

*Слоистые (листовые)  
силикаты и алюмосиликаты*

# Слоистые силикаты и алюмосиликаты

Слоистые силикаты и алюмосиликаты – многочисленный подкласс минералов. Важнейшие группы минералов: гр.каолинита-серпентина, талька, пирофиллита, смектитов, слюд, хлоритов и др.

Многие из этих минералов являются породообразующими (слюды слагают около 4 % объема Земной коры).

Нередко образуют тонкодисперсные, смешанослойные выделения – сложности в диагностике, требуется применение спектроскопических методов, электронной микроскопии высокого разрешения и т.д.

# Использование слоистых силикатов

Слоистые силикаты – важные нерудные полезные ископаемые.

1. Наполнители в бумажной, пластмассовой, резиновой промышленности.

*Бумажная промышленность является крупнейшим потребителем талька. Тальк используется на трех стадиях процесса производства бумаги: в качестве наполнителя, для абсорбции смол и при покрытии бумаги.*

*Около 50 % от всего добываемого каолинита используется при производстве бумаги для мелования и в качестве наполнителя.*

# Использование слоистых силикатов

2. Производство фарфора, керамики
3. Изоляторы (вермикулит, слюды)
4. Огнеупоры (хризотил-асбест, пирофиллит)
5. Технические присыпки для хранения пластиковой или резиновой продукции (тальк)
6. Производство косметики (тальк, смектиты)
7. Адсорбенты (смектиты, вермикулит)

Смектиты - нефтяная промышленность - главный потребитель (очистка продуктов перегонки нефти от посторонних примесей - смол, углистых веществ и т.п.). Текстильная промышленность - удаления жиров и масел при изготовлении тканей, а также их отбеливание. Пищевая промышленность - очистка воды и пищевых продуктов (вины, соков, растительных масел).
8. Сельское хозяйство (вермикулит)

# Использование слоистых силикатов

Смектиты в фармацевтике - применяется при изготовлении лекарств, главным образом, как связующее вещество (в таблетках и пиллюлях), а также как сорбент.

*Смектит диоктаэдрический,  
синоним – смекта.*

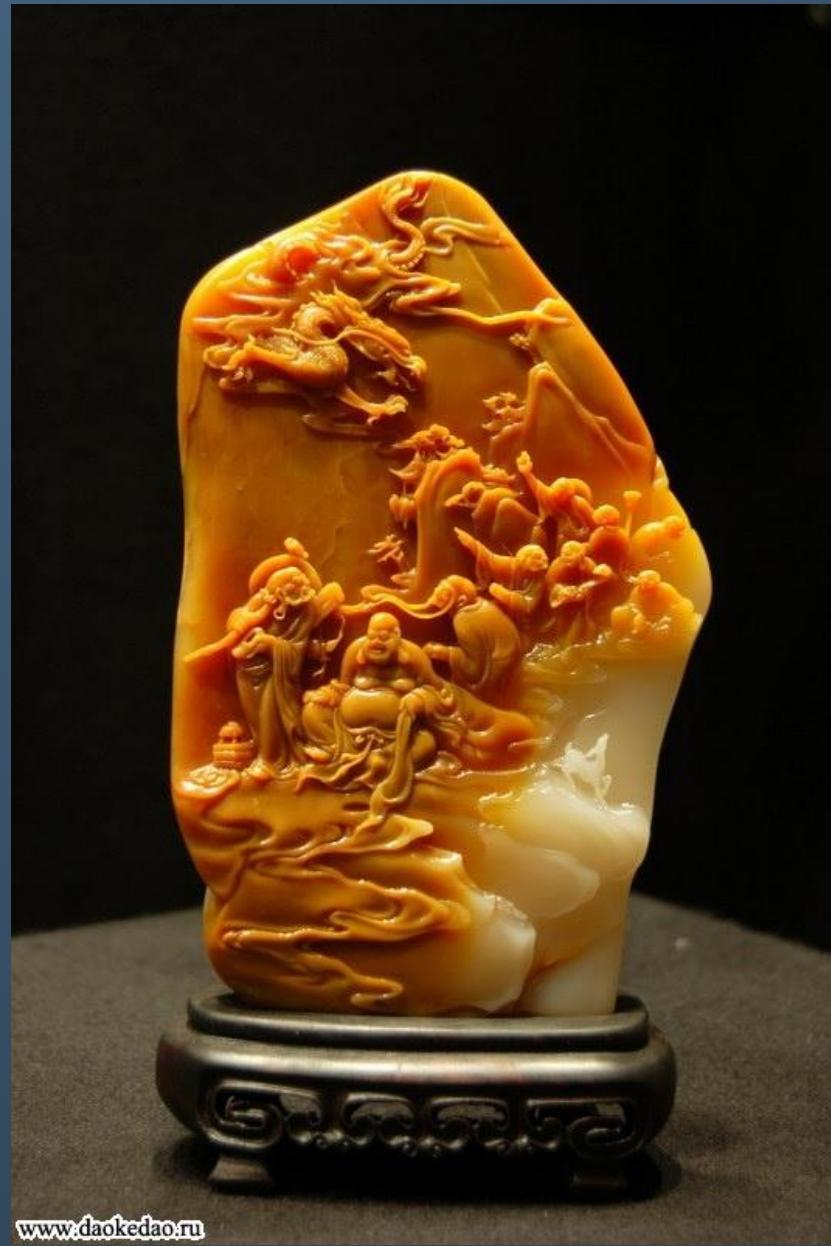
*Общая развернутая поверхность  
1 грамма монтмориллонита  
имеет площадь 700 – 800  
квадратных метров!*



# Тальковые и пирофиллитовые породы – поделочные камни



Агальматолит



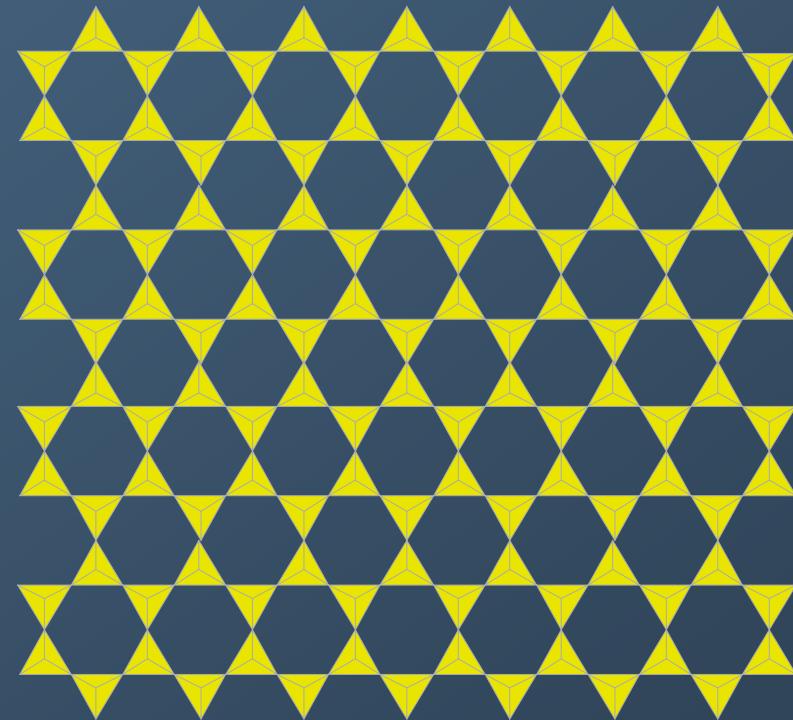
# Слоистые силикаты и алюмосиликаты

Выделяют слоистые минералы с простыми и сложными сетками.

Наиболее распространенные простые сетки состоят из Si-O-тетраэдров, соединенных в кольца гексагональной конфигурации.

Их можно рассматривать как продукт конденсации амфиболовых лент.

В Si-O-слое три из 4-х ионов кислорода каждого  $[\text{SiO}_4]$ -тетраэдра связаны с соседними тетраэдрами, что обуславливает соотношение  $\text{Si}:\text{O} = 1:2,5$ .

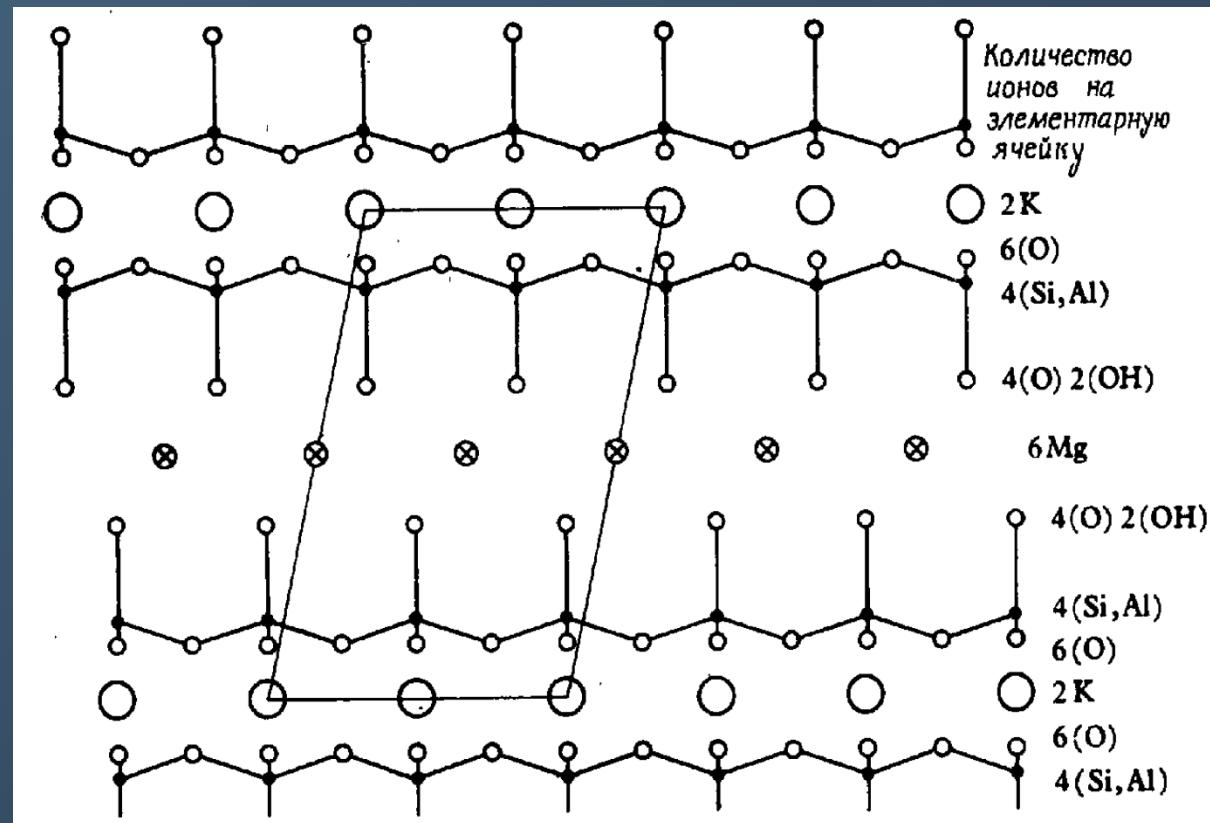


# Слоистые силикаты и алюмосиликаты

Сетки располагаются параллельно друг другу и чередуются с плоскими сетками октаэдров, образуя пакеты.

Пакеты находятся не точно друг под другом, а чуть смещены (появляется угол  $\beta$ , сингония моноклинная, а не гексагональная).

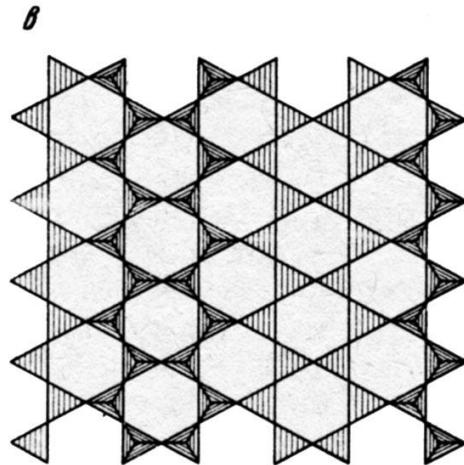
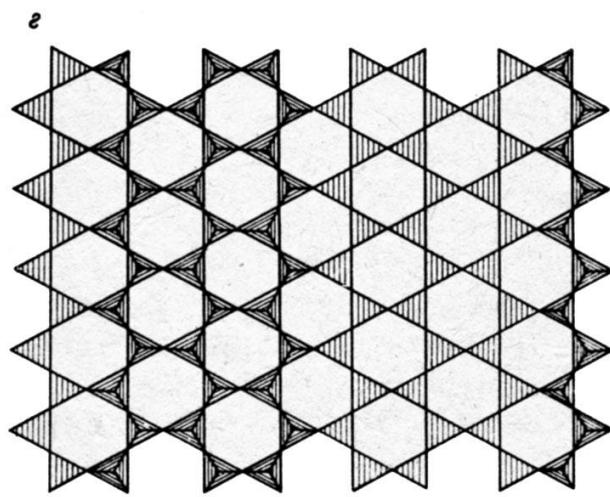
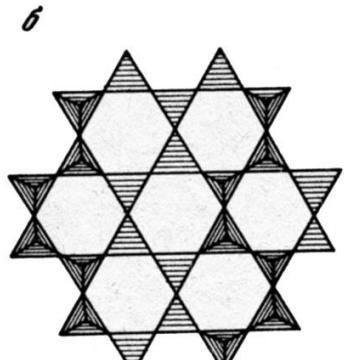
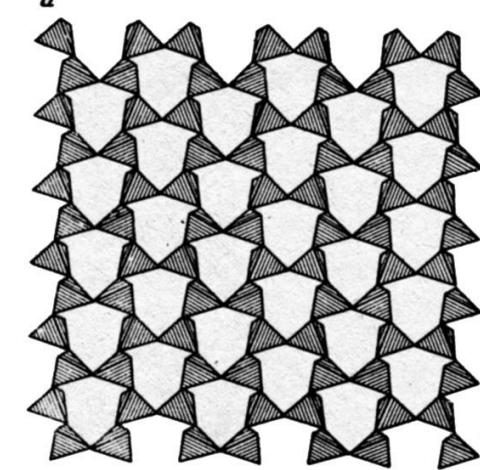
Подобную структуру имеют большинство слоистых силикатов и аллюмосиликатов.

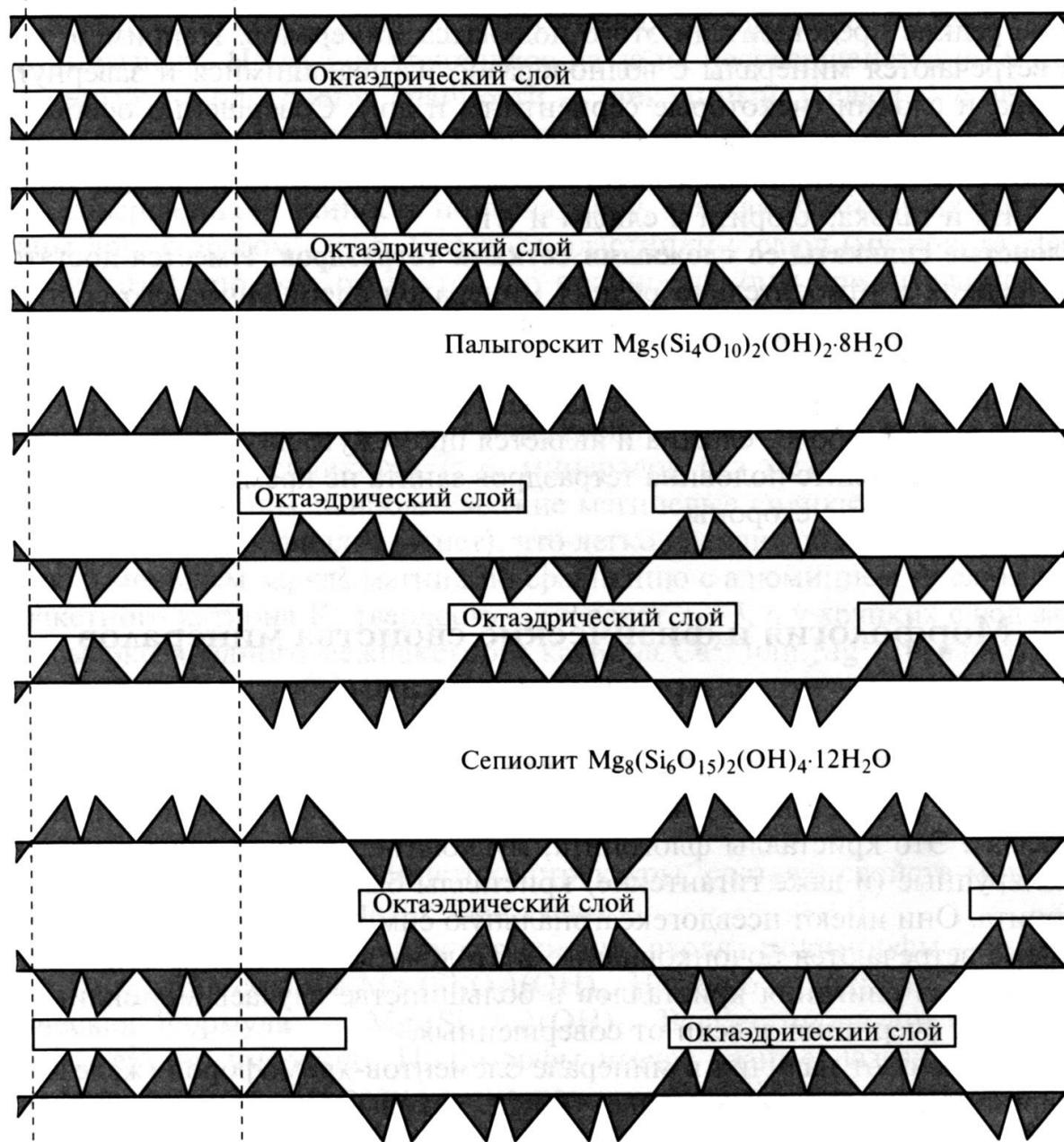
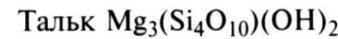


## Слоистые силикаты со сложными сетками.

Двусторонние сетки в структурах санборнита (а), пентагонита (б), палыгорскита (в) и сепиолита (г)

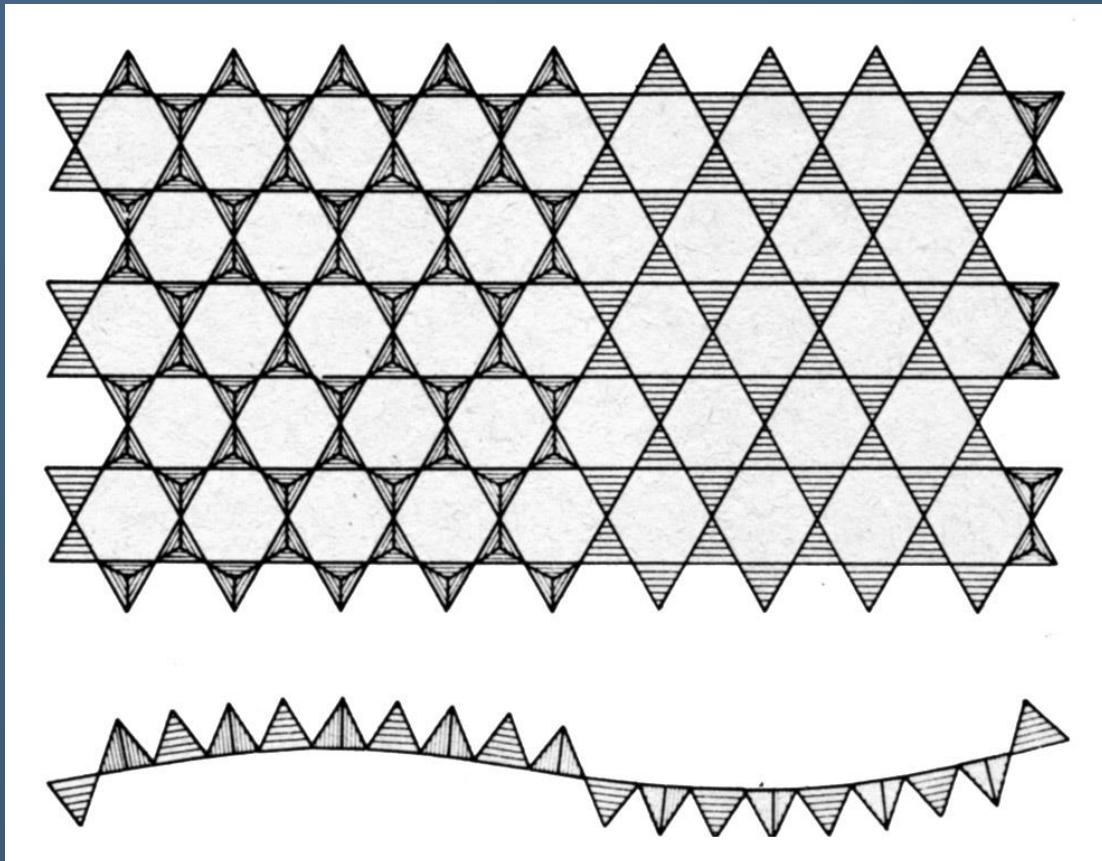
*Формирование двусторонних сеток может быть связано с несоразмерностью октаэдрических и тетраэдрических слоев.*





Слоистые  
силикаты со  
сложными  
сетками.

# Слоистые силикаты со сложными сетками



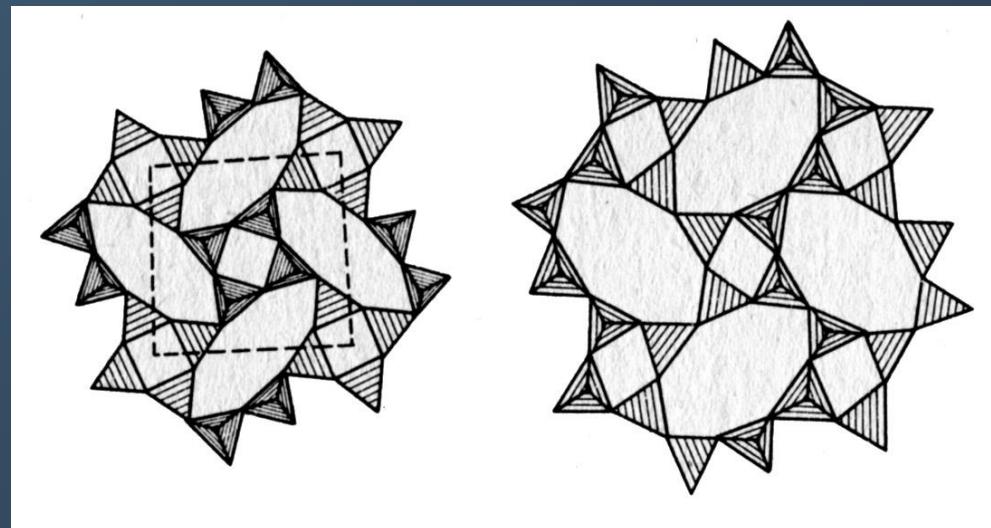
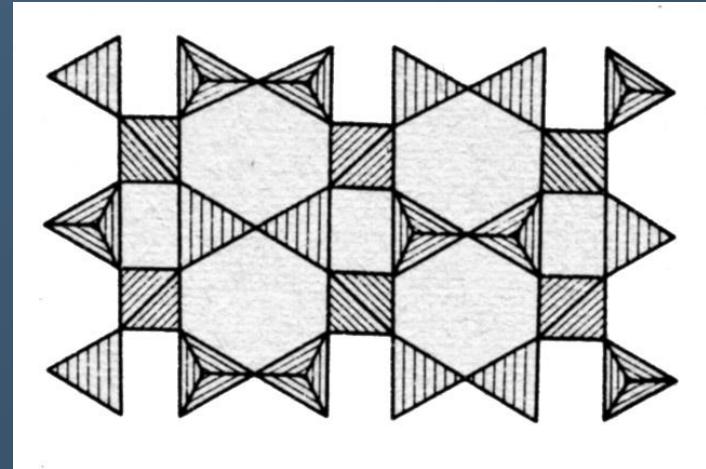
Двусторонняя  
деформированная  
сетка в структуре  
антигорита.

# Слоистые силикаты со сложными сетками

Реже встречаются сетки другой конфигурации.

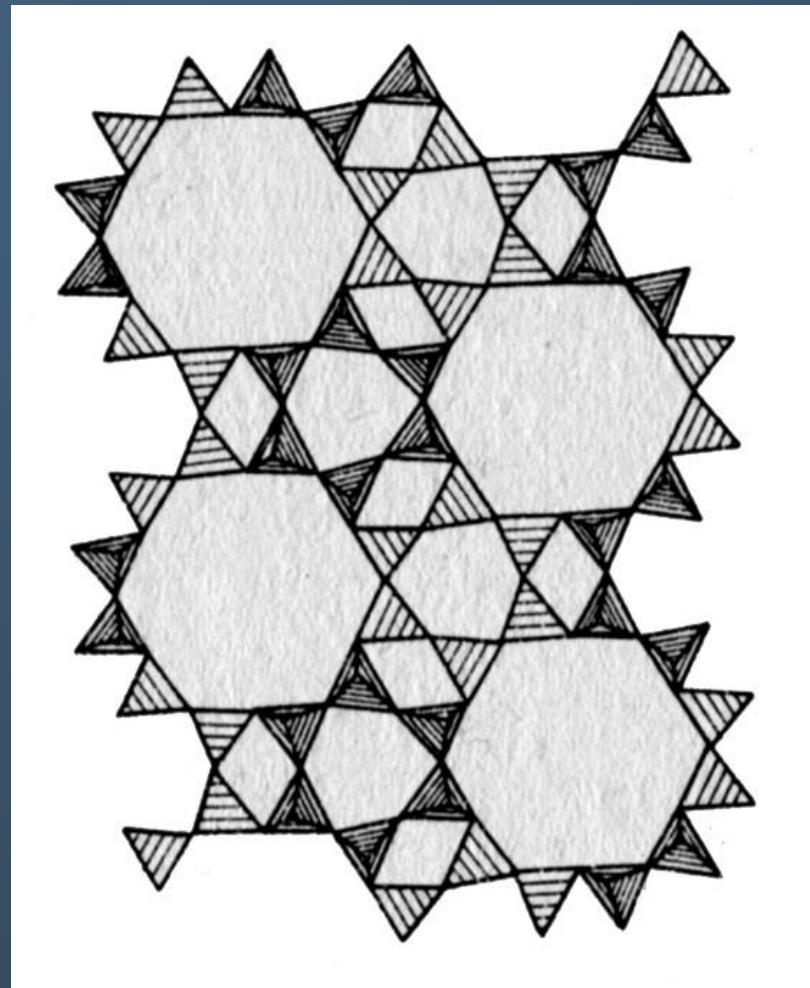
Сетки с чередованием шестерных и четверных колец – иохачидолит.

Сетки их восьмерных и четверных колец – апофиллит (слева), кавансит (справа).



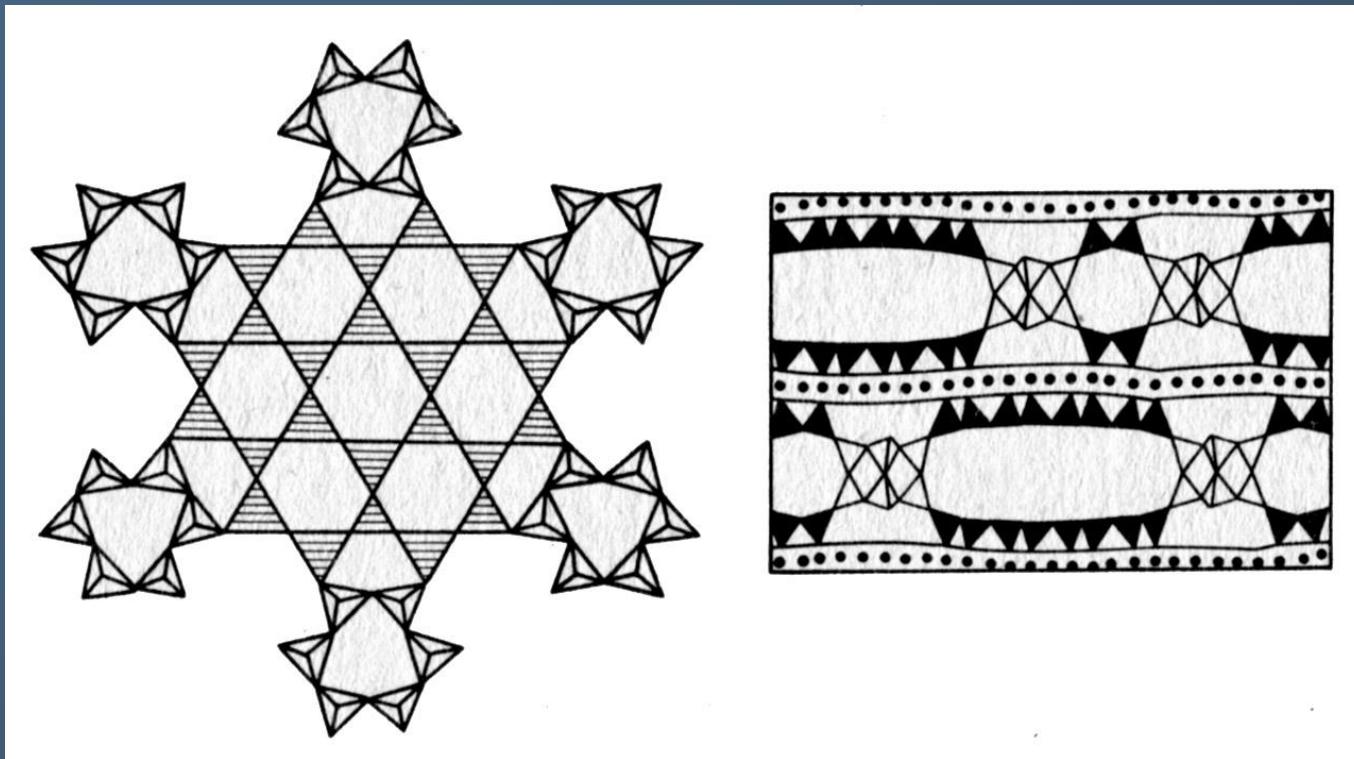
# Слоистые силикаты со сложными сетками

- Сетки из восьмерых и пятерных колец (окенит).
- Сетки из двенадцатерных, шестерных и четверных колец (манганопирросмалит).



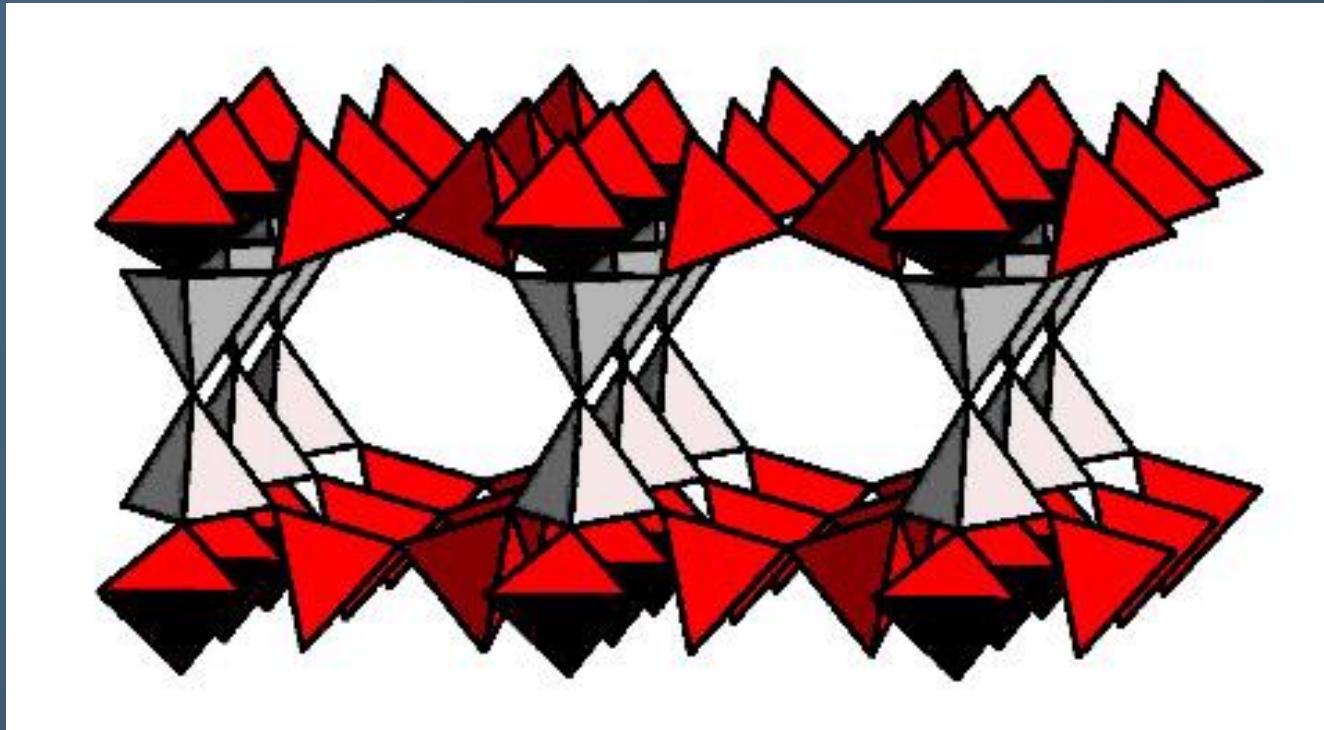
Кремнекислородная сетка в структуре манганопирросмалита

# Слоистые силикаты со сложными сетками



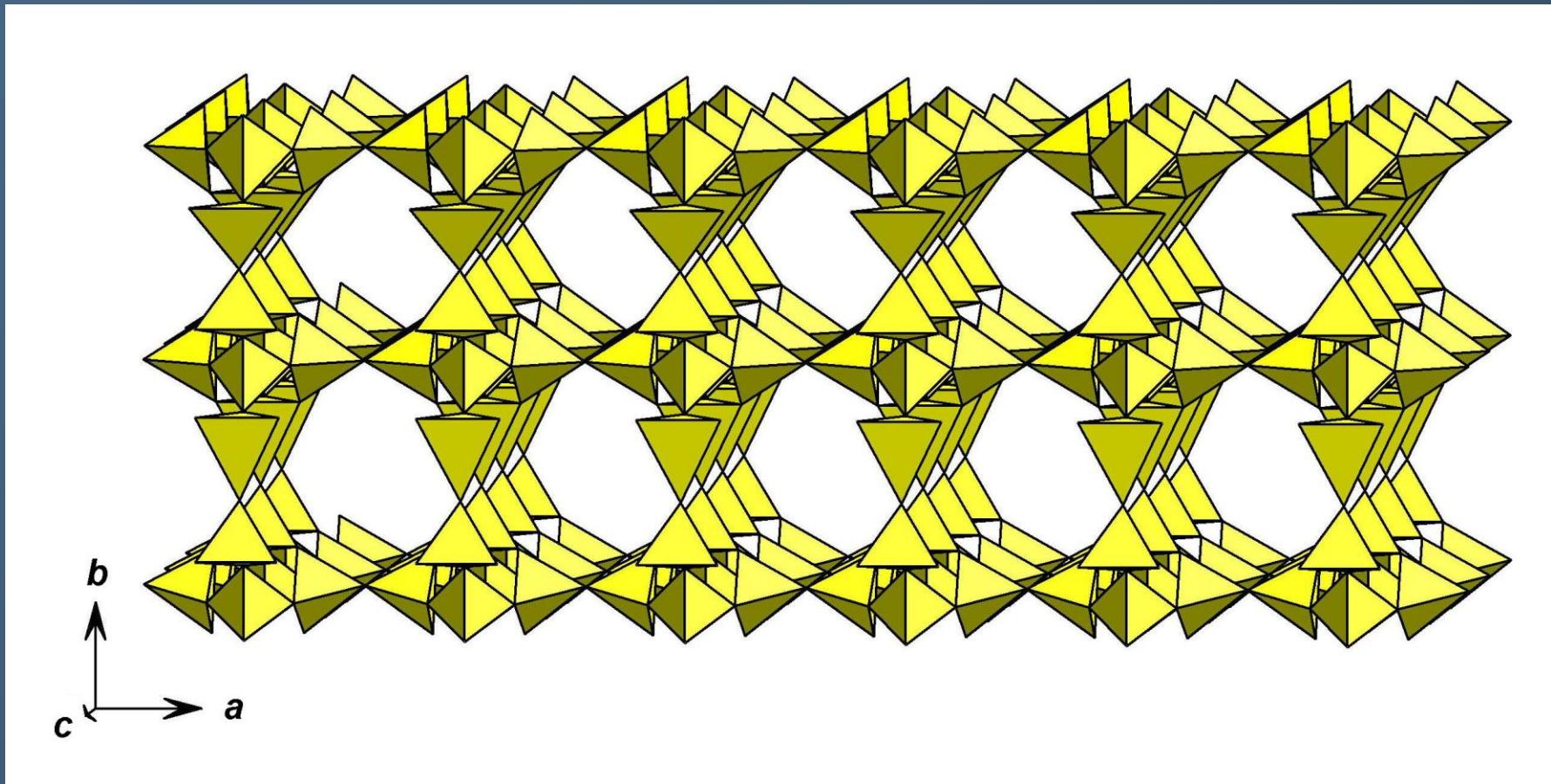
В структуре стильпномелана острова из 24 тетраэдров объединяются в слои двухэтажными шестерными кольцами. Такие сложные слои соединяются друг с другом через слои октаэдров (отмечены точками).

# Слоистые силикаты со сложными сетками



Дельхайелитовый двухэтажный слой - представляет собой два слоя апофиллитового типа, соединенные диортогруппами (серые тетраэдры - Si,Al)

# Слоистые силикаты со сложными сетками



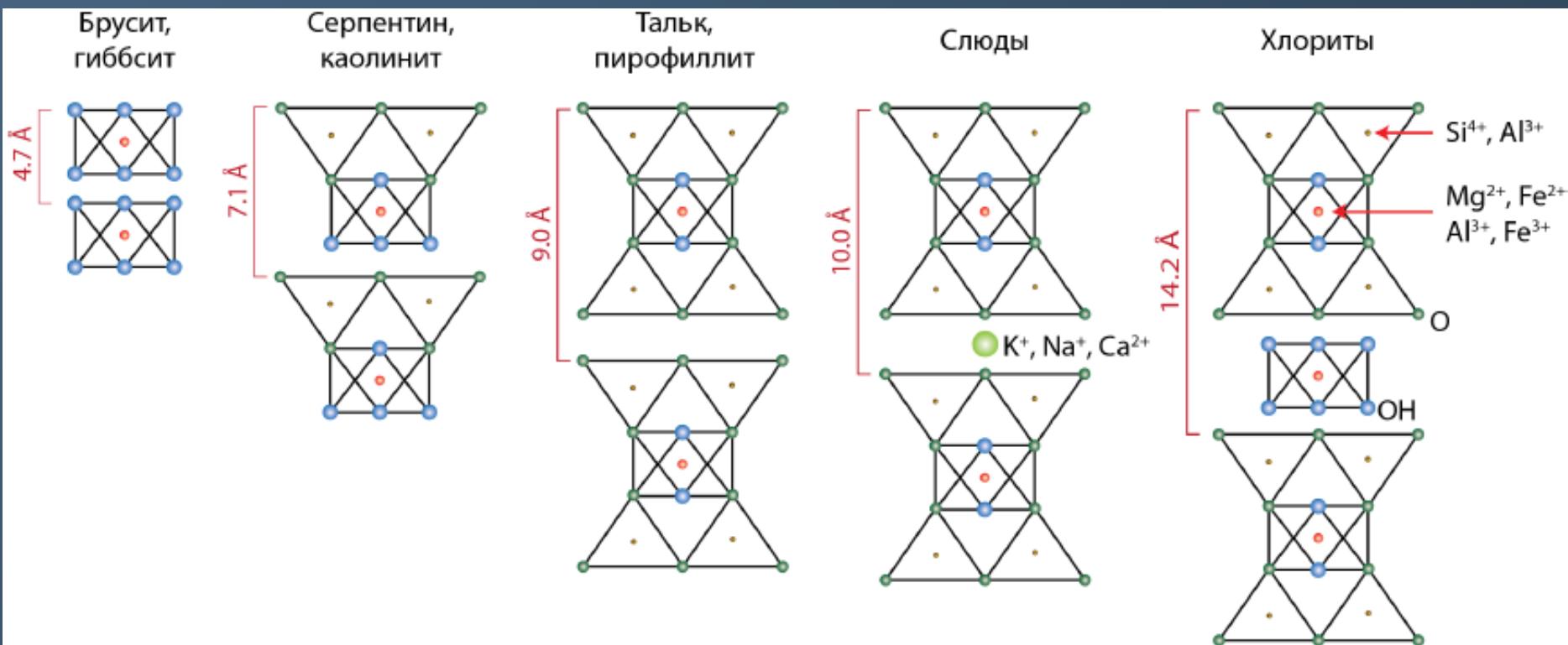
Хиллесхаймит – минерал гр. гюнтерблассита  
с тройным тетраэдрическим слоем

# Слоистые силикаты с простыми сетками

Основа структуры - сетки кремнекислородных тетраэдров, соединенных в кольца гексагональной конфигурации. Сетки располагаются параллельно друг другу и чередуются со слоями октаэдров.

*Основные структурные типы слоистых силикатов различаются сочетанием октаэдрических (бруситовых) и тетраэдрических слоев, а также наполнением межпакетного пространства.*

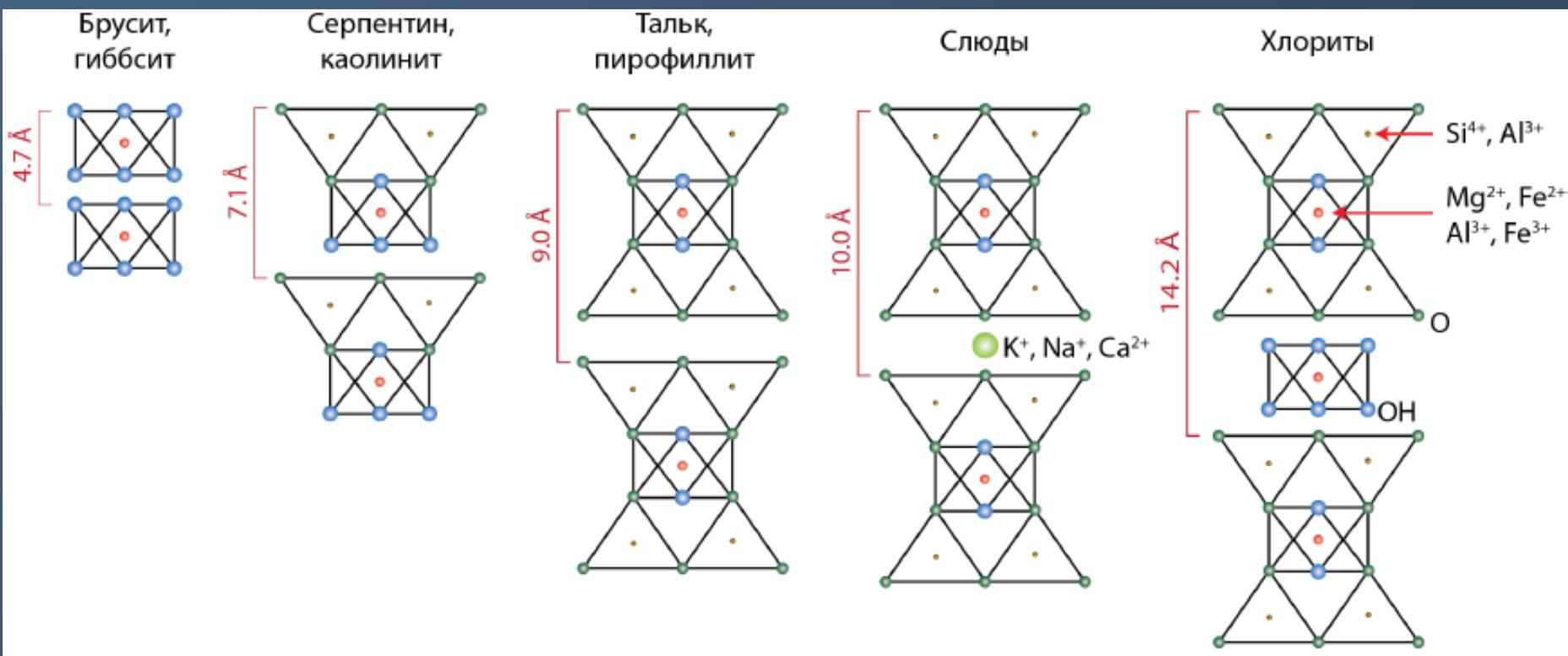
Выделяют два типа пакетов – двухслойный 1:1 несимметричный и трехслойный 2:1 симметричный.



# Слоистые силикаты с простыми сетками

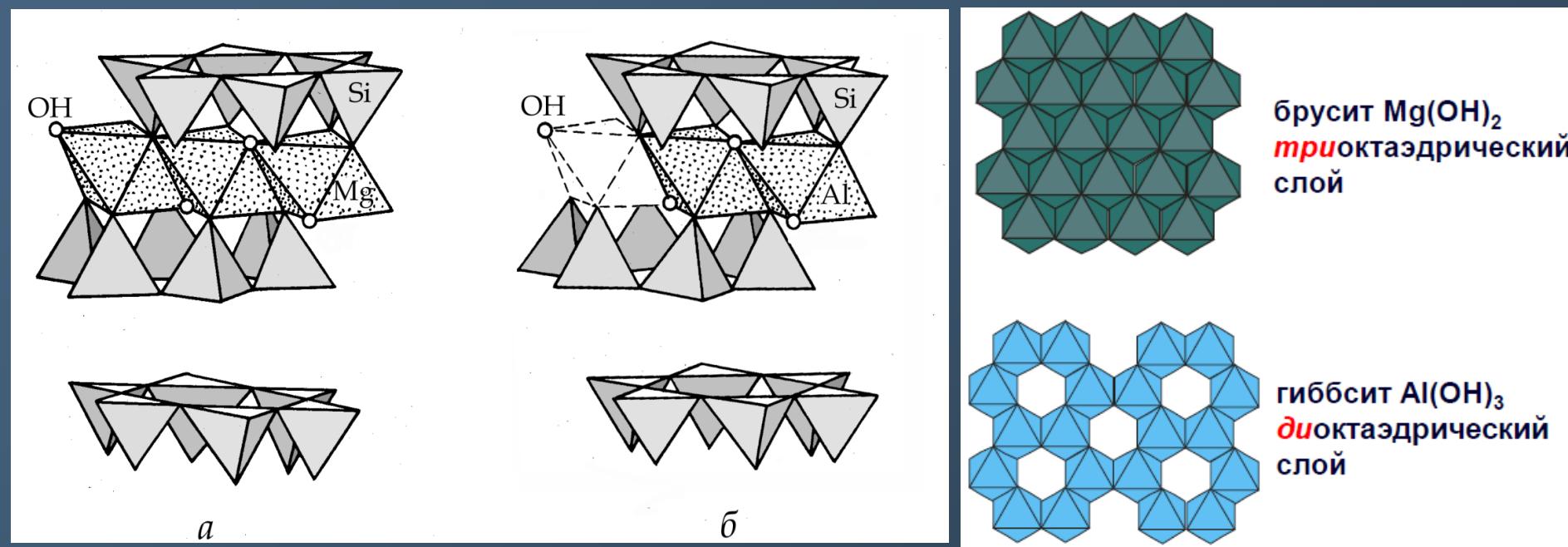
В пакете 2:1 за счет замены  $\text{Si}^{4+}$  на  $\text{Al}^{3+}$  пакет может приобретать заряд и в структуру будет входить слой катионов-компенсаторов.

В слюдах роль таких катионов играет  $\text{K}^+$  ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ), в хлоритах - комплексный катион-  $[(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al})_3(\text{OH})_6]^+$



# Слоистые силикаты с простыми сетками

Выделяются триоктаэдрические и диоктаэдрические слоистые силикаты по характеру заполнения октаэдрических слоев (триоктаэдрические - заполнены все октаэдры; диоктаэдрические - заполнено 2/3).



Структуры триоктаэдрического талька (а)  
и диоктаэдрического пирофиллита (б)

# Свойства слоистых силикатов и алюмосиликатов

Структура простых сеток из Si-O-тетраэдров, соединенных в кольца гексагональной конфигурации, объясняет псевдогексагональный облик кристаллов.

Благодаря некомпактности структур и слабым связям между пакетами

минералы имеют низкую плотность, твердость, совершенную или весьма совершенную спайность.

Для слоистых минералов чрезвычайно характерна политипия. За счет малых сил связи между пакетами происходит или сдвиг или разворот пакетов.

Известны разнообразные смешанослойные силикаты (смектит-хлорит, слюда-хлорит, флогопит-вермикулит, вермикулит-смектит).



# Двухслойные силикаты и алюмосиликаты

## *Группа каолинита-серпентина*

Минералы (около 20 мин. видов, 2019 г.)  
триклинной, моноклинной, ромбической,  
тригональной и гексагональной сингонии с  
общей формулой



- М – Al, Mg, Fe<sup>3+</sup>, Fe<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Ni, Zn
- Т – Si, Al, Fe<sup>3+</sup>

# Подгруппа каолинита

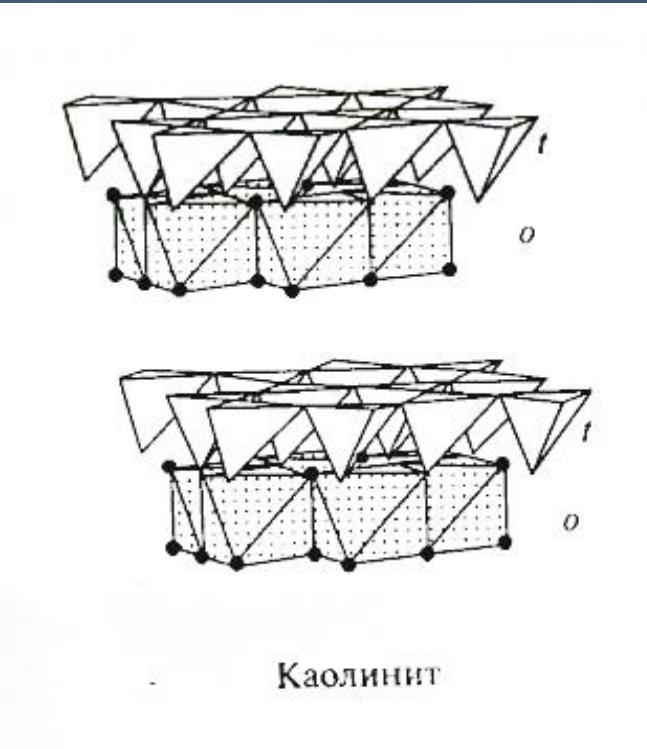
Каолинит - от китайского название горного района в Китае «Кай-Линг» (высокая гряда).



К подгруппе каолинита относится собственно каолинит и его политипные модификации – диккит и накрит, а также галлуазит, отличающийся присутствием межслоевой воды ( $\text{Al}_2[\text{Si}_2\text{O}_5](\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ).

Химический состав обычно близок теоретическому. Иногда отмечаются примеси Fe и Cr.

Формы выделения – сплошные землистые агрегаты, гнезда, глинистые массы (каолинит образует пластинчатые псевдогексагональной формы кристаллы размером 0,00n – 0,0n, редко до 0,1 мм). Накрит способен образовывать крупные и хорошо развитые кристаллы.



Каолинит



# Генезис каолинита

1. Низкотемпературное гидротермальное изменение пород.  
Каолинит – типичный минерал аргиллизитов.

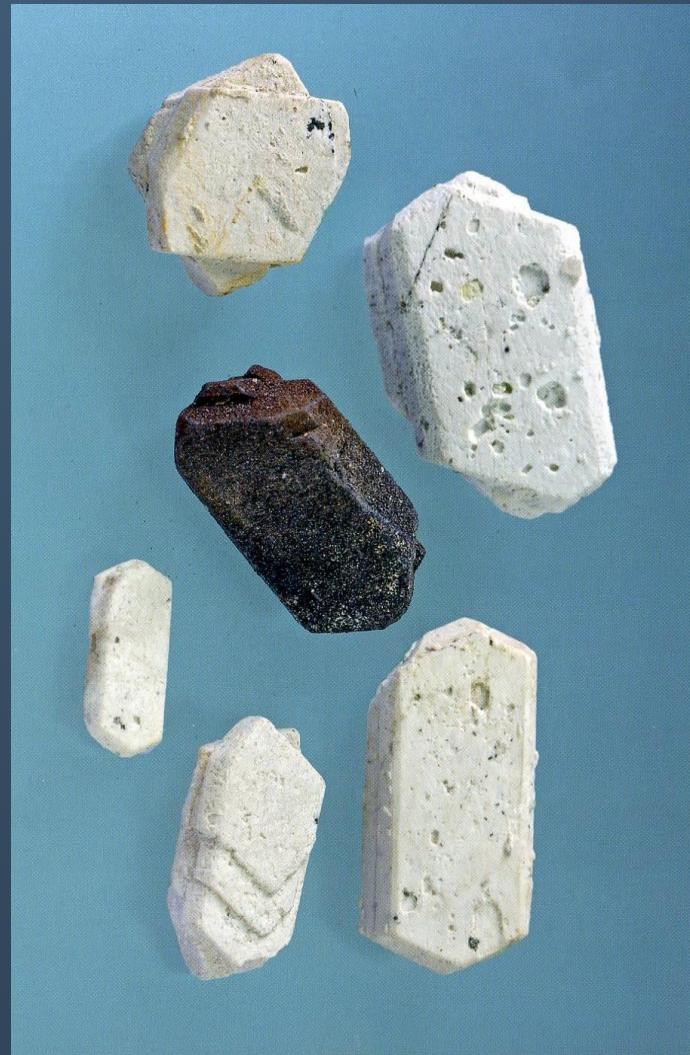
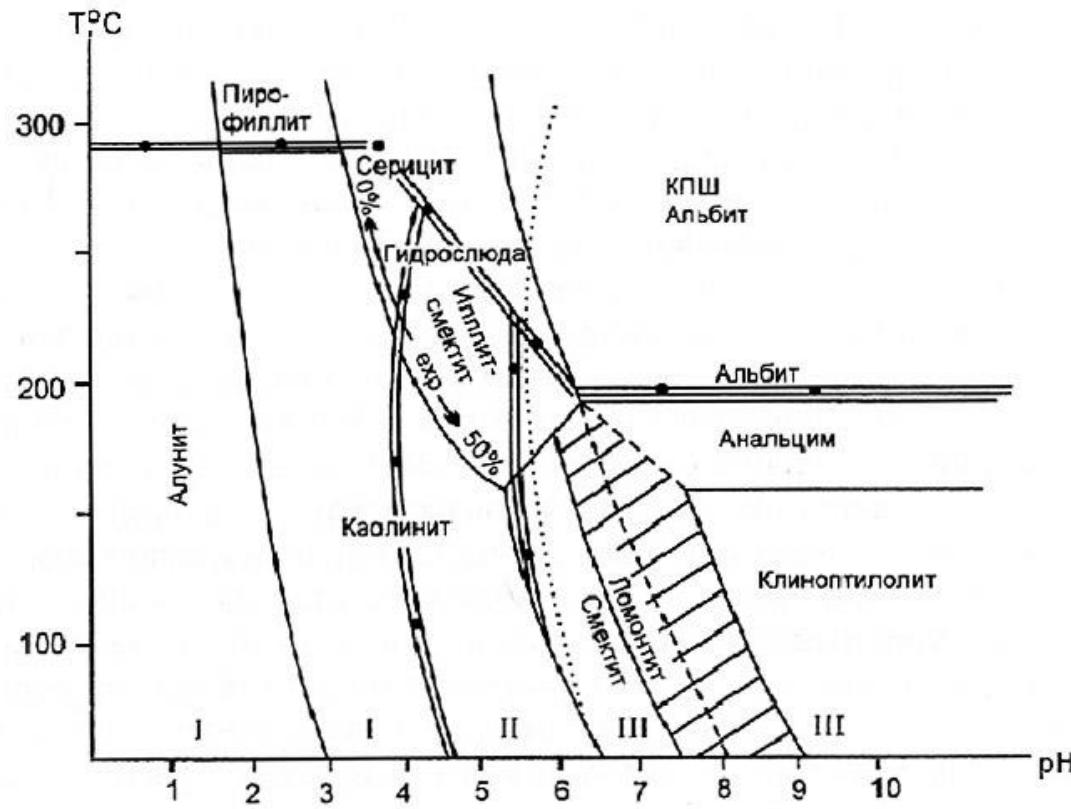


Диаграмма зависимости устойчивости минералов аргиллизитов от Т и рН. Двойные линии – границы разных фаций кислотности (Метасоматизм и метасоматические породы, 1998).

# Генезис каолинита

2. Коры выветривания (по гранитам, сиенитам, гнейсам, сланцам и др.). Наиболее благоприятные условия – кислая среда, интенсивное выщелачивание и дренаж. При этом каолинит ассоциирует с гидрослюдами, монтмориллонитом, гиббситом, бемитом, диаспором, гетитом, гематитом и др.
3. Прибрежно-морские осадки и осадки континентальных бассейнов (каолинит главный породообразующий минерал многих осадочных пород континентального происхождения – глин, суглинков и др.).
4. Почвы

*Каолинит - основной компонент многих глин. Белые глины состоящие преимущественно из каолинита - каолин*

# Подгруппа каолинита

**Диккит** – гидротермальный минерал характерный для аргиллизитов и вторичных кварцитов. Реже встречается в осадочных породах.



Диккит, Франция. [www.mindat.org](http://www.mindat.org)

**Накрит** редкий гидротермальный минерал; наиболее высокотемпературный минерал подгруппы.



Накрит. Германия.  
[www.mindat.org](http://www.mindat.org)

Образование **галлуазита** схоже с генезисом каолинита.

Изменения: при нагревании до 500 - 600 °C каолинит теряет воду, а при 1000 - 1200 °C превращается вначале в силлиманит или кианит, а затем в муллит ( $\text{Al}_{4+2x}\text{Si}_{2-2x}\text{O}_{10-x}$ ;  $x \sim 0.4$ ). Выделяющаяся при этом вода имеет важную роль в гидротермальных процессах. В промышленности эта реакция составляет основу керамического производства.

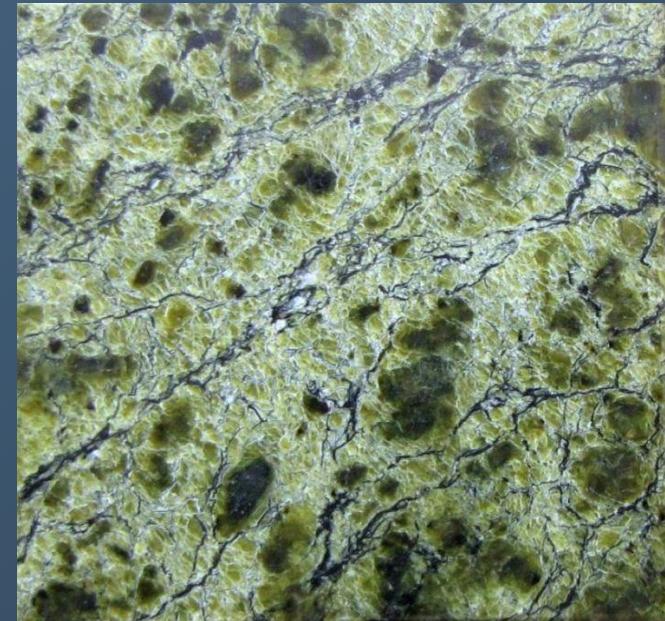
# Подгруппа серпентина



Полиморфы: антигорит, лизардит, хризотил.



Полиморфы: непуит (*cstr. аналог лизардита*), пекорайт (*cstr. аналог хризотила*).



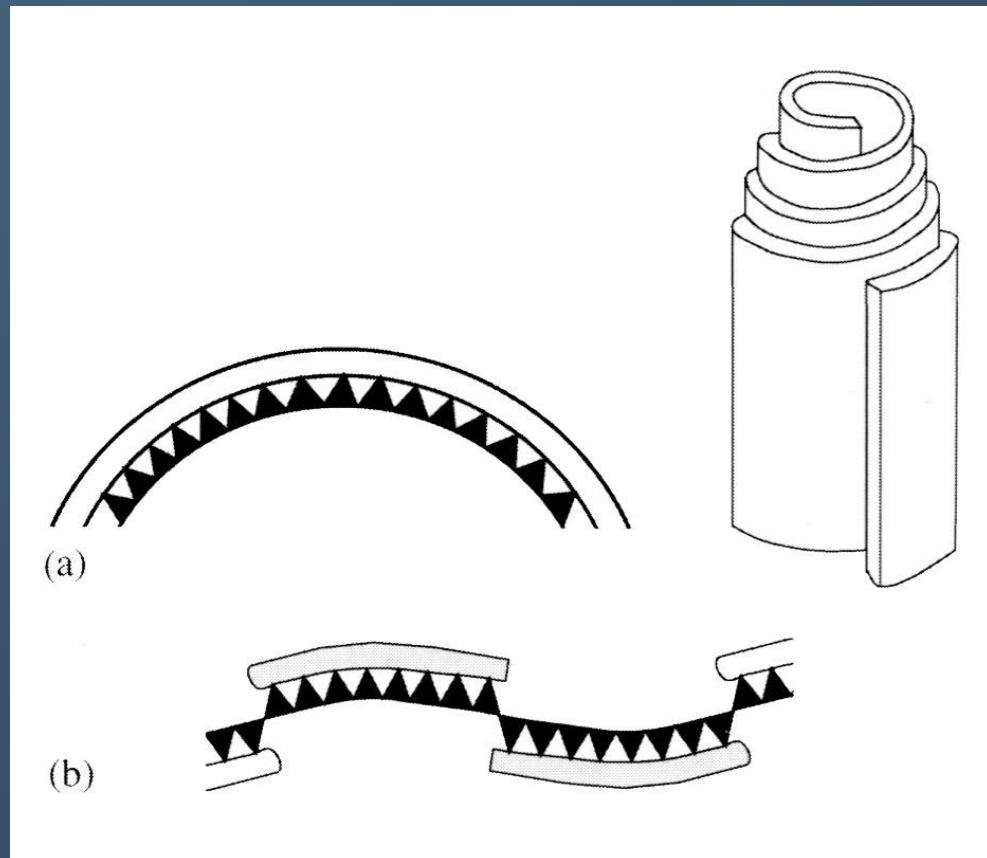
Название от лат. «серпентес» - змея, из-за обычно гладкой поверхности. Хризотил – от греч. «хризос» - золотистый и «тилос» - волокно.

Разновидности серпентина: бастит (псевдоморфозы по пироксену), серпофит (плотный скрытокристаллический), керолит (почти аморфный), гарниерит – смесь слоистых силикатов с преобладанием непуита.

# Подгруппа серпентина

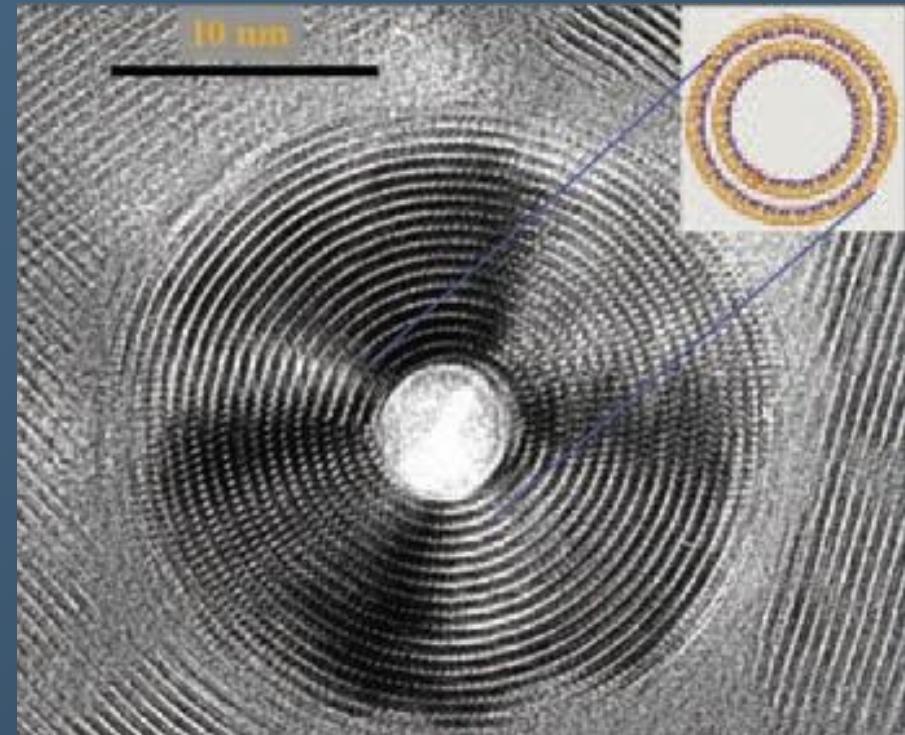
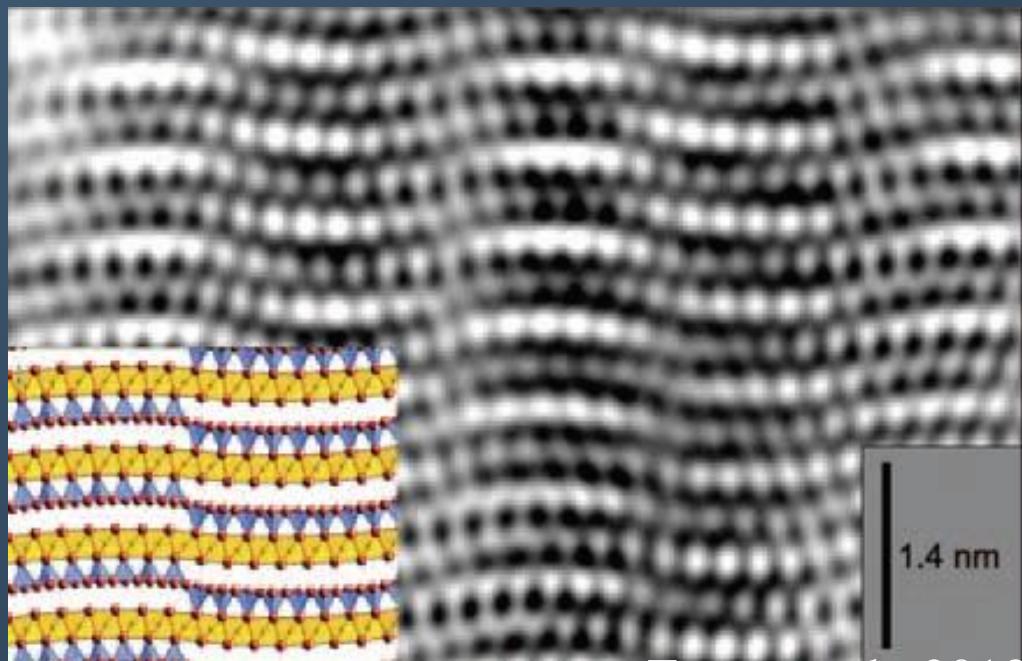
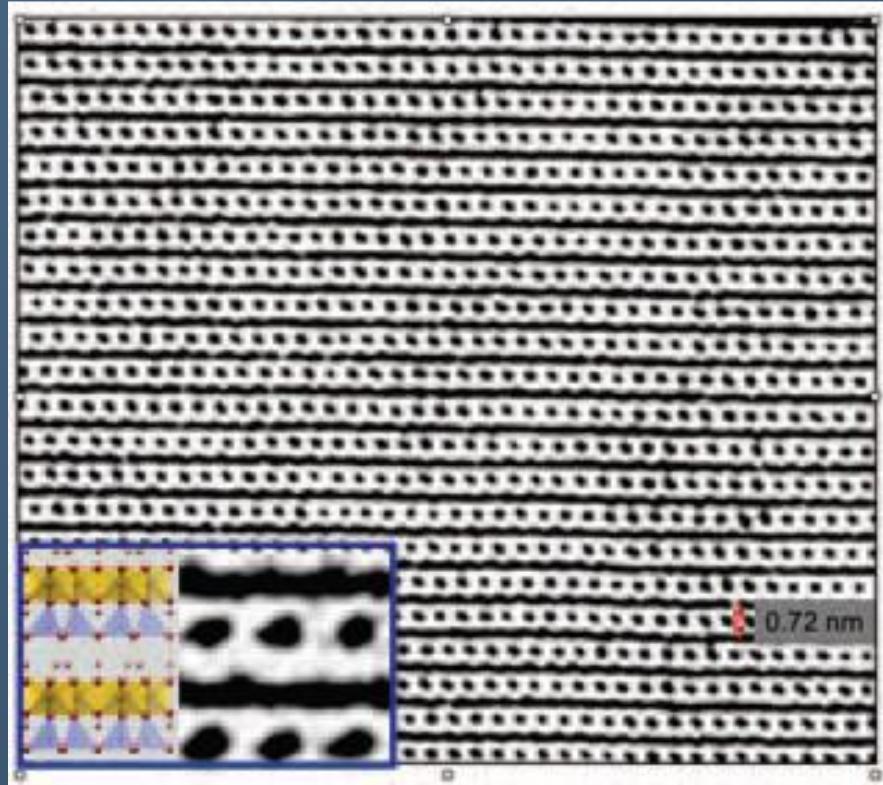
В минералах подгруппы тетраэдрические и октаэдрические слои несоразмерны.

Лизардит имеет нормальную слоистую структуру, несоразмерность преодолевается путем смещения атомов относительно своих идеальных позиций, в антигорите и хризотиле пакеты деформируются.



Структуры хризотила(а) и антигорита(б)

# Изображения реальных структур лизардита, хризотила и антигорита, полученные с помощью HRTEM



# Подгруппа серпентина

Mg-серпентины - типичные минералы гидротермально-измененных гипербазитов и карбонатных магнезиальных пород, могут образовываться в корах выветривания гипербазитов.

Хризотил – ценный жаропрочный материал.

Использование стараются ограничить из-за вызываемого им рака легких!

Силикатно-никелевые руды связанные с корами выветривания гипербазитов – важный источник Ni (крупные месторождения Урала, Новой Зеландии).



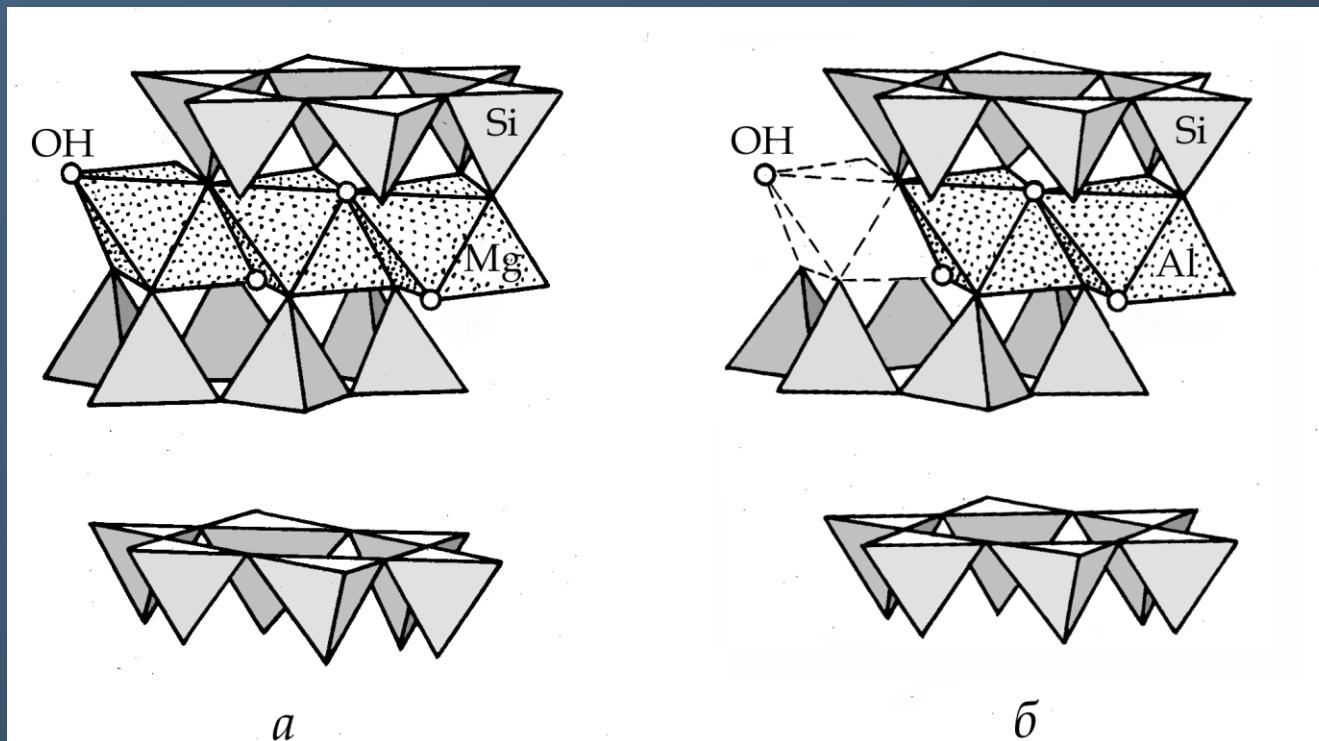
Хризотил-асбест.



# Трехслойные силикаты и алюмосиликаты

Тальк  $Mg_3[Si_4O_{10}](OH)_2$ , миннесотаит  $(Fe,Mg)_3[Si_4O_{10}](OH)_2$  и уиллемсейт  $(Ni,Mg)_3[Si_4O_{10}](OH)_2$  – триоктаэдрические трехслойные 2:1 слоистые силикаты.

Пирофиллит  $Al_2[Si_4O_{10}](OH)_2$  и феррипирофиллит  $Fe_2[Si_4O_{10}](OH)_2$  – диоктаэдрические трехслойные 2:1 слоистые силикаты.





Агрегат пластинчатых кристаллов талька в карбонате. Тримун, Франция



Сросток прозрачных кристаллов талька, шт. Вермонт, США



Радиально-лучистый пирофиллит. Березовск, Ср. Урал, Россия.



Псевдоморфоза талька по кристаллам антофиллита, шт. Вашингтон, США

# Генезис талька и пирофиллита

## Тальк

- гидротермальное изменение гипербазитов
- гидротермальное изменение карбонатных магнезиальных толщ
- метаморфические образования

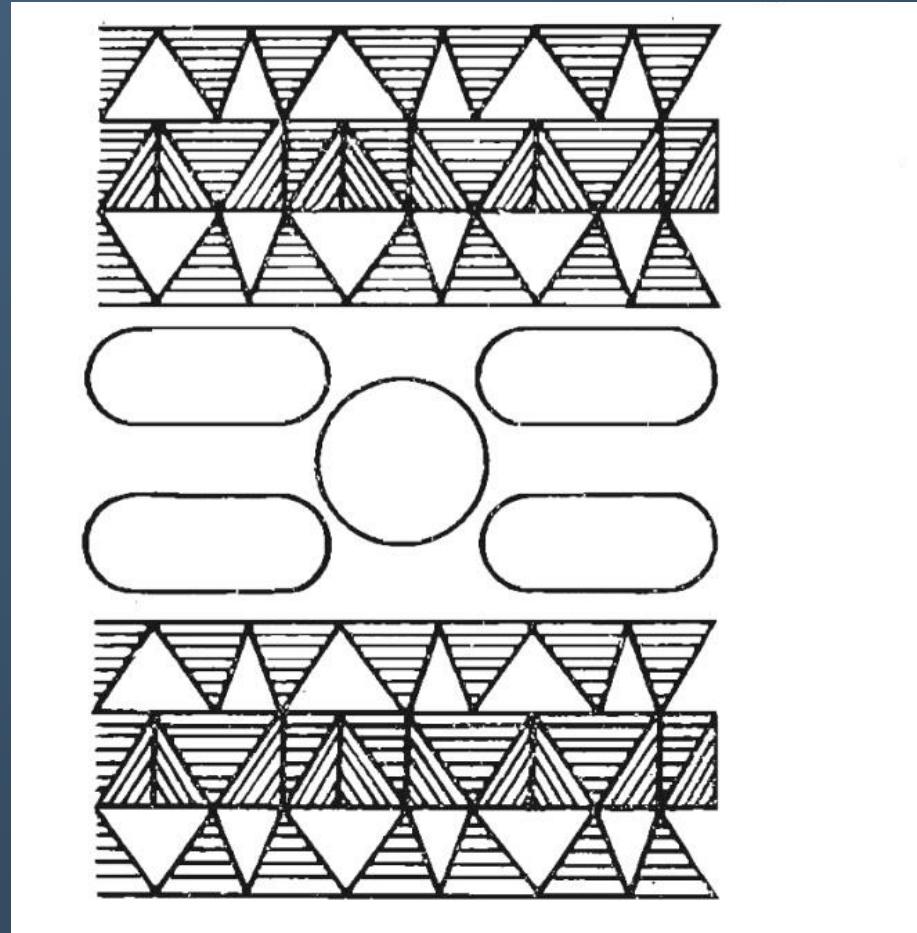
## Пирофиллит

- гидротермальное изменение кислых пород, вторичные кварциты
- метаморфические образования

# Смектиты

Смектиты – общее название для ди- и триоктаэдрических слоистых 2:1 силикатов с разбухающей решеткой.

В межпакетном пространстве находятся  $\text{H}_2\text{O}$  и одно- или двух валентные катионы, избыточный заряд которых компенсируется за счет частичного замещения  $Me^{4+} \rightarrow Me^{3+}$  (в ТП) или  $Me^{3+} \rightarrow Me^{2+}$  (в ОП).



# Смектиты

В отличии от слюд, количество межпакетных катионов обычно не превышает 0,3 атомов на формулу. В результате связь между пакетами слабая. Следствием этого является: 1) внутриструктуральное набухание в воде (увеличение в объеме до 10 раз) и многих органических жидкостях; 2) хорошо выраженные ионнообменные свойства.

Минимальное межплоскостное расстояние в смектитах составляет около 9,5 Å. При внедрении одного слоя H<sub>2</sub>O межплоскостное расстояние увеличивается до 12,5 Å, при внедрении двух слоев H<sub>2</sub>O – до 15,5 Å.

В некоторых случаях межплоскостное расстояние может возрастать до 150-200 Å ! Фактически минералы переходят в коллоидное состояние, т.к. межплоскостные расстояния становятся соизмеримы с размерами их выделений.

# Смектиты

Моноклинная сингония. Общая формула выглядит следующим образом:



X – Ca, Na (обменные катионы)

Y – Al, Cr, Fe<sup>3+</sup>, Mg, Fe<sup>2+</sup>, Ni

T – Si, Al

## Диоктаэдрические смектиты

- Бейделлит  $(0,5Ca,Na)_xAl_2[(Si_{4-x}Al_x)O_{10}](OH)_2 \cdot nH_2O$
- Волконскоит  $Ca_{0,5x}(Cr^{3+},Fe^{3+})_2[(Si_{4-x}Al_x)O_{10}](OH)_2 \cdot 4H_2O$
- Нонтронит  $Na_xFe^{3+}_2[(Si_{4-x}Al_x)O_{10}](OH)_2 \cdot nH_2O$
- Монтмориллонит  $(0,5Ca,Na)_x(Al_{2-x}Mg_x)[Si_4O_{10}](OH)_2 \cdot nH_2O$

## Триоктаэдрические смектиты

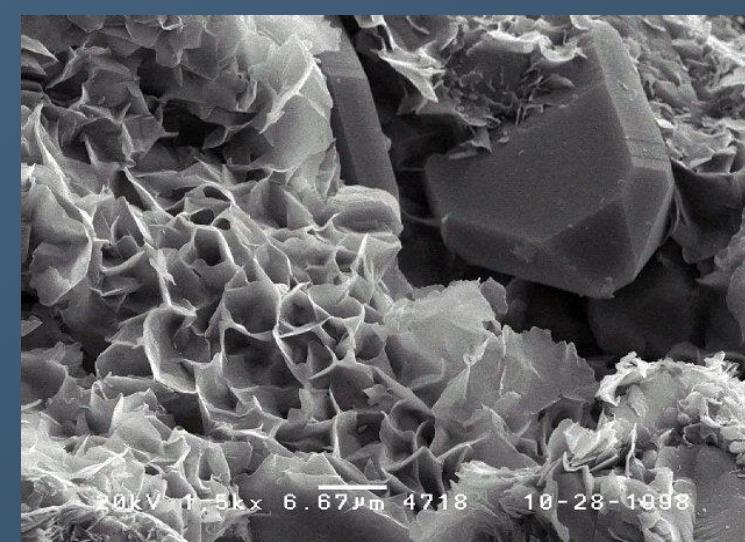
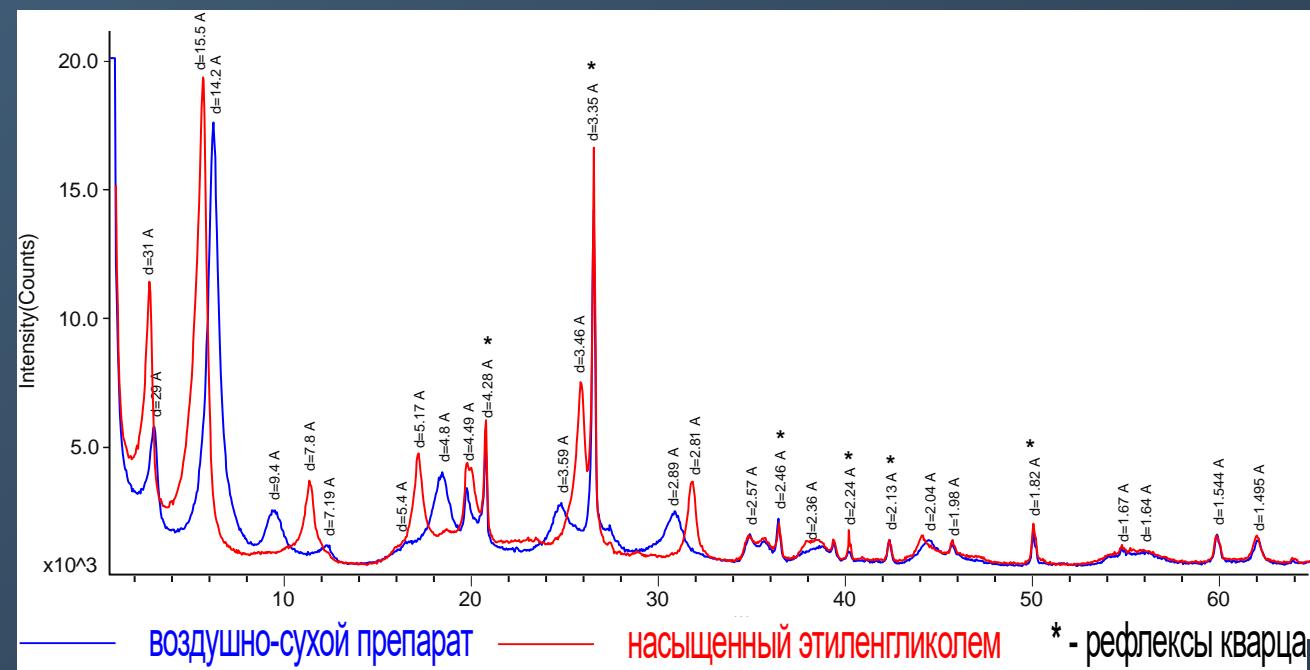
- Сапонит  $(0,5Ca,Na)_x(Mg,Fe^{2+})_3[(Si_{4-x}Al_x)O_{10}](OH)_2 \cdot 4H_2O$

# Диагностика смектитов

Размер выделений кристаллов смектитов нередко менее мкм – макро- и микродиагностика крайне затруднительна.

Точное определение возможно с помощью рентгенофазового анализа.

Всем смектитам присуще увеличение базального межплоскостного расстояния до  $16,9\text{\AA}$  при добавлении этиленгликоля и до  $17,6\text{\AA}$  при добавлении глицерина. Такой подход позволяет диагностировать смектиты независимо от возможного присутствия других глинистых минералов

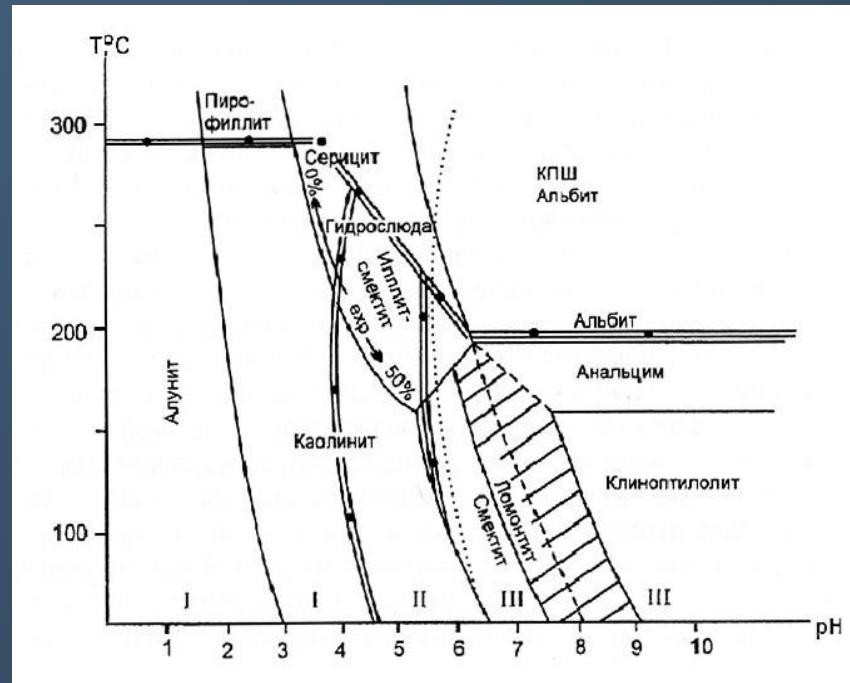


Монтмориллонит, фото во вторичных электронах

# Генезис смектитов

Смектиты – типичные глинистые минералы. При контакте с водой образуют пластичные массы.

- Отложение из низкотемпературных гидротермальных растворов, гидротермальное изменение пород (аргиллизация)
- Изменение вулканических стекол и туфов под воздействием морской воды
- Коры выветривания; зоны окисления сульфидных месторождений
- Минералы почв
- Осадочные толщи (глины)



Метасоматизм и метасоматические породы, 1998

При метаморфизме неустойчивы и переходят в хлориты, тальк, пирофиллит, слюды с выделением избыточной воды.

# Вермикулит



Триоктаэдрический трехслойный 2:1 слоистый алюмосиликат.

Межслоевое пространство занято гидратированными ионами Mg.

Из-за большой подвижности межпакетного Mg вермикулит является отличным природным ионообменником!

Обычно образуется при выветривании и гидратации биотита или флогопита.



Вермикулит, Вишневые горы, Ю. Урал, Россия.

# Вермикулит

При Т 900-1000°С всучивается (в результате выделения межслоевой воды) с увеличением объёма до 15—20 раз.

Используется как негорючий тепло-звукозащитный материал в строительстве, в авиации и автомобилестроении, как наполнитель для лёгких бетонов, резин, пластмасс, красок, как адсорбент газообразных и жидких промышленных отходов.

Широко применяется в сельском хозяйстве для улучшения структуры почв. Имеет высокий коэффициент водопоглощения 400-530% (100 г вермикулита поглощают 400-530 мл воды!); легко впитывает влагу и также легко отдает ее растению, создавая оптимально влажную среду. Благодаря высокой ионообменной способности может удерживать ионы K, Mg и др. элементов удобрений, вносимых в почву и постепенно отдавать их растению. Вермикулит очень эффективен в гидропонике. В пустынных районах его используют в смеси с песком.



# Группа слюд

Более 40 минеральных видов. Общая формула минералов группы слюд:  $XY_{2-3}[T_4O_{10}](OH,F)_2$ .

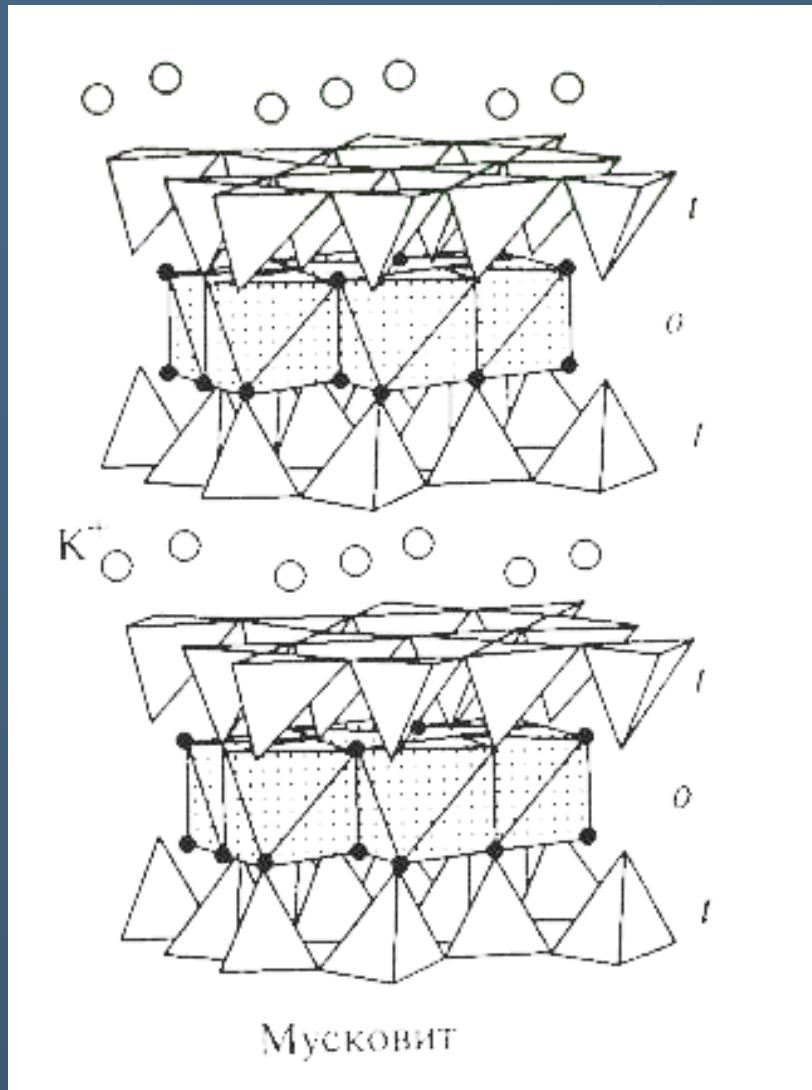
- X – K, Na, Ca, Cs, Rb, Ba,  $NH_4$
- Y – ***Li***, Mg,  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ , Al, Cr, V, Ti, Zn,  $Mn^{2+}$ ,  $Mn^{3+}$
- T – Si, Al,  $Fe^{3+}$

По характеру заселения межпакетного пространства выделяют три подгруппы: собственно слюды ( $K^+, Na^+$ ), хрупкие слюды ( $Ca^{2+}, Ba^{2+}$ ) и слюды с дефицитом межслоевых катионов (гидрослюды).

Все минералы группы могут быть подразделены на триоктаэдрические и диоктаэдрические. *Изоморфизм между ними ограничен!*

Характерно разнообразие политипов и смешанослойных структур (слюда-хлорит, флогопит-вермикулит и др.)

# Группа слюд



В группу входят слоистые силикаты с трехслойными пакетами 2:1.

Наиболее близки слюдам смектиты

Благодаря замещению  $\text{Me}^{4+} \rightarrow \text{Me}^{3+}$  или  $\text{Me}^{3+} \rightarrow \text{Me}^{2+}$  пакеты становятся заряженными и в межпакетное пространство могут входить однодвухвалентные катионы ( $\text{K}$ ,  $\text{Na}$ ,  $\text{Ca}$  и др.). С этим связаны упругие свойства и повышенная твердость этих минералов.

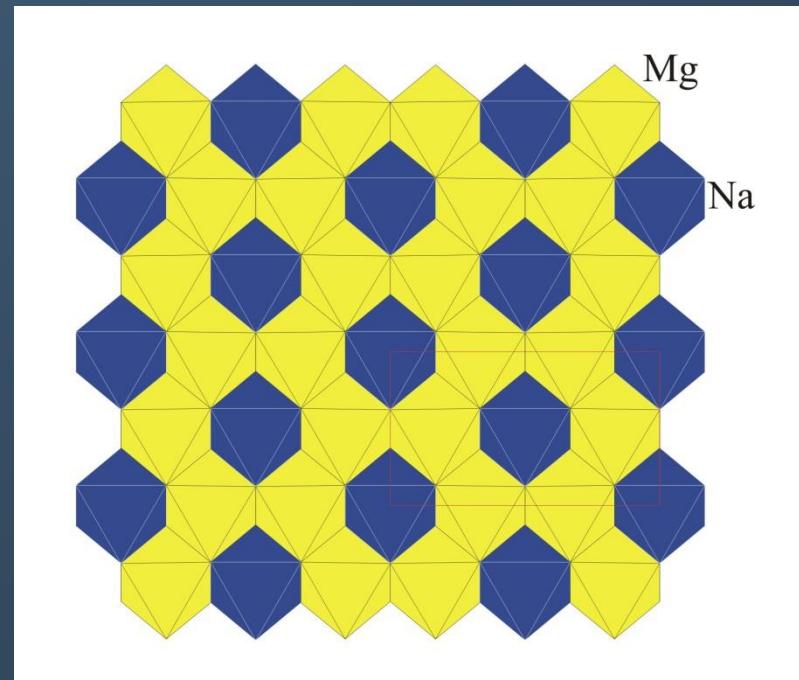
# ШИРОКШИНИТ $K(NaMg_2)[Si_4O_{10}]F_2$



Широкшинит –  
единственная слюда,  
в которой атомы натрия входят  
в октаэдрический слой

Расщепленные кристаллы  
широкшинита.

*Кировский рудник,  
Хибинский массив,  
Кольский полуостров.*



*Данные И.В.Пекова*

# Триоктаэдрические Mg-Fe слюды

Флогопит –  $KMg_3[AlSi_3O_{10}](OH,F)_2$

Аннит –  $KFe^{2+}_3[AlSi_3O_{10}](OH,F)_2$

*Биотит – название слюд с промежуточным составом между флогопитом и аннитом*

Тетраферрианнит –  $KFe^{2+}_3[Fe^{3+}Si_3O_{10}](OH,F)_2$

Тетраферрифлогопит –  $KMg_3[Fe^{3+}Si_3O_{10}](OH,F)_2$

Сидерофиллит –  $KFe^{2+}_2Al[Al_2Si_2O_{10}](OH,F)_2$

# Триоктаэдрические Mg-Fe слюды



Крупный (более 20 см) кристалл  
флогопита. Слюдянка, Прибайкалье



Кристаллы флогопита в кальците,  
Франклайн, США

# Триоктаэдрические Mg-Fe слюды



107x64 мм

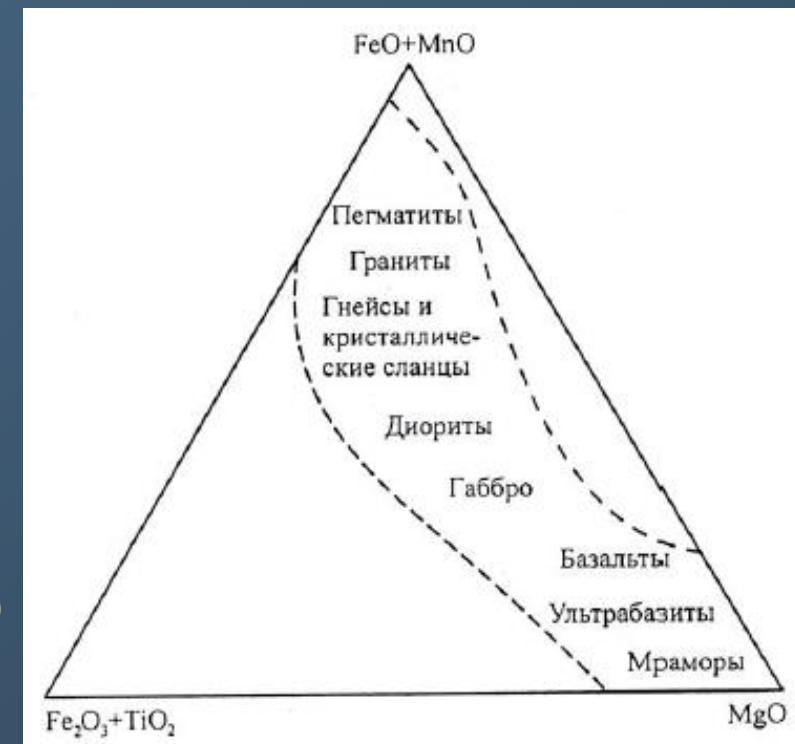
Колл. и фото  
Э.М. Спиридонова

Чередование зон тетраферрифторфлогопита и флогопита, Ковдор

# Триоктаэдрические Mg-Fe слюды

Флогопит – типичный магматический минерал многих ультраосновных и щелочных пород. Карбонатиты. Mg-скарны (кристаллы до 1,5 т !). Метасоматиты грейзеновой формации в серпентинитах. Мрамора, кальцифиры.

Биотит – типичен для сиенитов, диоритов, гранитов. Гранитные пегматиты (до 7 м<sup>2</sup> !) Присутствует в метасоматитах, типичен для метаморфических пород.



Изменение химического состава флогопита и биотита в зависимости от типа пород (Heinrich, 1947)

Состав и структура слюд отражают условия их формирования.

Общий тренд изменения состава слюд:  $Mg^{2+} \rightarrow Fe^{2+} \rightarrow Mn^{2+}(Zn^{2+})$ .

Магматические флогопит и биотит содержат повышенные примеси Ti (обычно магматический биотит содержит более 3 мас.% TiO<sub>2</sub>, иногда превышает 10 мас.%), для слюд пегматитов и метасоматитов грейзеновой формации характерна примесь F.

Высокотемпературные слюды представлены политипами 2M1 (реже 3T), более низкотемпературные – политипом 1M.

# Триоктаэдрические Li слюды

- Трилитионит –  $KLi_{1.5}Al_{1.5}[AlSi_3O_{10}](OH,F)_2$
- Полилитионит –  $KLi_2Al[Si_4O_{10}](OH,F)_2$   
*(составы этих слюд можно вывести из формулы мусковита по схемам  $2Al + \square \leftrightarrow Li_{1.5}Al_{1.5}$  и  $Al_{VI} + \square + Al_{IV} \leftrightarrow 2Li + Si_{IV}$ )*  
*Лепидолит – название серии трилитионит-полилитионит*
- Тайниолит –  $KLiMg_2[Si_4O_{10}](OH,F)_2$   
*(состав тайниолита можно вывести из формулы флогопита по схеме  $Mg + Al_{IV} \leftrightarrow Li + Si_{IV}$ )*
- Циннвальдит –  $K(LiFeAl)[AlSi_3O_{10}](OH,F)_2$

# Триоктаэдрические Li слюды

**Слюды являются главными носителями Li в земной коре.**

Сродство структуры слюд к этому элементу очень высокое, и содержание Li в них нередко достигает видообразующего. Li всегда входит в ОП (замещая Mg, Al, Fe), а не в межпакетное пространство (как K, Na).

Распределение катионов по ОП в литиевых слюдах может меняться от практически полного разупорядоченного до существенного упорядоченного, в результате чего разные октаэдры становятся неэквивалентными по заселению.

# Триоктаэдрические Li слюды

Лепидолит –  
распространенная Li-слюда.  
Часто ассоциирует с другими  
минералами Li – эльбайтом,  
сподуменом, а также  
поллуцитом, tantalо-  
ниобатами, клевеландитом  
(расщепленный альбит) и т.д.

Состав непостоянный,  
характерны примеси Rb, Cs,  
Fe, **Mn (окраска!).**

Лепидолит - важный промышленный источник Li, а также  
попутных Rb и Cs.



Лепидолит (разн. "барботов глаз").  
Минас-Жерайс, Бразилия.

Наибольшие скопления лепидолита связаны с редкометальными пегматитами. Чешуйчатый лепидолит может практически целиком слагать участки до нескольких м<sup>3</sup>. Это «рудный» лепидолит, промышленный источник Li.

Крупнопластинчатый, в т.ч. друзовый лепидолит больше развит в малоглубинных пегматитах, нередко в их миаролах. Такая его разновидность встречается не только в редкометальных, но и в не столь обогащенных Li пегматитах, где существенное концентрирование Li происходит на самых поздних стадиях. Лепидолит вместе с эльбайтом и CsLi-содержащим бериллом маркирует самую позднюю стадию дифференциации пегматитового тела.

Лепидолит довольно обычен в Li-F гранитах, где возникает метасоматическим путем. Лепидолит встречается в альбитизированных гранитах и грейзенах.



Типичный «рудный» лепидолит с эльбайтом.  
Калифорния, США.



Друза лепидолита. Вост.  
Памир, Таджикистан.

# Триоктаэдрические Li слюды

Циннвальдит -  $K(LiFe^{2+}Al)[AlSi_3O_{10}](OH,F)_2$

*Циннвальдит в современной классификации рассматривают как промежуточную по составу слюду ряда сидерофиллит  $KFe^{2+}_2Al[Al_2Si_2O_{10}](OH,F)_2$  - полилитионит  $KLi_2Al[Si_4O_{10}](OH,F)_2$*

Циннвальдит – единственная существенно железистая и, соответственно, **единственная темная** из литиевых слюд.

Он бывает и черным, если содержит одновременно существенные количества двух- и трехвалентного железа. Чаще же циннвальдит коричневый разных оттенков, от черно- и зелено-коричневого до бледно-золотисто-коричневатого.



«Роза» циннвальдита. Циннвальд, Германия.

# Триоктаэдрические Li слюды

Циннвальдит, беднее Li относительно лепидолита, возникает там, где система недостаточно обогащена этим элементом.

*Циннвальдит практически никогда не образует парагенезисы с другими собственными минералами Li.*

Встречается в гранитных пегматитах. Является главным, более распространенным, чем лепидолит, минералом Li в редкометальных литий-фтористых гранитах и апогранитах.

Циннвальдит типичен для грейзеновой формации, встречается в рудных жилах с кассiterитом, бериллом, вольфрамитом, турмалином, топазом. Оловянное месторождение Циннвальд в Немецких Рудных горах, откуда циннвальдит был впервые описан, принадлежит к этому типу.

Иногда используется для извлечения Li.

# Диоктаэдрические слюды

- Мусковит –  $KAl_2[AlSi_3O_{10}](OH,F)_2$
- Роскоэлит –  $KV_2[AlSi_3O_{10}](OH,F)_2$
- Хромфиллит –  $KCr_2[AlSi_3O_{10}](OH,F)_2$
- Парагонит -  $NaAl_2[AlSi_3O_{10}](OH,F)_2$



- Аллюмоселадонит –  $K(AlMg)[Si_4O_{10}](OH,F)_2$
- Селадонит –  $K(Fe^{3+}Mg)[Si_4O_{10}](OH,F)_2$
- Ферроселадонит –  $K(Fe^{3+}Fe^{2+})[Si_4O_{10}](OH,F)_2$

Фенгит – слюды промежуточные по составу между мусковитом и селадонитом (аллюмоселадонитом) с составом



# Диоктаэдрические слюды

## Мусковит

Назван от старого итальянского (?) названия Москвы – «Моска».

Примеси в мусковите – Rb, Cs, Li, Cr, V, Fe, Mg, Mn, Ti.

Примеси Fe, Mn, Cr, V вызывают различные окраски мусковита.



Мусковит (фуксит).  
Ю. Урал, Россия.

Разновидности:  
морфологические – серицит,  
по составу - фуксит.

# Диоктаэдрические слюды

Выделения: бочонковидные или таблитчатые кристаллы (до первых м), двойники, тонкочешуйчатые и скрытокристаллические агрегаты, псевдоморфозы по различным силикатам.



Сросток сдвойниковых кристаллов  
мусковита. Минас-Жерайс, Бразилия.



Мусковит. Ильменские горы,  
Ю. Урал, Россия.

# Диоктаэдрические слюды

Мусковит – один из наиболее распространенных минералов группы слюд. Породообразующий минерал.

- Граниты и гранитные пегматиты
- Метасоматиты (грейзены, березиты, листвениты и др.) и оклорудные изменения
- Метаморфические породы

Установлены политипы 1М, 2М1, 2М2 и 3Т. Наиболее распространен и энергетически устойчив политип **2М1**. Характеризуется неупорядоченным расположением Si и Al в сетках. Типичен для высокотемпературных условий (метаморфические породы высоких и средний степеней метаморфизма, граниты, пегматиты, грейзены).

Политип **1М** характерен для относительно низкотемпературных образований (метаморфические породы низких степеней метаморфизма, оклорудные изменения гидротермальных сульфидных месторождений). При дальнейшем развитии метаморфических или метасоматических процессов может переходить в **2М1**.

# Хрупкие слюды

Отличие от обычных слюд  
– межслоевой катион  $X^{2+}$   
(Ca, реже Ba)

Хрупкие, твердость до 4,5!



Маргарит, США

Маргарит (диоктаэдрическая слюда)



Клинтонит (триоктаэдрическая слюда)



Как правило, метасоматические и метаморфические  
минералы

# Подгруппа слюд с дефицитом межслоевых кationов

- Серия иллита
  - $K_{<1}Al_2[(Si,Al)_4O_{10}](OH)_2 \cdot nH_2O$
- Серия глауконита
  - $K_{<1}(Fe^{3+}, Al, Fe^{2+}Mg)_2[(Si,Al)_4O_{10}](OH)_2 \cdot nH_2O$

Иллит встречается в виде чрезвычайно тонкозернистых агрегатов. Образуется при гидротермальном изменении пород, за счет гипергенного изменения мусковита, типичные минералы глин!

Глауконит – мелкочешуйчатый, почковидный, землистый. Минерал почв, осадочных пород, иногда кор выветривания.

*Интересный факт - фиксация K глинистыми минералами приводит к значительному доминированию Na над K в морской воде.*

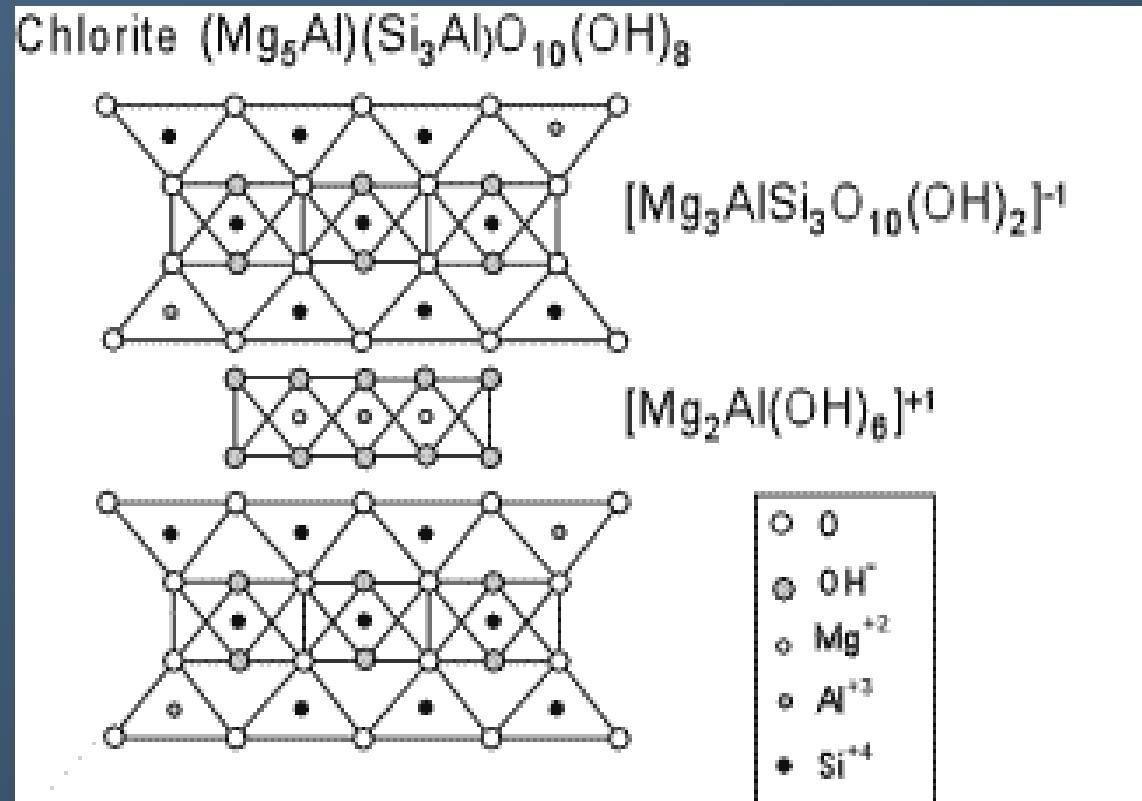
# Использование слюд

- Вероятно, первой крупнолистовой слюдой, с которой познакомилась европейская цивилизация, была слюда Карелии. В XVII и начале XVIII веков она широко вывозилась на запад из Архангельского порта и была одним из важнейших экспортных товаров России.
- Мусковит и флогопит используют как высококачественный электроизоляционный материал, в электро-, радио- иaviатехнике.
- Лепидолит — используется как источник лития и в стекольной промышленности для изготовления специальных оптических стёкол.

# Группа хлоритов

Хлориты – широко распространенные водные слоистые алюмосиликаты, обычно магнезиального или железистого состава.

Название происходит от греч. «зеленый». Такой цвет обычен для хлоритов.



Хлориты можно представить в виде комбинации слюдоподобной части с составом  $(\text{Mg},\text{Fe},\text{Al})_3[(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2$  и бруситоподобного межслоевого сложного катиона  $(\text{Mg},\text{Fe},\text{Al})_3(\text{OH})_6$ . Сложив обе эти части получаем формулу хлорита  $(\text{Mg},\text{Fe},\text{Al})_6[(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8$ .

# Химический состав минералов группы хлорита

Общая формула  $A_{4-6}[T_4O_{10}](OH,O)_8$

- Основными катионами, входящими в октаэдрическую позицию в структуре хлорита и в межслоевой сложный катион являются Mg, Fe, Al. В меньшей степени это Cr, Ni, Mn, Zn, V, Cu, Li.
- Тетраэдрические позиции занимаются Si, Al, реже  $Fe^{3+}$  и B.
- OH группа может в незначительных количествах замещаться F

# Группа хлоритов

С точки зрения структуры хлориты разделяют на:

- 1) Триоктаэдрические. Их большинство. Оба октаэдрических слоя являются триоктаэдрическими.
- 2) Диоктаэдрические. Оба слоя диоктаэдрические.
- 3) Ди-триоктаэдрические. Диоктаэдрический слой в трехслойном пакете и триоктаэдрический – в межслоевом пространстве.
- 4) Три-диоктаэдрические. Триоктаэдрический слой в трехслойном пакете и диоктаэдрический – в межслоевом пространстве. *Не обнаружены*.

# Классификация Wiwiora и Weiss (1990)

Большое количество названий используемых в старой литературе, а иногда и в современной, в настоящее время отвергнуты IMA.

## Названия, принятые для триоктаэдрических хлоритов

*Клинохлор* ( $Mg_5Al)[AlSi_3O_{10}](OH)_8$

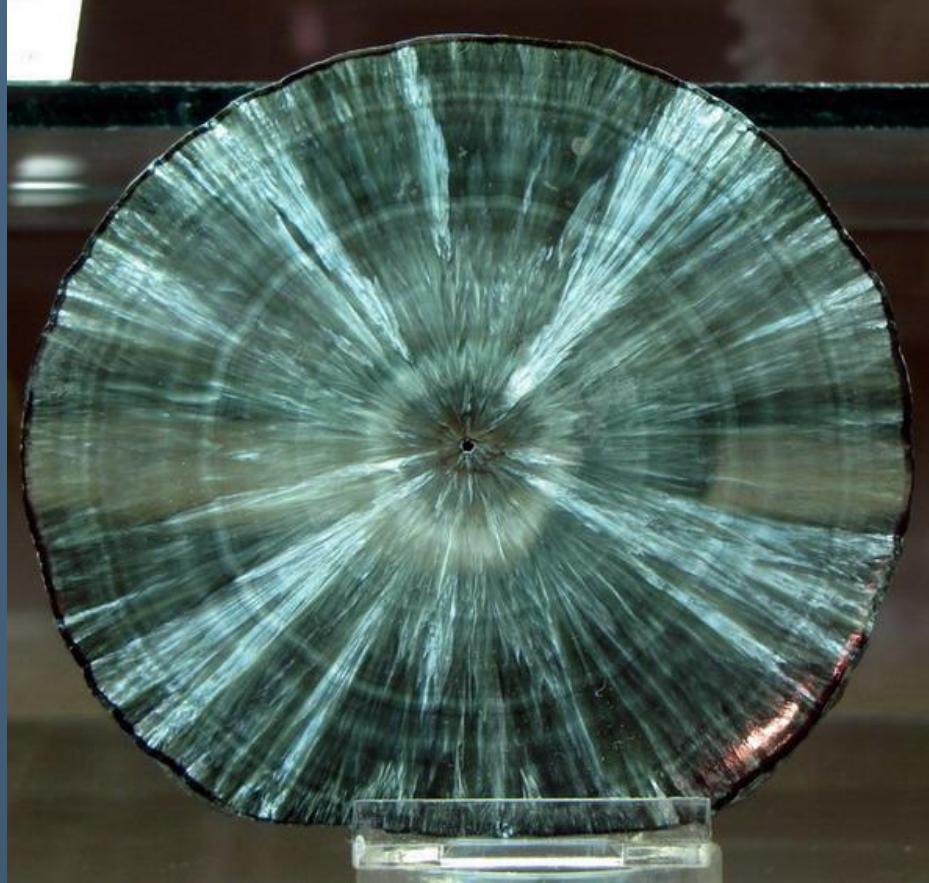
*Шамозит* ( $Fe^{2+}_5Al)[AlSi_3O_{10}](OH)_8$

*Нимит* ( $Ni_5Al)[AlSi_3O_{10}](OH)_8$

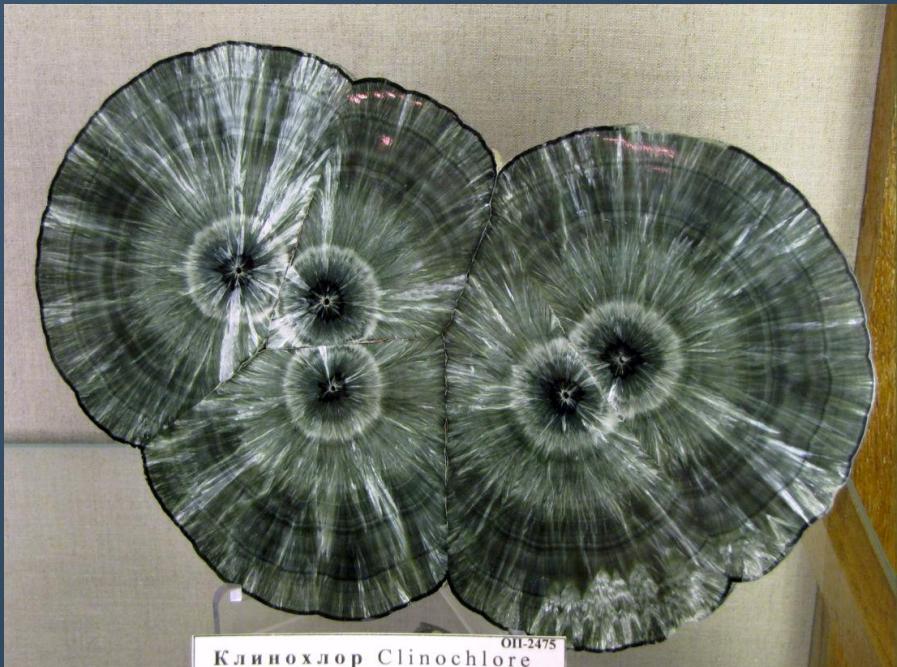
*Пеннантит* ( $Mn_5Al)[AlSi_3O_{10}](OH)_8$

*Бейлихлор* ( $Zn_5Al)[AlSi_3O_{10}](OH)_8$

# Клинохлор



Клинохлор, Коршуновское м-ние,  
Иркутская обл.



# Клинохлор



Cr-клинохлор (кеммерерит),  
Эрзерум, Турция

# Названия, принятые для диоктадрических хлоритов

*Донбассит*  $\text{Al}_{4,33}[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH})_8$   
 $(\text{Al}_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH})_2 \cdot \text{Al}_{2,33}(\text{OH})_6)$

## Названия, принятые для дитриоктаэдрических хлоритов

*Кукеим*  $\text{LiAl}_4[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH})_8$   
*Судоум*  $(\text{Mg},\text{Fe}^{2+})_2\text{Al}_3[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH})_8$

# Генезис хлоритов

- Хлориты клинохлор-шамозитового ряда – средне-низкотемпературное гидротермальное изменение пород, метаморфические хлоритовые сланцы (как правило по ультраосновным и основным породам)
- Пеннантит – гидротермальные изменения минералов месторождений Mn.
- Нимит – гидротермально-измененные никеленосные серпентиниты.
- Бейлихлор – преобразование скарновых цинк-содержащих руд
- Кукеит – поздний гидротермальный минерал, образующийся в результате изменения литиевых минералов гранитных пегматитов, гидротермальные жилы

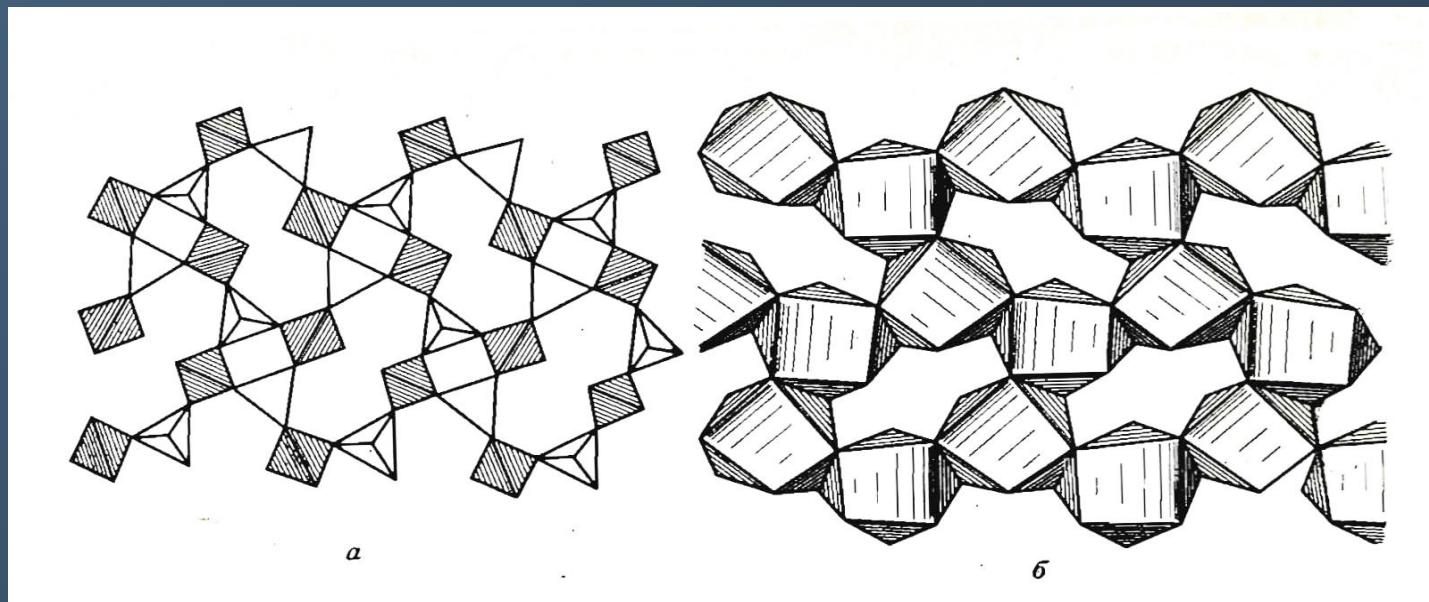
# Слоистые силикаты со сложными сетками

# Датолит $\text{Ca}_2\text{Si}_2\text{B}_2\text{O}_8(\text{OH})_2$

Слоистый боросиликат  $\text{Ca}$  (формально – островной силикат!). Состоит из чередующихся сеток двух типов – тетраэдрических (из  $\text{SiO}_4$  (серые) и  $\text{BO}_3(\text{OH})$ -тетраэдров), и крупнокатионных сеток (образованных восьмивершинниками  $\text{CaO}_6(\text{OH})_2$ ).



Структурный аналог - гадолинит-(Y)  $\text{Y}_2\text{FeBe}_2\text{Si}_2\text{O}_{10}$



# Пренит

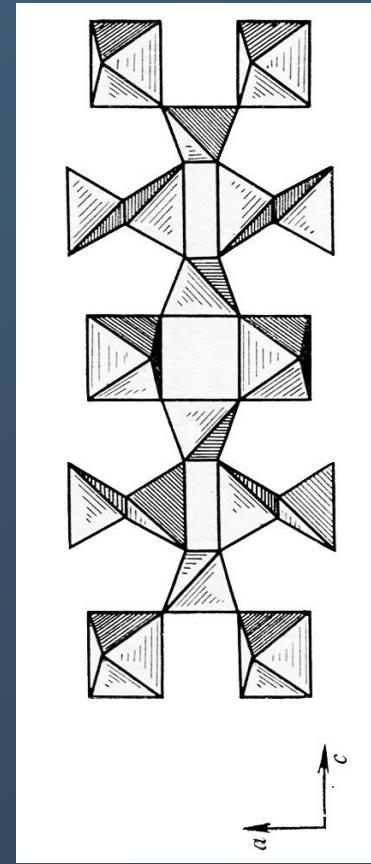
## $\text{Ca}_2\text{Al}[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH})_2$

В структуре выделяются «трехэтажные» слои  $\text{AlO}_4^-$ - и  $\text{SiO}_4$ -тетраэдров, параллельные (001). Слои связываются  $\text{AlO}_6$ -октаэдрами.



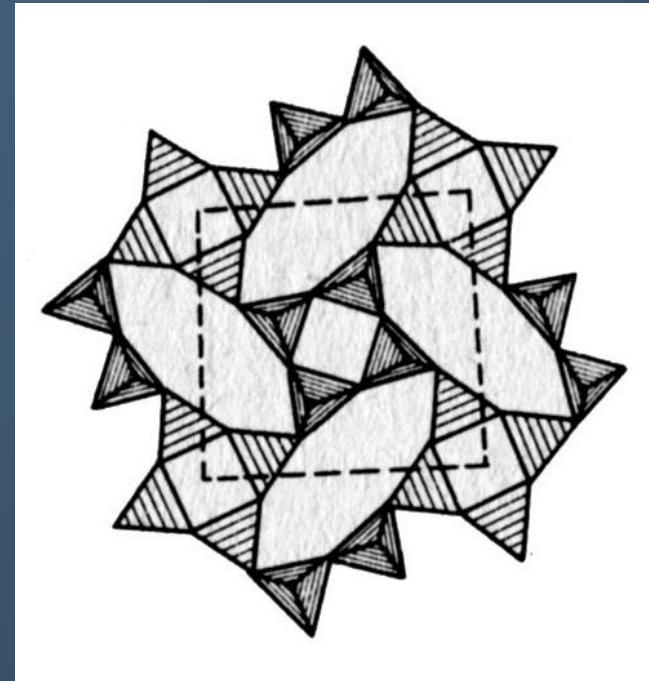
В образованных крупных пустотах размещается  $\text{Ca}$  с КЧ 7. Структуру пренита, таким образом можно рассматривать как субкаркасную.

Пренит образует радиально-лучистые агрегаты и сферолиты. Пренит – типичный продукт гидротермального изменения пород или низкоградного метаморфизма.



# Апофиллит

В основе структуры слои из четверных колец, между которыми располагается Ca (КЧ 7), K (КЧ 8), F и кристаллизационная H<sub>2</sub>O, удаляющаяся при Т выше 200°C.



*Фторапофиллит* KCa<sub>4</sub>[Si<sub>4</sub>O<sub>10</sub>]<sub>2</sub>(F,OH)·8H<sub>2</sub>O

*Гидроксиапофиллит* KCa<sub>4</sub>[Si<sub>4</sub>O<sub>10</sub>]<sub>2</sub>(OH,F)·8H<sub>2</sub>O

*Натроапофиллит* NaCa<sub>4</sub>[Si<sub>4</sub>O<sub>10</sub>]<sub>2</sub>F·8H<sub>2</sub>O

Типичный продукт низкоградного метаморфизма.



Апофиллит,  
Индия

