерий

Соляная  
кислота

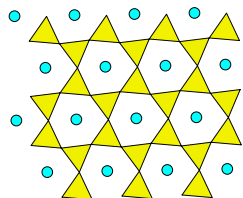
Непереваренные  
углеводы



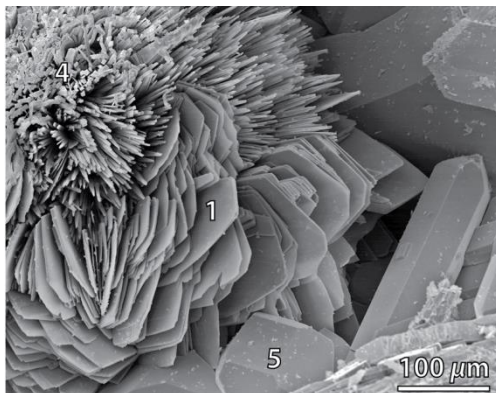
Желчные  
кислоты

Вирусы

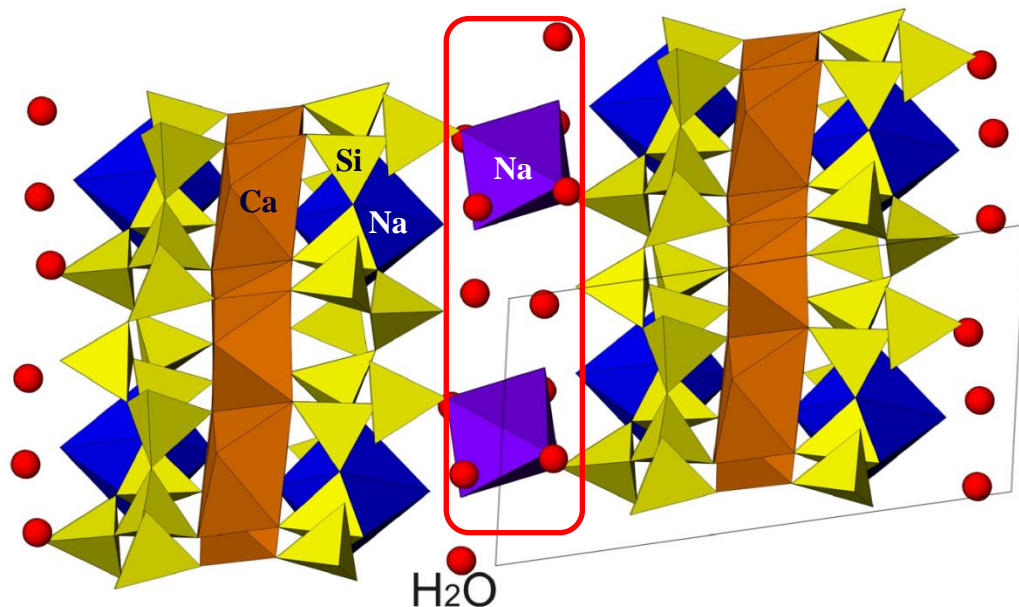
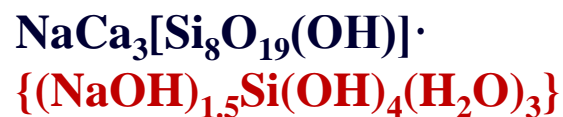




## Сорбенты на основе филлосиликатов



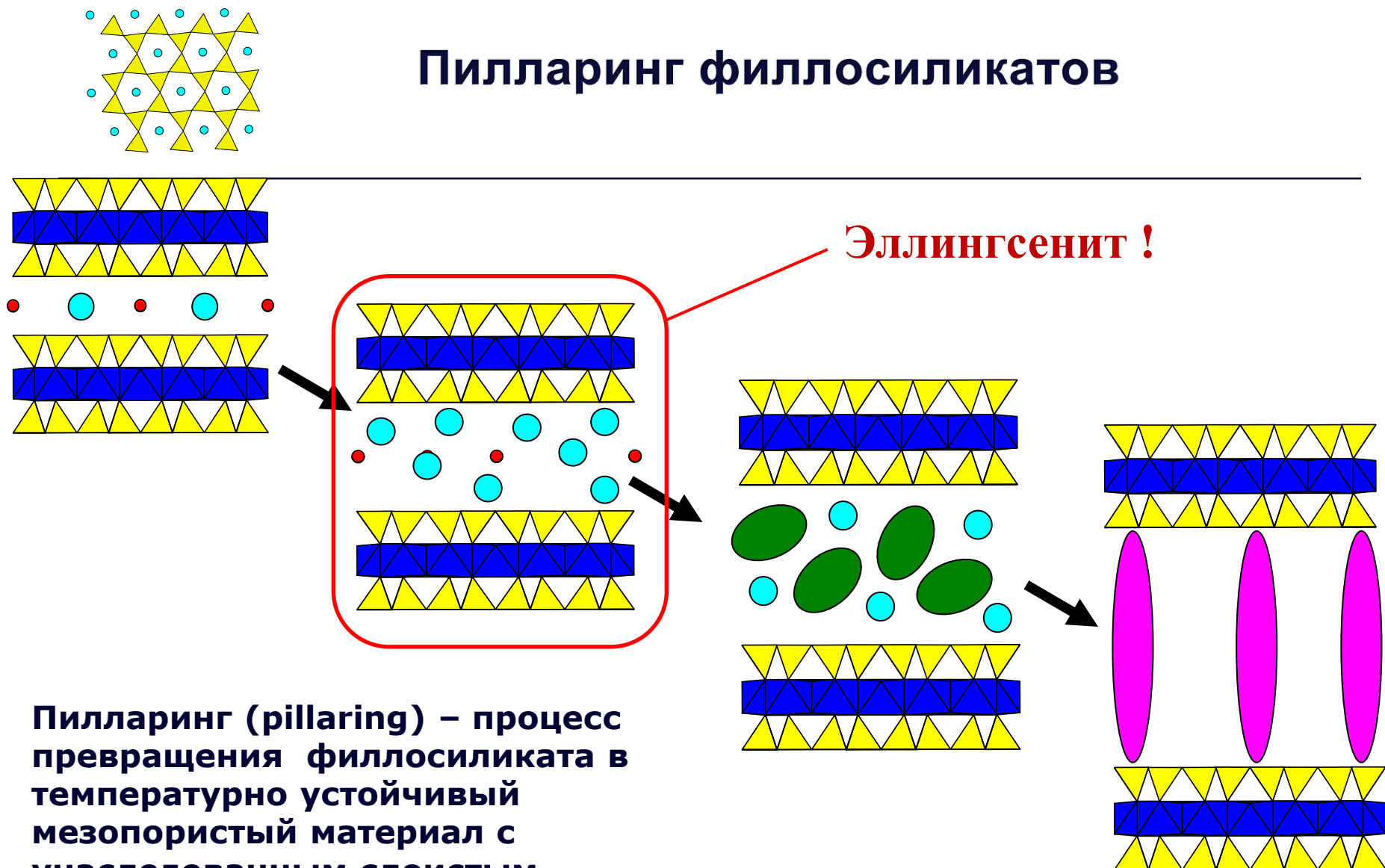
### ЭЛЛИНГСЕНИТ



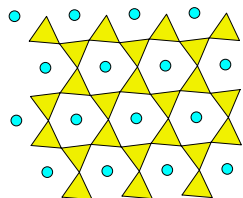
Обмен Na на Cs и K;

**Yakovenchuk et al. (2011):** Ellingsenite,  $\text{Na}_5\text{Ca}_6\text{Si}_{10}\text{O}_{38}(\text{OH})_{13} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , a new gyrolite related mineral from phonolite of the Aris alkaline complex, Namibia // Can. Mineral. (in press)

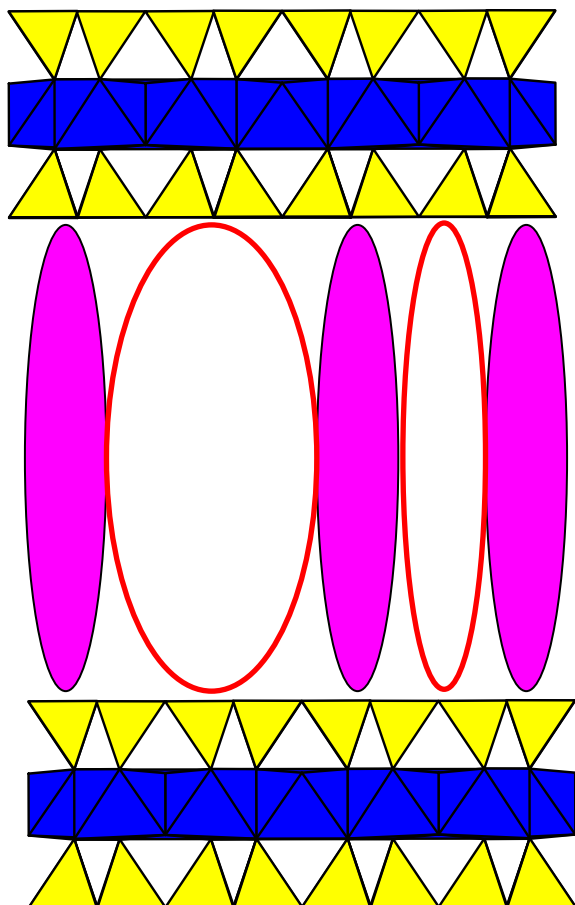
# Пилларинг филлосиликатов



**Пилларинг (pillaring) – процесс превращения филлосиликата в температурно устойчивый мезопористый материал с унаследованным слоистым строением**

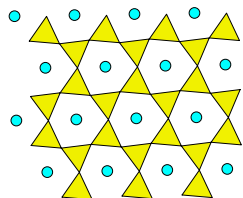


## Пилларинг филлосиликатов

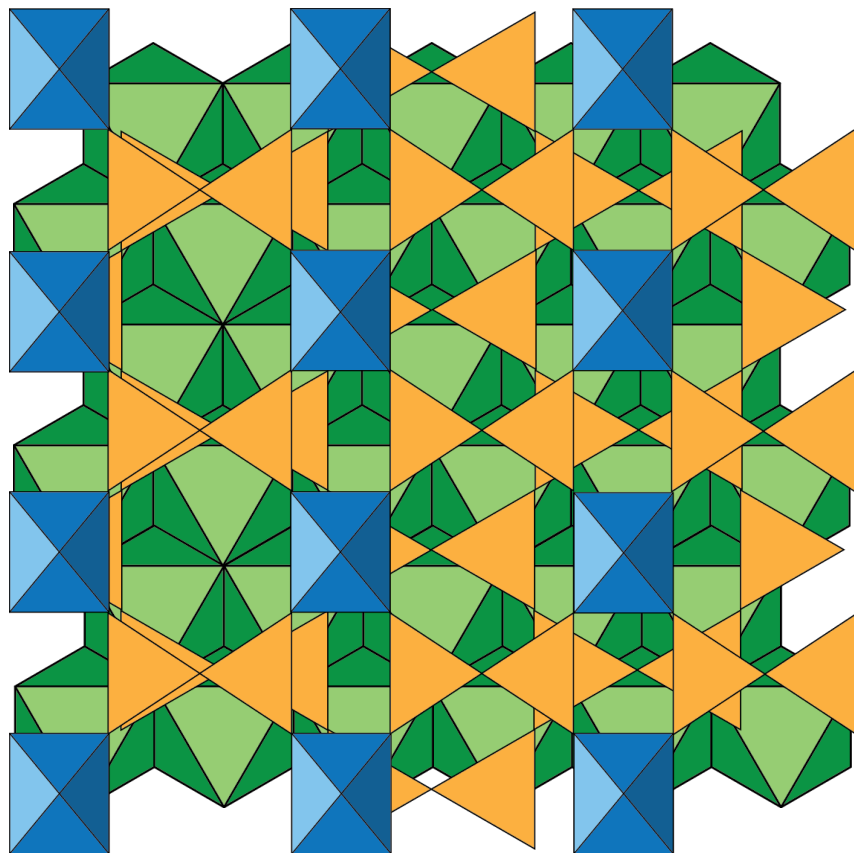


Продукты пилларинга отличаются от прочих мезопористых материалов наличием разупорядоченных каналов различной толщины, но одинаковой высоты, определяемой периодичностью *TOT* пакетов.

На дифракционных картинах таких соединений присутствуют чёткие максимумы  $00l$ , а межслоевое пространство выглядит как «мутная» неструктурированная среда (**аналогия с элингситом**).



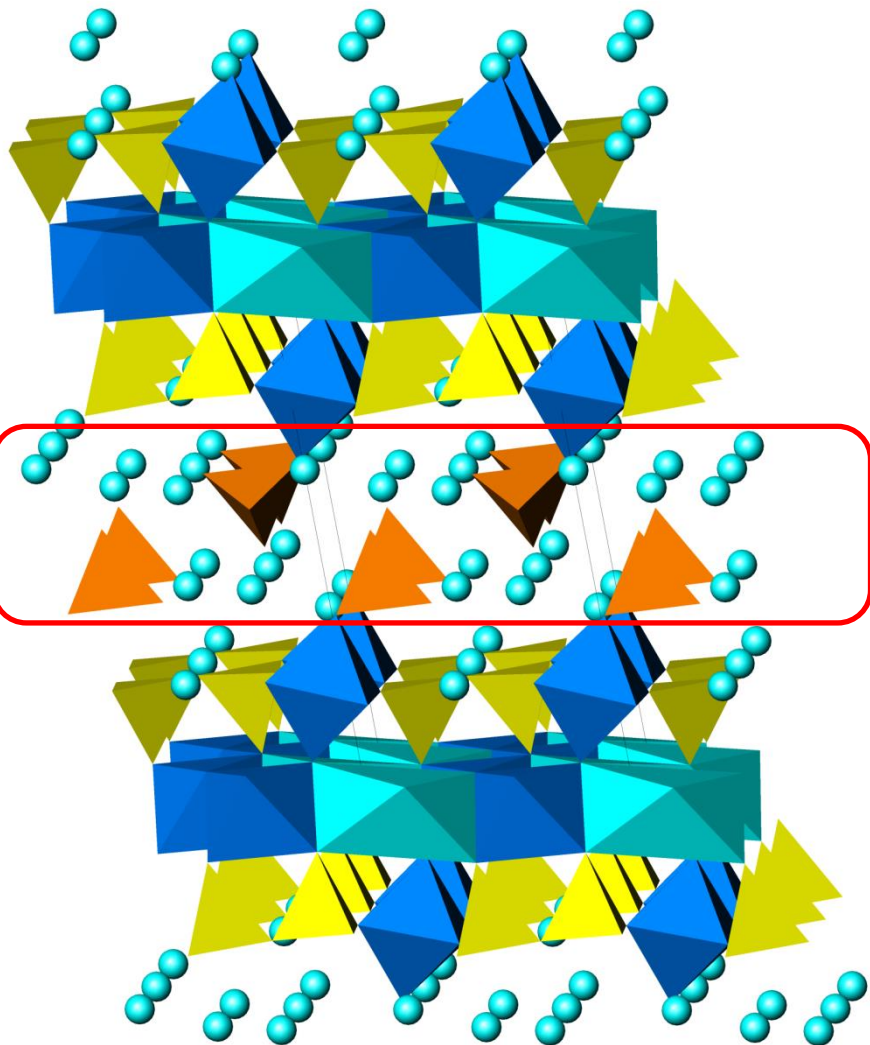
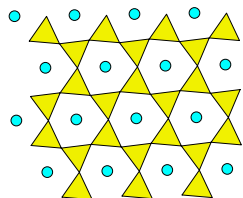
## Гетерофиллосиликаты



В основе кристаллической структуры гетерофиллосиликатов лежат *НОН*-пакеты гетерослоёв *H* (от hetero) и октаэдрических слоёв *O*. Гетерослои *H* можно получить из тетраэдрических слоёв филлосиликатов внедрением цепочек 5- или 6-координированных атомов Ti, Zr или Nb.

Как и в случае филлосиликатов, разнообразие кристаллических структур гетерофиллосиликатов существенно увеличивается за счёт всевозможных межслоевых вставок.

# Гетерофиллосиликаты



**Ломоносовит**



**Мурманит**



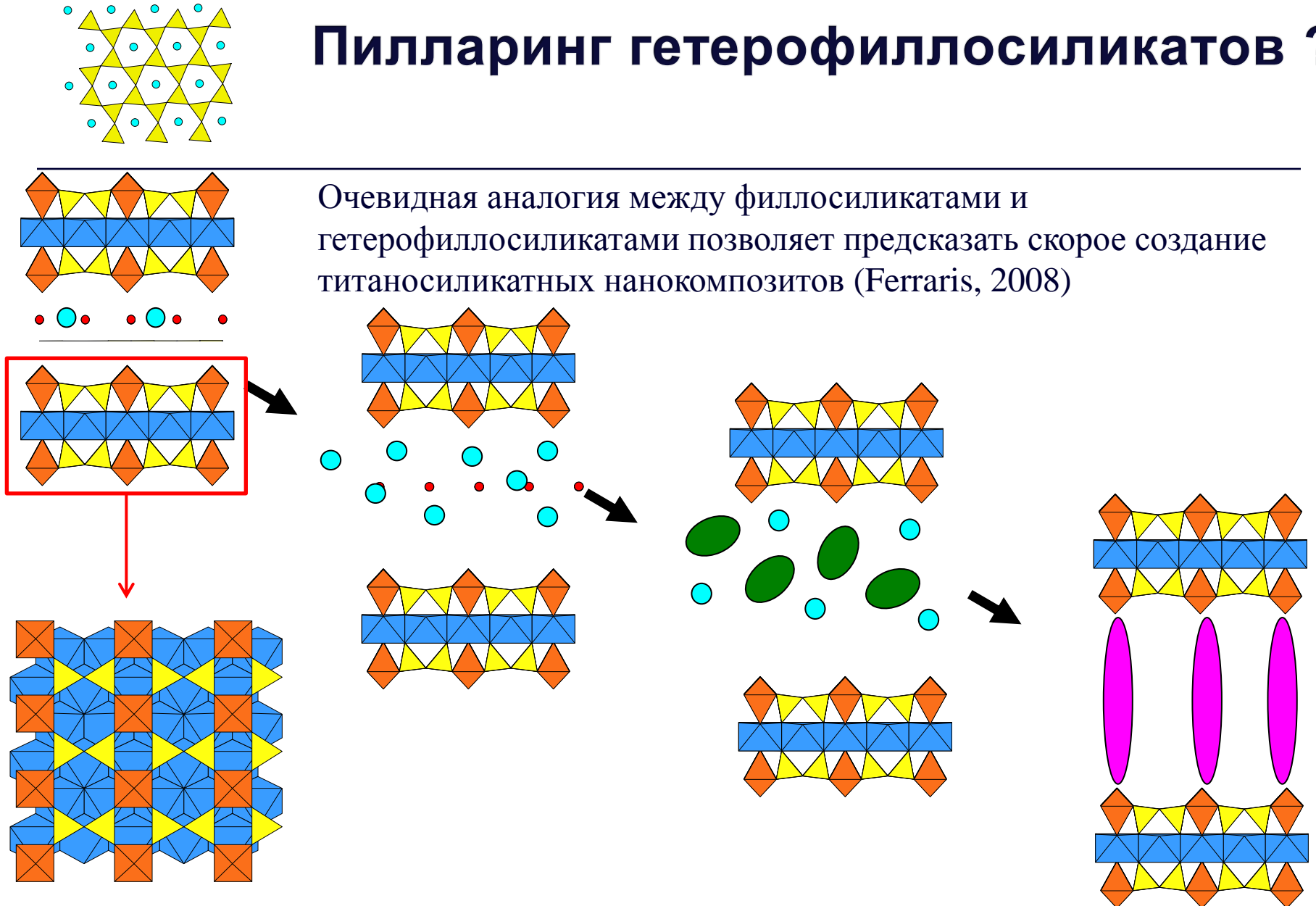
**Буоннемит**



**Эпистолит**

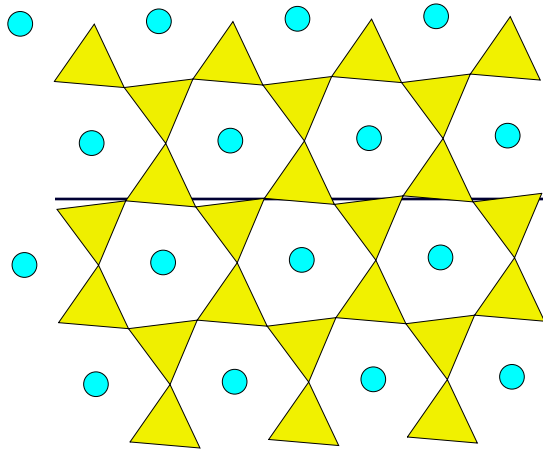


# Пилларинг гетерофиллосиликатов ?





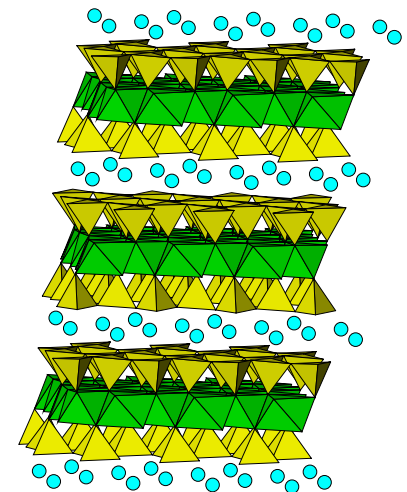
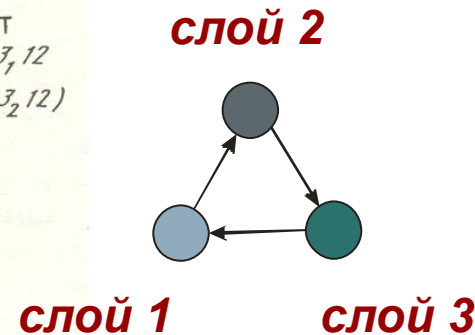
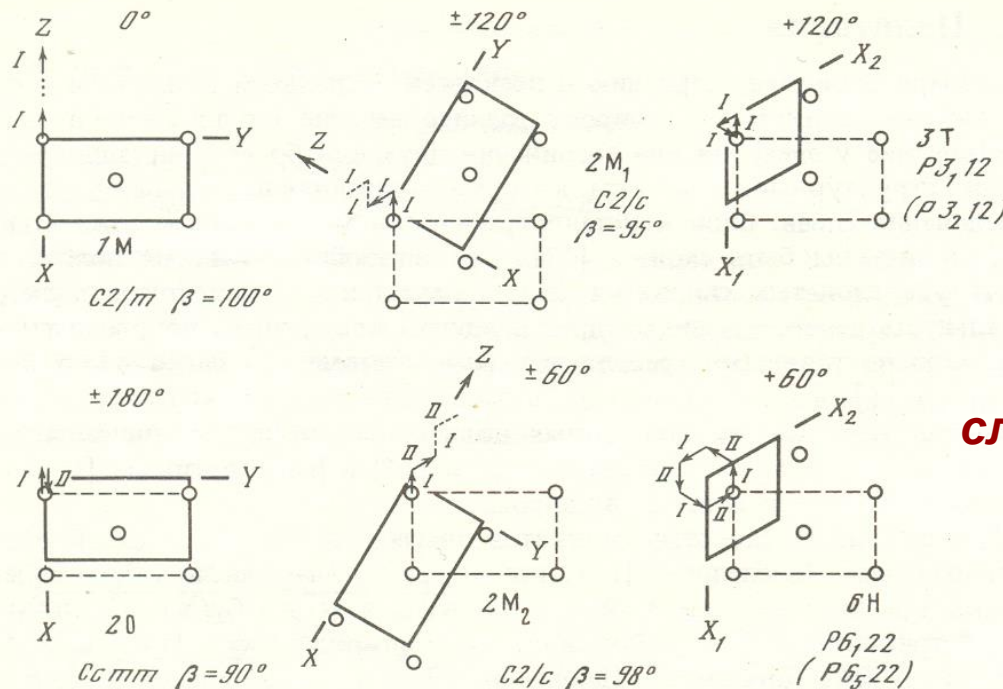
# Слоистые силикаты Листовые силикаты Phyllosilicates

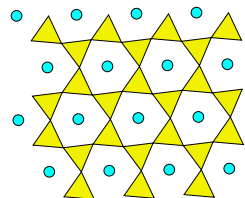


## Полиптипия слюд

различное расположение слоев  
друг относительно друга

в упорядоченных полиптипах может  
быть описано по расположению  
межслоевых катионов (напр.,  $K^+$ )



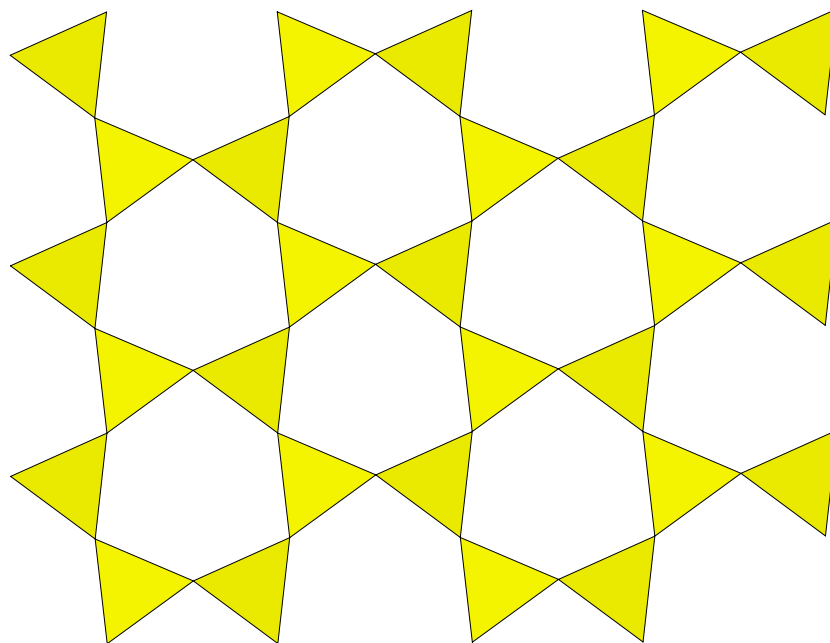
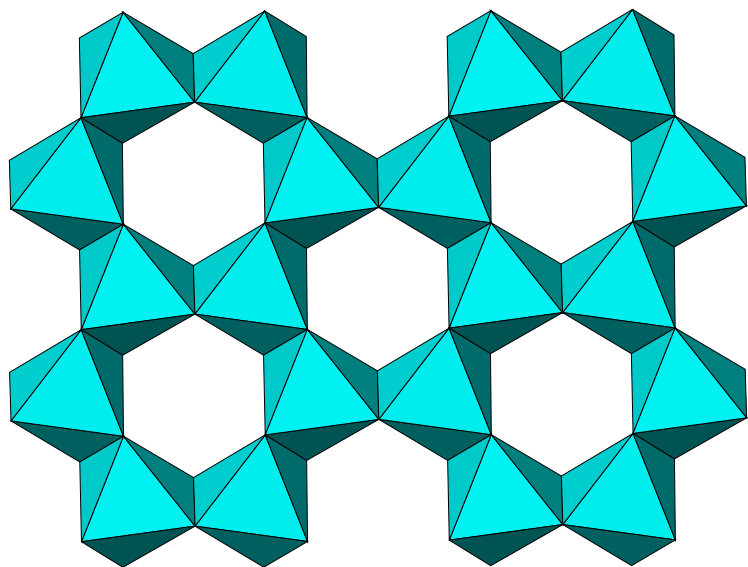


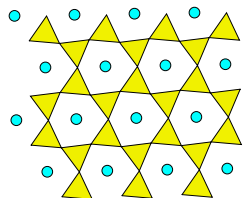
# Слоистые силикаты

## Листовые силикаты

### Phyllosilicates

---



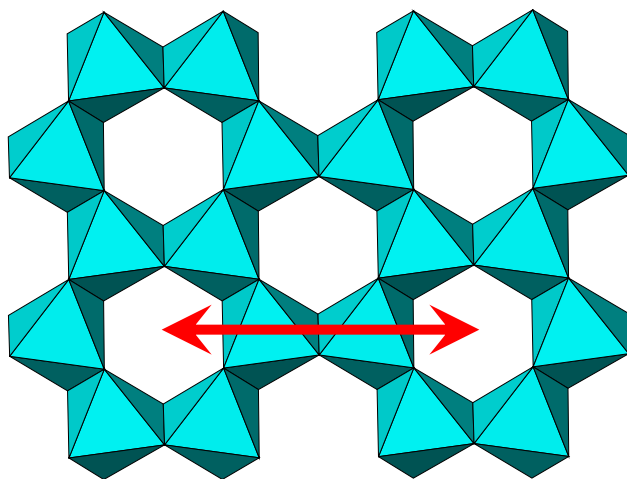


# Слоистые силикаты

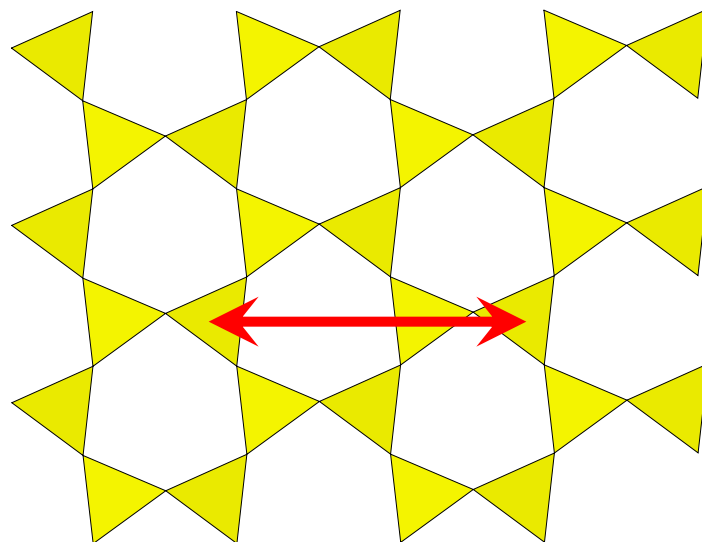
## Листовые силикаты

### Phyllosilicates

**несоответствие октаэдрического и тетраэдрического слоев**

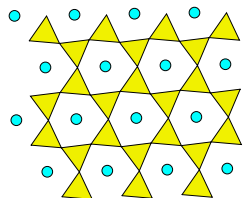


$b_{\text{oct}}$



$b_{\text{tetr}}$

При несоответствии параметров возникают напряжения, которые могут быть сняты различными способами



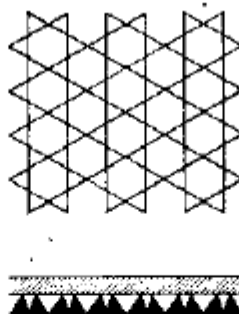
# Слоистые силикаты Листовые силикаты Phyllosilicates

## Механизмы снятия напряжений в слоистых силикатах 1:1

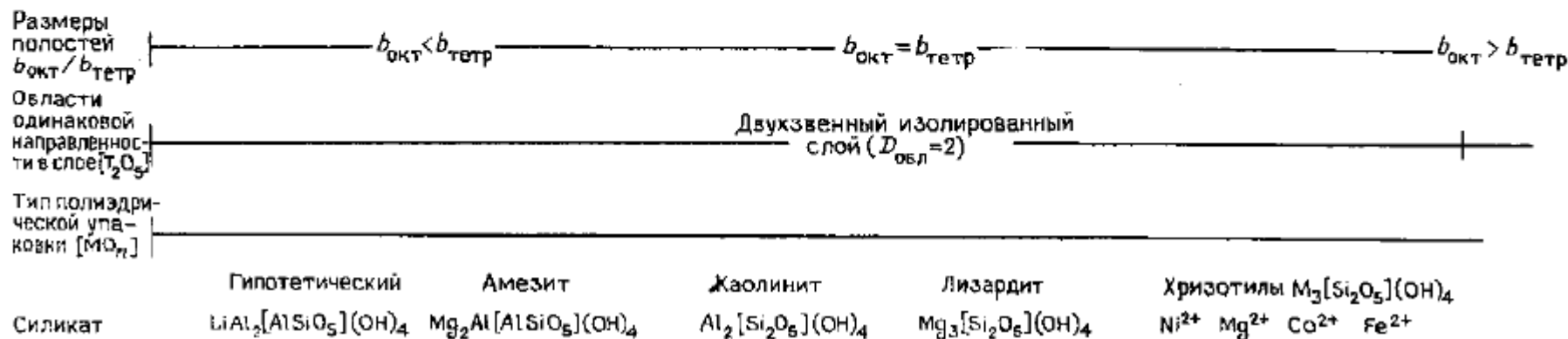
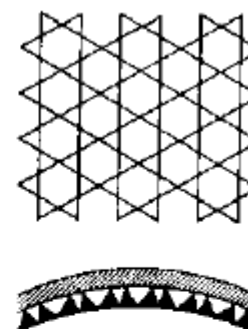
разворот тетраэдров в слое

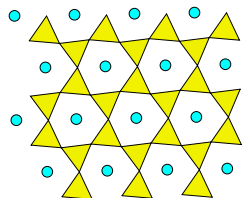


полное соответствие



изгиб пакета

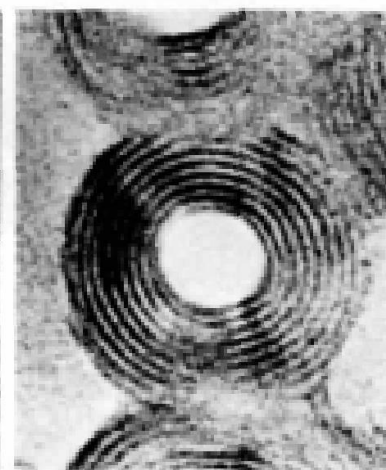
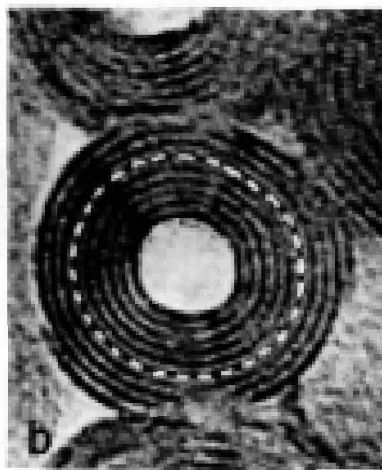
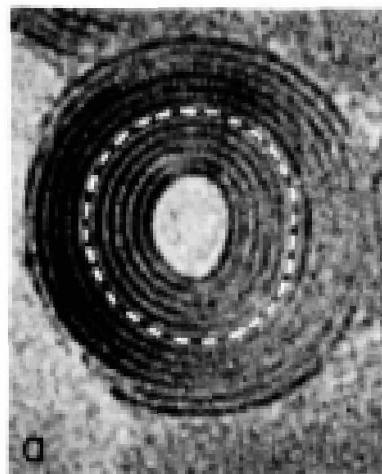
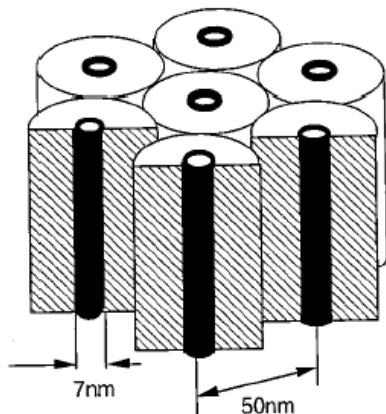


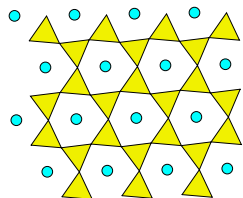


# Слоистые силикаты Листовые силикаты Phyllosilicates

Триоктаэдрические 1:1  
Хризотил  $\text{Mg}_3(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$

Характерно образование  
трубчатых агрегатов, вызванное  
несоразмерностью  
октаэдрического и  
тетраэдрического слоев

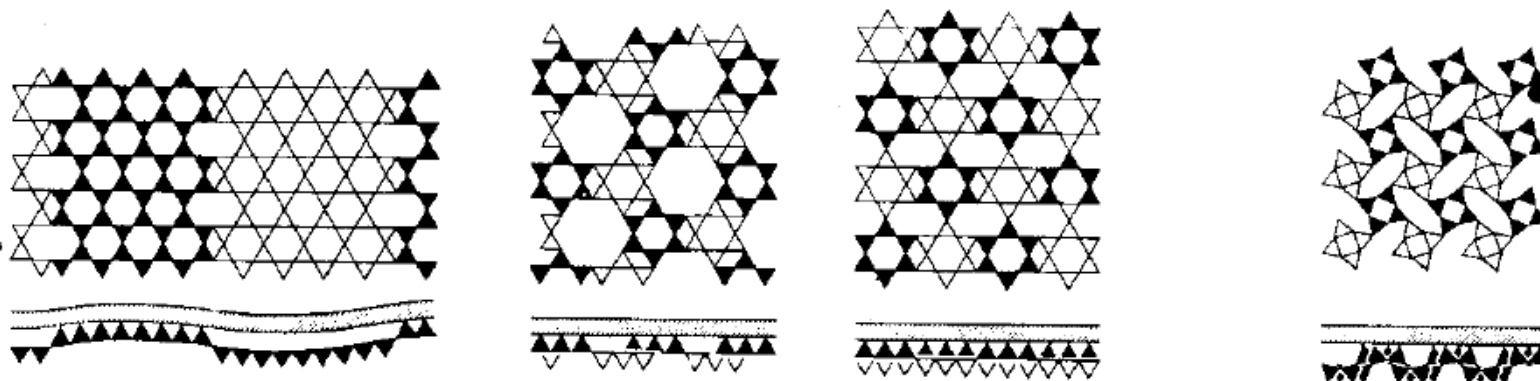




# Слоистые силикаты Листовые силикаты Phyllosilicates

## Механизмы снятия напряжений в слоистых силикатах 1:1

**инверсия тетраэдров и формирование новых типов сеток!**



$$b_{\text{окт}} \gg b_{\text{тетр}}$$

Четырехзвенные кратные цепочки  
с  $3 \leq M \leq 6$  ( $D_{\text{осл}} = 1$ )

Шестичленные изолированные  
кольца ( $D_{\text{осл}} = 0$ )

Четырехчленные изолированные  
кольца ( $D_{\text{осл}} = 0$ )

Сплошной слой катион-кислородных полиэдров

Антигориты, например  
 $\text{Mg}_{48}[\text{Si}_{40}\text{O}_{108}]_8(\text{OH})_{62}$

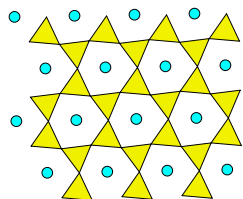
Макгиллит, манганвиросмапит  
 $(\text{Mn}, \text{Fe})_8[\text{Si}_6\text{O}_{15}](\text{OH}, \text{Cl})_{10}$

Бементит  
 $\text{Mn}_7[\text{Si}_6\text{O}_{15}](\text{OH})_8$

Натроапофиллит  
 $\text{NaCa}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}]_2\text{F} \cdot 8\text{H}_2\text{O}$

Апофиллит  
 $\text{KCa}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}]_2(\text{F}, \text{OH}) \cdot 8\text{H}_2\text{O}$





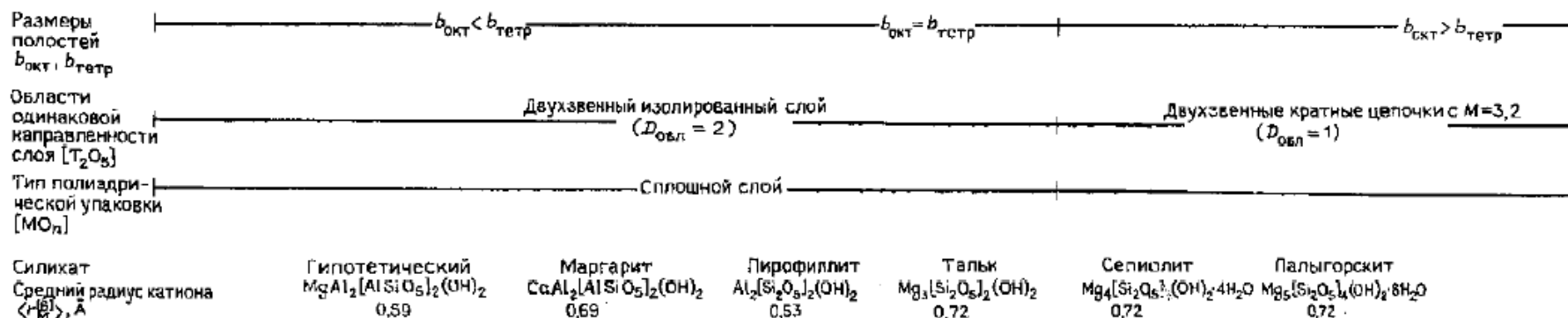
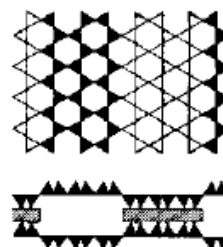
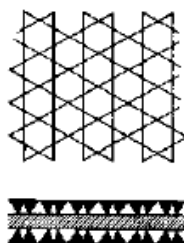
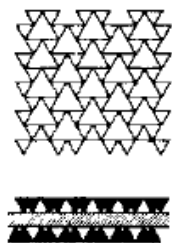
# Слоистые силикаты Листовые силикаты Phyllosilicates

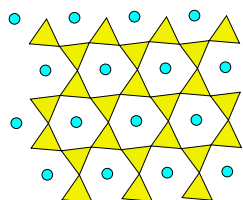
## Механизмы снятия напряжений в слоистых силикатах 2:1

разворот тетраэдров в слое

соответствие

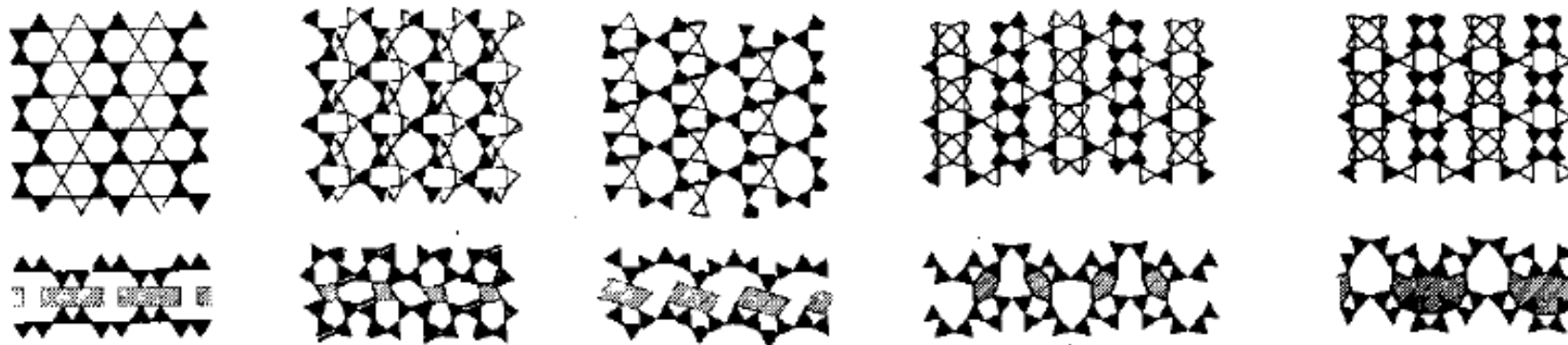
инверсия тетраэдров





# Слоистые силикаты Листовые силикаты Phyllosilicates

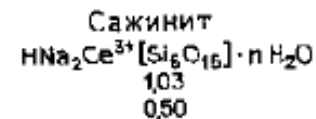
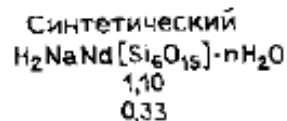
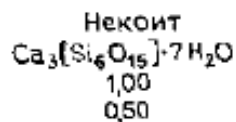
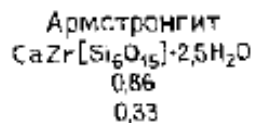
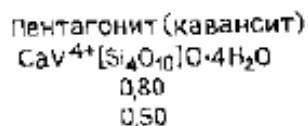
Механизмы снятия напряжений в слоистых силикатах 2:1  
**инверсия тетраэдров и формирование новых типов сеток!**

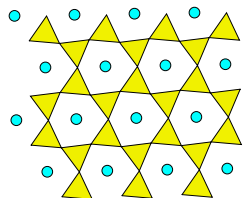


$$b_{\text{окт}} \gg b_{\text{тетр}}$$

Изолированные цепочки ( $D_{\text{обл}} = 1$ )      Разветвленные цепочки + двойные тетраэдры ( $D_{\text{обл}} = 1,0$ )      Изолированные цепочки + изолированные кольца + изолированные тетраэдры ( $D_{\text{обл}} = 1,0$ )      Изолированные кольца + изолированные тетраэдры ( $D_{\text{обл}} = 0$ )

Ленты уменьшающейся ширины





# **Слоистые силикаты**

## **Листовые силикаты**

### **Phyllosilicates**

---

#### **Основные выводы по слоистым силикатам**

- 1. Структурное разнообразие определяется числом вариантов возможной сборки пакетов (одно- или двухмерных) из тетраэдрических и октаэдрических фрагментов.**
- 2. Пакеты могут иметь различную упаковку, что определяет существование политипов и неупорядоченных структур (например, с беспорядочной укладкой пакетов друг относительно друга).**
- 3. Силикатные анионы отличаются повышенной гибкостью и приспосабливаются к размеру дополнительного катиона, причем может происходить образование новых типов комплексов.**

Phyllosilicates (from Greek φύλλον *phyllon*, leaf), or sheet silicates, form parallel sheets of silicate tetrahedra with  $\text{Si}_2\text{O}_5$  or a 2:5 ratio.

Nickel-Strunz classification: 09.E

• Serpentine group

- Antigorite -  $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$
- Chrysotile -  $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$
- Lizardite -  $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$

• Clay mineral group

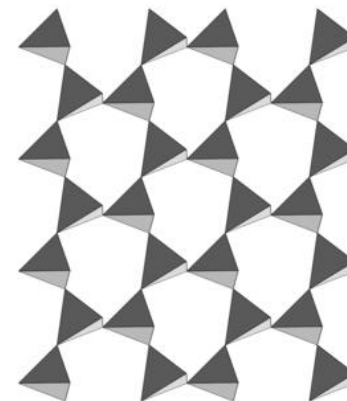
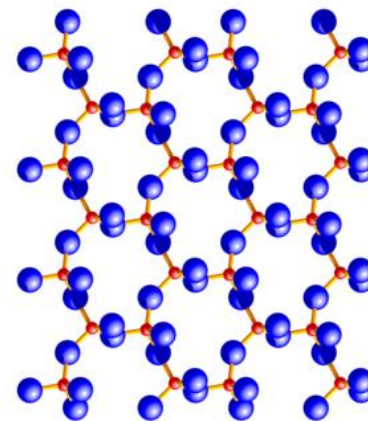
- Halloysite -  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$
- Kaolinite -  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$
- Illite -  $(\text{K}, \text{H}_3\text{O})(\text{Al}, \text{Mg}, \text{Fe})_2(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}[(\text{OH})_2, (\text{H}_2\text{O})]$
- Montmorillonite -  $(\text{Na}, \text{Ca})_{0.33}(\text{Al}, \text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
- Vermiculite -  $(\text{MgFe}, \text{Al})_3(\text{Al}, \text{Si})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
- Talc -  $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
- Palygorskite -  $(\text{Mg}, \text{Al})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH}) \cdot 4(\text{H}_2\text{O})$
- Pyrophyllite -  $\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$

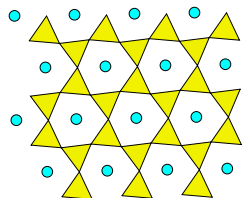
• Mica group

- Biotite -  $\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe})_3(\text{AlSi}_3)\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
- Muscovite -  $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3)\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
- Phlogopite -  $\text{KMg}_3(\text{AlSi}_3)\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
- Lepidolite -  $\text{K}(\text{Li}, \text{Al})_{2-3}(\text{AlSi}_3)\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
- Margarite -  $\text{CaAl}_2(\text{Al}_2\text{Si}_2)\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
- Glaucanite -  $(\text{K}, \text{Na})(\text{Al}, \text{Mg}, \text{Fe})_2(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$

• Chlorite group

- Chlorite -  $(\text{Mg}, \text{Fe})_3(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot (\text{Mg}, \text{Fe})_3(\text{OH})_6$





## Слюды Micas

Micas are phyllosilicates in which the unit structure consists of **one octahedral sheet (Os) between two opposing tetrahedral sheets (Ts)**. These sheets form a *layer* that is separated from adjacent layers by planes of non-hydrated *interlayer cations (I)*. The sequence is: ...

*I Ts Os Ts I Ts Os Ts ...* **The tetrahedral sheets have composition  $T_2O_5$** , and tetrahedra are linked by sharing each of three corners (= basal atoms of oxygen) to a neighboring tetrahedron; the fourth corner (= apical atom of oxygen) points in one direction for a given tetrahedral sheet. The coordinating anions around octahedrally coordinated cations (*M*) consist of apical atoms of oxygen of adjacent tetrahedral sheets and anions *A*. The coordination of interlayer cations is nominally twelve-fold, and their charge should not be less than 0.6 per formula. The simplified formula can be written as:  $IM_{2-3}\square_{1-0}T_4O_{10}A_2$ ,

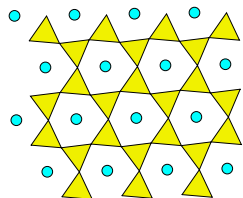
where *I* is commonly Cs, **K**, **Na**, NH<sub>4</sub>, Rb, Ba, **Ca**,

*M* is commonly **Li**, **Fe** (di- or trivalent), **Mg**, Mn (di- or trivalent), Zn, **Al**, Cr, V, **Ti**,

□ represents a vacancy,

*T* is commonly Be, **Al**, B, **Fe** (trivalent), **Si**, and

*A* is commonly Cl, **F**, **OH**, O (oxy-micas), S.



# Слюды Micas

TABLE 1. TRUE MICAS: END-MEMBER FORMULAS AND  
TYPICAL RANGES FOR MINERAL SPECIES

## DIOCTAHEDRAL

### muscovite

$${}^{\text{IV}}\text{Si}: 3.0 - 3.1$$

$${}^{\text{VI}}\text{R}^{2+}/({}^{\text{VI}}\text{R}^{2+} + {}^{\text{VI}}\text{R}^{3+}) < 0.25$$

### aluminoceladonite

$${}^{\text{VI}}\text{R}^{2+}/({}^{\text{VI}}\text{R}^{2+} + {}^{\text{VI}}\text{R}^{3+}) \geq 0.25$$

$$\text{Mg}/(\text{Mg} + {}^{\text{VI}}\text{Fe}^{2+}) > 0.5$$

### ferro-aluminoceladonite

$${}^{\text{VI}}\text{Al}/({}^{\text{VI}}\text{Al} + {}^{\text{VI}}\text{Fe}^{3+}): 0.5 - 1.0$$

### celadonite

$${}^{\text{VI}}\text{R}^{2+}/({}^{\text{VI}}\text{R}^{2+} + {}^{\text{VI}}\text{R}^{3+}) \geq 0.25$$

$$\text{Mg}/(\text{Mg} + {}^{\text{VI}}\text{Fe}^{2+}) > 0.5$$

### ferroceladonite

$${}^{\text{VI}}\text{Al}/({}^{\text{VI}}\text{Al} + {}^{\text{VI}}\text{Fe}^{3+}) < 0.5$$

### roscoelite

### chromphyllite

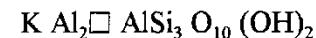
### boromuscovite

### paragonite

$$\text{K} < 0.15$$

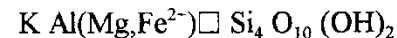
### nanpingite

### tobelite

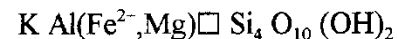


$$\text{K}: 0.7 - 1.0 (I \geq 0.85)$$

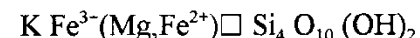
$${}^{\text{VI}}\text{Al}/({}^{\text{VI}}\text{Al} + {}^{\text{VI}}\text{Fe}^{3+}): 0.5 - 1.0$$



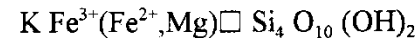
$${}^{\text{VI}}\text{Al}/({}^{\text{VI}}\text{Al} + {}^{\text{VI}}\text{Fe}^{3+}): 0.5 - 1.0$$



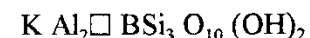
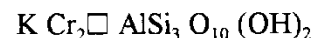
$$\text{Mg}/(\text{Mg} + {}^{\text{VI}}\text{Fe}^{2+}) \leq 0.5$$



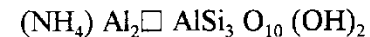
$${}^{\text{VI}}\text{Al}/({}^{\text{VI}}\text{Al} + {}^{\text{VI}}\text{Fe}^{3+}) < 0.5$$



$$\text{Mg}/(\text{Mg} + {}^{\text{VI}}\text{Fe}^{2+}) \leq 0.5$$

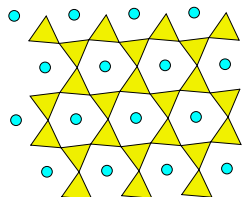


$$\text{Ca} < 0.11$$



Depending on the interlayer cation, the micas are subdivided into *true micas* (if > 50% cations present are monovalent) or *brittle micas* (if > 50% *I* cations present are divalent); if the formula exhibits < 0.85 and > 0.6 positive interlayer charges, it represents an interlayer-cation-deficient mica or, stated in an abbreviated form, an *interlayer-deficient mica*.





# Слюды Micas

TRIOCTAHEDRAL

<b>annite</b>	$\text{K Fe}^{2+}_3 \text{AlSi}_3 \text{O}_{10} (\text{OH})_2$
<b>phlogopite</b>	$\text{K Mg}_3 \text{AlSi}_3 \text{O}_{10} (\text{OH})_2$
<b>siderophyllite</b>	$\text{K Fe}^{2+}_2 \text{Al Al}_2 \text{Si}_2 \text{O}_{10} (\text{OH})_2$
<b>eastonite</b>	$\text{K Mg}_2 \text{Al Al}_2 \text{Si}_2 \text{O}_{10} (\text{OH})_2$
<b>hendricksite</b>	$\text{K Zn}_3 \text{AlSi}_3 \text{O}_{10} (\text{OH})_2$
$\text{Zn} > 1.5$	
<b>montdorite*</b>	$\text{KFe}^{2+}_{1.5} \text{Mn}^{2+}_{0.5} \text{Mg}_{0.5} \square_{0.5} \text{Si}_4 \text{O}_{10} \text{F}_2$
<b>tainiolite</b>	$\text{K LiMg}_2 \text{Si}_4 \text{O}_{10} \text{F}_2$
<b>polyolithionite</b>	$\text{K Li}_2 \text{Al Si}_4 \text{O}_{10} \text{F}_2$
<b>trilithionite*</b>	$\text{K Li}_{1.5} \text{Al}_{1.5} \text{AlSi}_3 \text{O}_{10} \text{F}_2$
<b>masutomilite</b>	$\text{K LiAlMn}^{2+} \text{AlSi}_3 \text{O}_{10} \text{F}_2$
$\text{Mn}^{2+}: 1.0 - 0.5$	$\text{Li}: 1.0 - 1.5$
$\text{Si}: 3.0 - 3.5$	$^{\text{IV}}\text{Al}: 1.0 - 0.5$
<b>norrishite</b>	$\text{K LiMn}^{3+}_2 \text{Si}_4 \text{O}_{12}$
<b>tetra-ferri-annite</b>	$\text{K Fe}^{2+}_3 \text{Fe}^{3+} \text{Si}_3 \text{O}_{10} (\text{OH})_2$
<b>tetra-ferriphlogopite</b>	$\text{K Mg}_3 \text{Fe}^{3+} \text{Si}_3 \text{O}_{10} (\text{OH})_2$
<b>aspidolite</b>	$\text{Na Mg}_3 \text{AlSi}_3 \text{O}_{10} (\text{OH})_2$
<b>preiswerkite</b>	$\text{Na Mg}_2 \text{Al Al}_2 \text{Si}_2 \text{O}_{10} (\text{OH})_2$
<b>ephesite</b>	$\text{Na LiAl}_2 \text{Al}_2 \text{Si}_2 \text{O}_{10} (\text{OH})_2$

Note: species that are not end members are denoted with an asterisk.

Compositional limits are expressed in atoms per formula unit (*apfu*).

# Слюды Micas

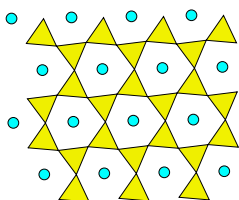


TABLE 2. BRITTLE MICAS: END-MEMBER FORMULAS AND  
TYPICAL RANGES FOR MINERAL SPECIES

## DIOCTAHEDRAL

### margarite

*I*: Ca, Na

*M*: Al, Li, □ > Li

Ca Al<sub>2</sub>□ Al<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> O<sub>10</sub> (OH)<sub>2</sub>

*T*: Al, Si, Be

### chernykhite

*M*: V, Al, Fe, Mg

Ba V<sub>2</sub>□ Al<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> O<sub>10</sub> (OH)<sub>2</sub>

## TRIOCTAHEDRAL

### clintonite

*I*: Ca, Na, K

*M*: Mg, Fe<sup>2+</sup>, Al, Fe<sup>3+</sup>, Mn

Ca Mg<sub>2</sub>Al Al<sub>3</sub>Si O<sub>10</sub> (OH)<sub>2</sub>

*T*: Al, Si, Fe<sup>3+</sup>

### bityite

<sup>VI</sup>Li > <sup>VI</sup>□

Ca LiAl<sub>2</sub> BeAlSi<sub>2</sub> O<sub>10</sub> (OH)<sub>2</sub>

### anandite

*I*: Ba, K, Na

*M*: Fe<sup>2+</sup>, Mg, Fe<sup>3+</sup>, Mn, Al

Ba Fe<sup>2+</sup><sub>3</sub> Fe<sup>3+</sup>Si<sub>3</sub> O<sub>10</sub> S(OH)

*A*: S > (OH, Cl, F)

### kinoshitalite

*I*: Ba + K ≈ 1.0

*M*: Mg, Mn<sup>2+</sup>, Mn<sup>3+</sup>, Al, Fe, Ti

Ba Mg<sub>3</sub> Al<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> O<sub>10</sub> (OH)<sub>2</sub>

*A*: OH, F

Compositional limits are expressed in atoms per formula unit (*apfu*).

# Слюды Micas

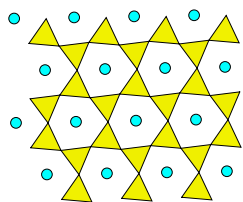
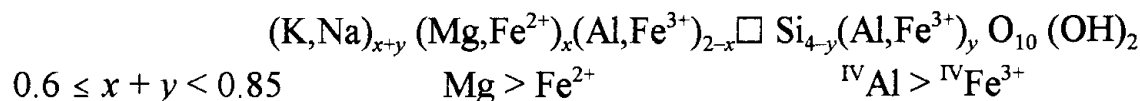


TABLE 3. INTERLAYER-DEFICIENT MICAS:  
REPRESENTATIVE FORMULAS AND RANGES

## DIOCTAHEDRAL<sup>§</sup>

idealized general formula



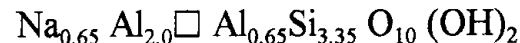
**illite** (a series name)



**glaucconite** (a series name)

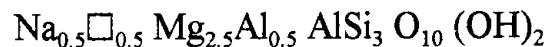


**brammalite** (a series name)

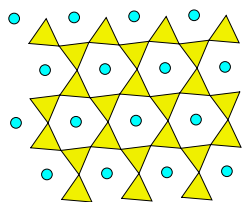


## TRIOCTAHEDRAL

**wonesite**\*



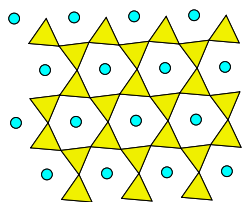
Note: \* wonesite is not an end member. Compositional limits are expressed in atoms per formula unit (*apfu*). § See also Figure 1;  $I = x + y$ .



# Слюды Micas

TABLE 4. SERIES NAMES USED IN MICA NOMENCLATURE

<b>biotite</b>	trioctahedral micas between, or close to, the annite – phlogopite and siderophyllite – eastonite joins; dark micas without lithium
<b>glaucosite</b>	dioctahedral interlayer-deficient micas with composition defined in Table 3
<b>illite</b>	dioctahedral interlayer-deficient micas with composition defined in Table 3
<b>lepidolite</b>	trioctahedral micas on, or close to, the trilithionite – polyolithionite join; light micas with substantial lithium
<b>phengite</b>	potassic dioctahedral micas between, or close to, the joins muscovite – aluminoceladonite and muscovite – celadonite
<b>zinnwaldite</b>	trioctahedral micas on, or close to, the siderophyllite – polyolithionite join; dark micas containing lithium



# Глинистые минералы

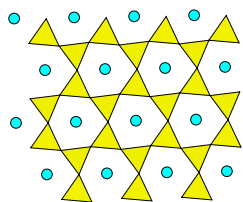
## Clay Minerals

---

**Глинистые минералы** — вторичные водные силикаты, алюмосиликаты и ферросиликаты, слагающие основную массу глин, аргиллитов и тонких ( $< 0,005$  мм) фракций некоторых других осадочных пород. Наиболее распространённые представители - каолинит, монтмориллонит, бейделлит, галлуазит, иллит.

Глинистые минералы являются продуктом выветривания преимущественно алюмосиликатов и силикатов магматических и метаморфических горных пород. Размеры частиц глинистых материалов в глинах большей частью не превышают 0,01 мм.

Высокая удельная поверхность, изоморфные замещения, наличие некомпенсированных зарядов придаёт глинистым минералам катионнообменную способность.



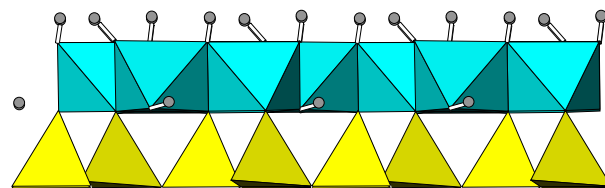
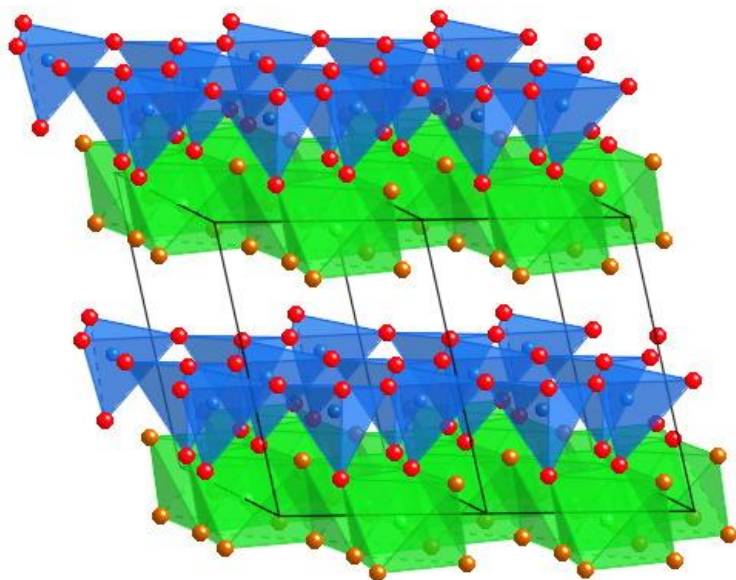
# Глинистые минералы

## Clay Minerals

Каолинит -  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$

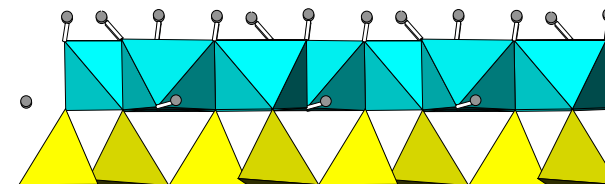
Галлуазит -  $\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$

✓ Группа каолинита (каолинит, галлуазит) с пакетом, состоящим из одного слоя октаэдров и одного слоя тетраэдров. Пакеты прочно связаны между собой и плотно прилегают друг к другу, в результате чего молекулы воды и катионы металлов не могут входить в межпакетное пространство и минерал не набухает в воде, а также обладает низкой ёмкостью катионного обмена (ЕКО).



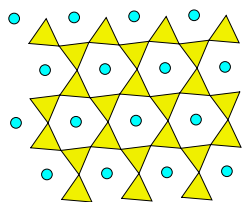
$\text{O}=\text{AlO}_6$

$\text{T}=\text{SiO}_4$



$\text{H}^+$

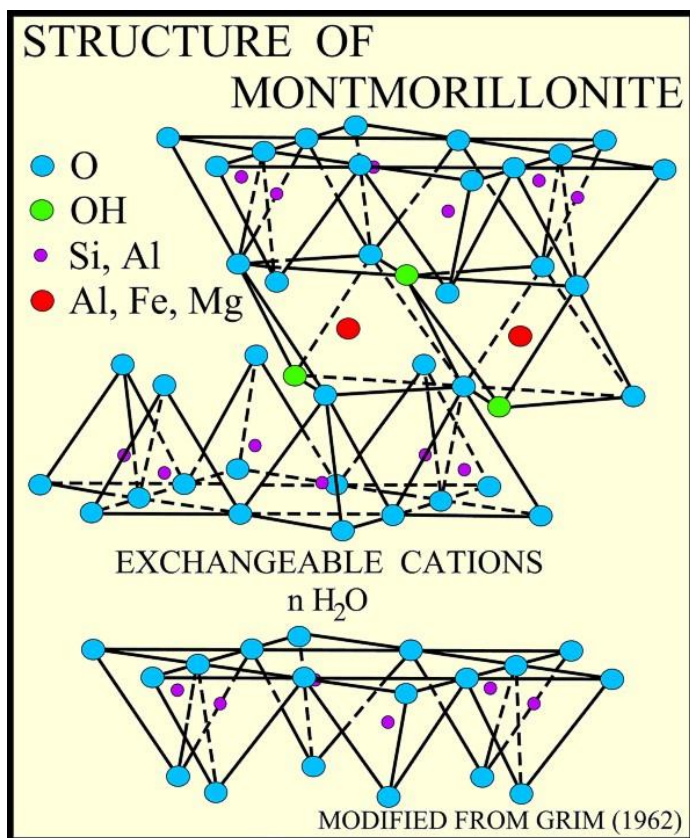




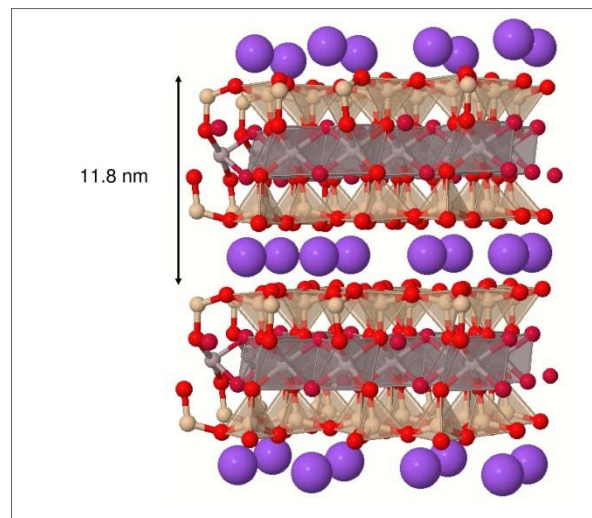
# Глинистые минералы

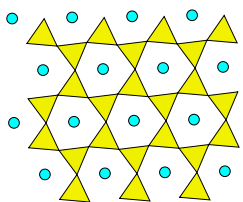
## Clay Minerals

Монтмориллонит



- ✓ Группа монтмориillonита или группа смектитов (монтмориillonит, нонтронит, бейделлит) с трёхслойным пакетом вида тетраэдр-октаэдр-тетраэдр. Связь между пакетами слаба, туда проникает вода, из-за чего минерал сильно набухает. Отличается высокой ЕКО (до 80-120 мг.-эквивалентах на 100 г.).

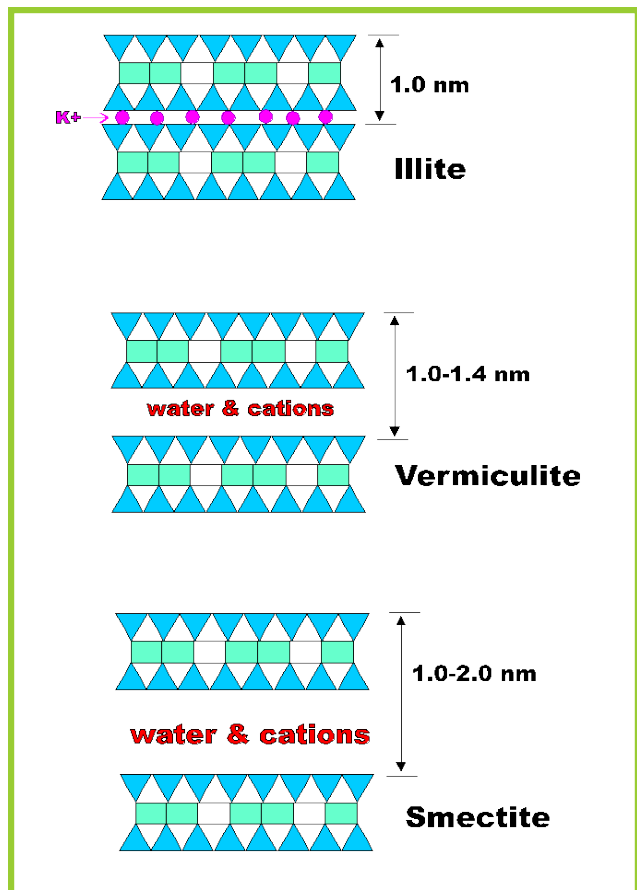




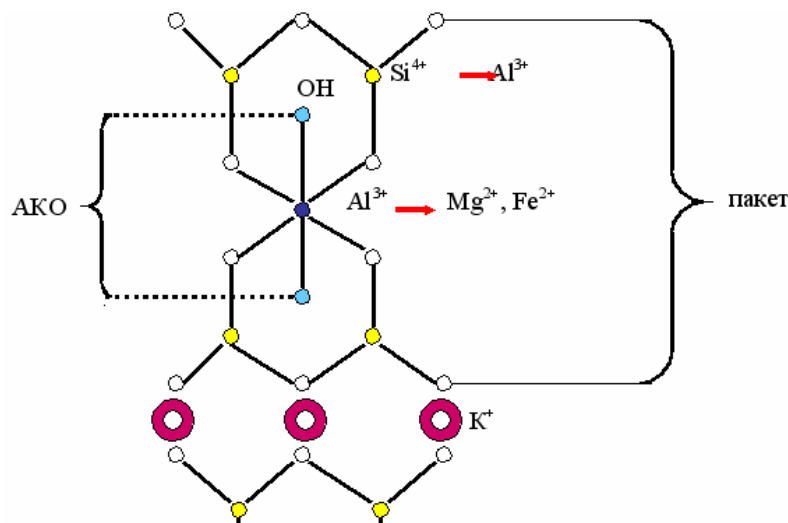
# Глинистые минералы

## Clay Minerals

Вермикулит



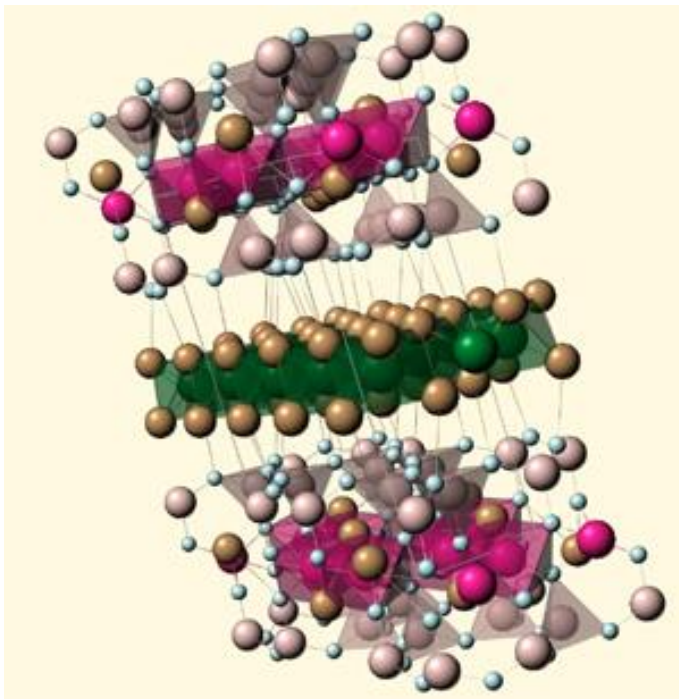
✓ Группа гидрослюд (гидробиотит, гидромусковит (= иллит), вермикулит, браммалит) также с трёхслойным пакетом, но сильной связью между ними. Практически не поглощают воду и не набухают в ней. Отличаются высоким содержанием калия.



# Глинистые минералы

## Clay Minerals

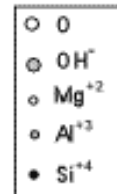
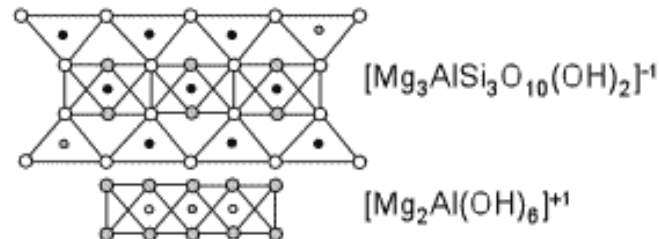
- ✓ Группа хлорита с четырёхслойной набухающей структурой.



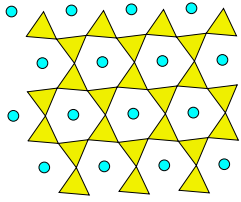
Клинохлор -  $Mg_6Si_4O_{10}(OH)_8$

Шамозит -  $(Fe^{2+}, Mg, Al, Fe^3)_6(Si, Al)_4O_{10}(OH, O)_8$

Chlorite  $(Mg_5Al)(Si_3Al)O_{10}(OH)_8$



- ✓ Группа смешаннослойных минералов с чередованием пакетов различных типов. Носят названия вида иллит-монтмориллонит, вермикулит-хлорит и т.п., свойства сильно варьируют.



# Глинистые минералы

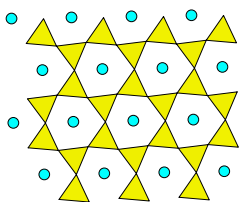
## Clay Minerals

---

"Clay minerals belong to the family of phyllosilicates and contain continuous two-dimensional tetrahedral sheets of composition  $T_2O_5$  ( $T = \text{Si, Al, Be, ...}$ ) with tetrahedra linked by sharing three corners of each, and with the fourth corner pointing in any direction. The tetrahedral sheets are linked in the unit structure to octahedral sheets, or to groups of coordinated cations, or individual cations."

The clay minerals are divided into groups, each containing dioctahedral and trioctahedral subgroups. Each sub-group in turn is divided into mineral species.

*American Mineralogist Volume 65, pages 1-7, 1980*

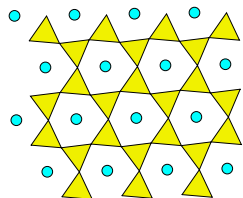


# Глинистые минералы

## Clay Minerals

Classification scheme for phyllosilicates related to clay minerals

Layer Type	Group ( $\underline{x}$ = charge per formula unit)	Subgroup	Species*
1:1	Kaolinite-serpentine	Kaolinite	Kaolinite, dickite, halloysite
	$\underline{x} \sim 0$	Serpentine	Chrysotile, lizardite, amesite
2:1	Pyrophyllite-talc	Pyrophyllite	Pyrophyllite
	$\underline{x} \sim 0$	Talc	Talc
	Smectite	Diocahedral smectite	Montmorillonite, beidellite
	$\underline{x} \sim 0.2-0.6$	Triocahedral smectite	Saponite, hectorite, sauconite
	Vermiculite	Diocahedral vermiculite	Diocahedral vermiculite
	$\underline{x} \sim 0.6-0.9$	Triocahedral vermiculite	Triocahedral vermiculite
	Mica#	Diocahedral mica	Muscovite, paragonite
	$\underline{x} \sim 1$	Triocahedral mica	Phlogopite, biotite, lepidolite
	Brittle mica	Diocahedral brittle mica	Margarite
	$\underline{x} \sim 2$	Triocahedral brittle mica	Clintonite, anandite
	Chlorite	Diocahedral chlorite	Donbassite
	$\underline{x}$ variable	Di,triocahedral chlorite	Cookeite, sudoite
		Triocahedral chlorite	Clinochlore, chamosite, nimite



# **Слоистые силикаты**

## **Листовые силикаты**

### **Phyllosilicates**

---

**Clays, Clay Minerals and Layered Materials**

**Глины, глинистые минералы и слоистые материалы**

**<http://www.ruclay.com>**



г. Санкт-Петербург, Россия

02-06.09.2013