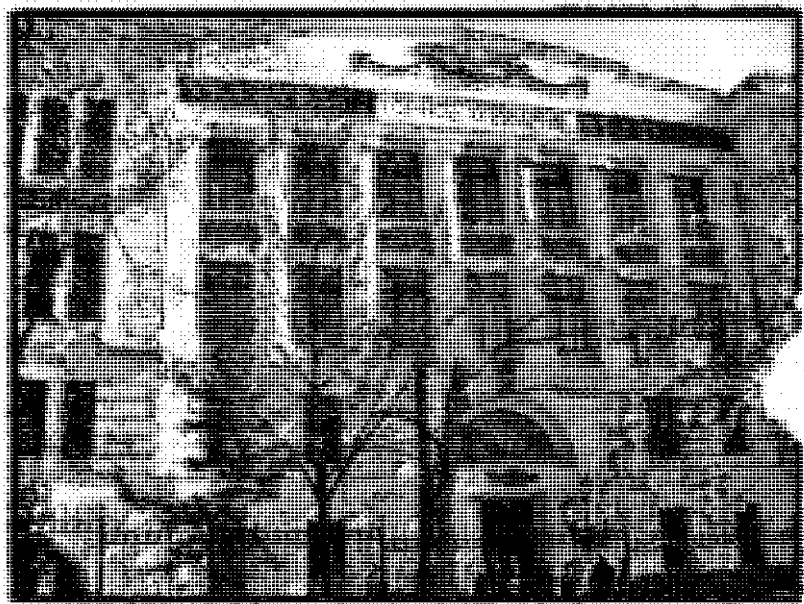


**А.А. Нырков, Е.А. Нырков**

# **МИНЕРАЛОГИЯ**



**ДЛЯ ГИДРОГЕОЛОГОВ**

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное агентство по образованию  
Южно-Российский государственный технический университет  
(Новочеркасский политехнический институт)

**А.А. Нырков, Е.А. Нырков**

# **МИНЕРАЛОГИЯ ДЛЯ ГИДРОГЕОЛОГОВ**

Учебное пособие

Новочеркасск 2008

УДК 549:556.3(075.8)

ББК 26.3я7

М 61

**Нырков А.А., Нырков Е.А.**

**М 61 Минералогия для гидрогеологов: Учеб. пособие / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2008. – 96 с.**

Необходимость подобной работы обусловлена специфичностью тех сведений по минералогии, которые необходимо знать специалистам по гидрогеологии. Эти сведения здесь рассматриваются в зависимости от практического значения минералов с подразделением на водосодержащие, воднорастворимые, адсорбенты, минералы грунтов и рудные.

Книга рассчитана на студентов-гидрогеологов высших и средних учебных заведений и специалистов по гидрогеологии.

УДК 549:556.3(075.8)

ББК 26.3я7

© Нырков А.А., Нырков Е.А., 2008

### *От авторов*

Один из авторов много лет читал курс минералогии для студентов специальностей «Геология и разведка» и «Гидрогеология и инженерная геология», а второй проводил лабораторные работы. Нам всегда казалось неоправданным резкое уменьшение часов для изучения минералогии для гидрогеологов — для них минералогия не менее нужна, но преподавать её нужно по-другому. Если для геологов-разведчиков самыми важными считались породообразующие и рудные минералы, то для гидрогеологов на первое место выходят воднорастворимые, водосодержащие и глинистые минералы. При этом методы диагностики последних, их физико-механические и инженерно-геологические свойства представляют собой не менее трудную и важную проблему. Было бы неправильно оставлять знакомство с этими свойствами на потом, но времени в кратком курсе минералогии для гидрогеологов на это не остаётся. Цель настоящей работы — обосновать целесообразность особого специфического преподавания минералогии для гидрогеологов.

### **Предисловие ко 2-му изданию**

Первое издание этого пособия быстро разошлось и показало, что имеется невыполненный спрос. Поэтому, учтя замечания и пожелания читателей, мы решили повторить публикацию «Минералогии для гидрогеологов». При этом внесли небольшие дополнения, в частности предложили основные понятия по кристаллографии. Кроме того в основу описания минералов положили их систематику, которая используется в большинстве российских учебников (Е.К. Лазаренко, А.Г. Булах).

Отклики коллег убедили нас, что такая книга нужна.

## **ОГЛАВЛЕНИЕ**

Глава 1. Понятие о минерале. Минералоиды. Классификация минералов .....	5
Глава 2. Вода минералов. Водосодержащие минералы .....	18
Глава 3. Воднорастворимые минералы.....	39
Глава 4. Минералы – природные адсорбенты .....	55
Глава 5. Минералы грунтов. Породообразующие минералы .....	67
Глава 6. Рудные минералы.....	86
Описание минералов.....	93
Библиографический список.....	95

---

## Глава I.

# ПОНЯТИЕ О МИНЕРАЛЕ. МИНЕРАЛОИДЫ. КЛАССИФИКАЦИЯ МИНЕРАЛОВ

---

Слово минералогия означает изучение минералов, включая вопросы их химической конституции, физических свойств, диагностики, генезиса и практического значения. Общепринятого определения понятия минерал не существует. Разногласия по этому вопросу видны из нижеприведённой схемы.



В этой работе мы придерживаемся мнения, что минерал — это твёрдая кристаллическая фаза природных химических соединений неорганического происхождения. В этом случае лёд — минерал, а вода нет, хотя существует противоположное мнение. Для некристаллических образований, т.е. аморфных веществ используется введённое в 1909 г. И. Недзвецким понятие минералоид и, следовательно, опал  $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ , обычно описываемый в учебниках как минерал, таковым не является, поскольку для него характерно аморфное состояние. Полагаем, что не следует относить к минералам продукты технологических процессов и получаемые лабораторным путём химические соединения — только продукты геологических процессов, протекающих в природе, являются настоящими минералами.

В природе минеральное вещество чаще всего представляется кристаллическим. Аморфное состояние неустойчиво и всё, что сегодня аморфное, самопроизвольно превращается в кристаллическое.

В идеальном случае кристаллическое вещество представлено правильными многогранниками. Однако условия, в которых оно образуется, не всегда позволяют веществу образовывать присущую ему форму, чаще возникают зернистые массы, состоящие из множества кристалликов, которые друг другу мешают получить идеальную форму. Тем не менее, кристаллы в форме идеальных многогранников встречаются в природе. И поэтому рассмотрим их свойства.

Одним из важнейших свойств кристаллов является их симметрия. Степень симметрии определяется с помощью элементов симметрии: оси симметрии, плоскости симметрии и центр симметрии. Осью симметрии называется прямая линия, проходящая через кристалл, при вращении вокруг которой одинаковое изображение повторяется несколько раз. В кристаллах возможны оси  $L_2$ ,  $L_3$ ,  $L_4$  и  $L_6$  и невозможны другие, хотя в живой природе, где также распространена симметрия, часто встречается  $L_5$  и др. (морская звезда, цветы шиповника и т.п.).

Плоскостью симметрии  $P$  называется такая плоскость, которая разделяет кристалл на две зеркально равные части. Количество плоскостей в кристаллах может быть 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 и 9.

Центр симметрии  $C$  — это точка внутри кристалла, характеризующаяся тем, что любая проведенная через неё прямая, встречает по обе стороны одинаковые точки.

В зависимости от сочетаний элементов симметрии все кристаллы можно подразделить на 7 групп — на 7 сингоний: триклинную, моноклинную, ромбическую, тригональную, тетрагональную, гексагональную и кубическую. Первые три объединяются в низшую категорию, потому что у них не бывает осей симметрии высших порядков:  $L_3$ ,  $L_4$  и  $L_6$ . Последняя сингония относится к высшей категории, потому что имеет не одну, а несколько осей симметрии высших порядков. А между ними находятся три сингонии средней категории. Всё это хорошо показано в табл. 1.

Кристаллы в виде многогранников могут быть представлены в виде простых форм и в виде комбинаций простых форм. Если у многогранника все грани одинаковы по форме, то он представляет собой простую форму. Однако в природе чаще случается так, что форма граней бывает различной и в этом случае говорят о сочетании простых форм, т.е. о комбинации простых форм. В табл. 1 поименованы все возможные простые формы и указаны их признаки: элементы симметрии, число граней и их форма.

Для того чтобы при описании кристалла все люди могли бы понимать друг друга, они договорились, что при описании кристалла нужно одинаково ориентировать его в пространстве. Это называется установкой кристаллов. Для этого существуют правила, какие рёбра или перпендикуляры к граням следует принять за координатные оси, направив ось X на себя, ось Y параллельно себе, а ось Z вертикально. При этом углы между координатными осями получают какое-то значение. Конечно хотелось бы сделать так, чтобы все оси были взаимно перпендикулярны, т.е. углы между ними равны  $90^\circ$ . Однако для некоторых сингоний это невозможно, что опять-таки показано в табл. 1.

Независимо друг от друга датчанин Стено в 1669 г., М.В. Ломоносов в 1748 г. и француз Роме де Лиль в 1772 г. открыли в кристаллах закон постоянства граничных углов. Оказывается, в природе форма кристалла может быть искажена, но углы между соответственными гранями для каждого вещества всегда сохраняются неизменными. После открытия этого закона стало возможным по измеренным углам с помощью гониометра определять вещество.

Основные свойства кристаллов: однородность, анизотропность (разносвойственность, т.е. зависимость свойств от направления) и способность самоограняться: отколотый кусок кристаллического многогранника положите в питающий раствор и он точно залечит «свои раны», т.е. вырастет такой же многогранник.

В 1867 г. петербургский ученый Гадолин А.В. строго математически доказал, что сочетания элементов симметрии ограничены и может существовать только 32 класса.


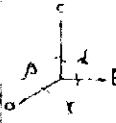
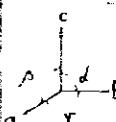
Почему кристаллы каждого вещества представлены теми или иными многогранниками? А потому, что элементарные частицы (атомы, ионы) расположены в строго определенном порядке, образуя как бы кристаллические решетки.

В 1889 г. академик Е.С. Федоров опубликовал свои исследования симметрии не кристаллов, а их кристаллических решеток. Оказалось, что сочетания элементов симметрии в решетках тоже ограничены. В реальных кристаллах, как мы уже знаем, их 32, а в решетках — 230 вариантов. Не больше и не меньше. Это значит, что элементарные частицы в кристаллах не могут располагаться как им угодно. Силы и взаимодействия ограничивают их взаимное расположение — и таких вариантов только 230.



Таблица 1

## Простые формы кристаллов всех сингоний и их характеристика

Категория кристаллов	Сингония	Ведущие элементы симметрии, характерные для каждой сингонии	Наименование простых форм кристаллов	Сочетание элементов симметрии	Количество осевых граней	Форма граней	Количество кристаллографических осей	Расположение кристаллографических осей	Соотношение между физическими длинами осей	Правила установки кристалла	Единица графического символа
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
А Я	Тригональная	Элементы симметрии или отсутствуют, или имеется центр симметрии (C)	Моноэдр Пинакноид	В комбинации пинакноидов имеется центр симметрии	1 2	Различная Различная	3		$a \neq b \neq c$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$	За ос. а, б и с берутся три ребра, соответствующие наиболее сильному развитым поясам.	Грани, отсекающая на осях а, б и с неравные, но возможно близкие по величине отрезки
	Шестиугольная	L <sub>2</sub> - одна P - одна Возможен C	Моноэдр Пинакноид Диэдр Призма	В комбинации пинакноидов имеется центр симметрии L <sub>2</sub> PC	1 2 2	Различная Различная Различная	3		$a \neq b \neq c$ $\alpha = \gamma = 90^\circ$ $\beta = 120^\circ$	Ось б проводится по L <sub>2</sub> или нормально к P. Оси а, а, с проводятся по направлению двух любых ребер L <sub>2</sub> и ос. б	Грани, отсекающая на осях а, а, б и с неравные, но возможно близкие по величине отрезки
	Ромбическая	Несколько L <sub>2</sub> или несколько C но не P	Ромбическая пирамида Ромбическая дипирамида Ромбическая призма Ромбический тетраэдр Моноэдр Пинакноид	L <sub>2</sub> PC 3L <sub>2</sub> 3PC 3L <sub>2</sub> 3PC 3L <sub>2</sub>	4 6 4 4 1 2	Различная Различная Различная	3		$a \neq b \neq c$ $\alpha < \beta < \gamma$ $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	Оси а, а, б и с проводятся по L <sub>2</sub> а - по меньшей б - по средней с - по большей (или наоборот, тогда ос. а, а, а 90° образуют нормаль к P, а ос. с - по L <sub>2</sub> )	(121) (111) (110) (111)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
СРЕДНЯЯ ТРИГОНАЛЬНАЯ	L <sub>3</sub>	Тригональная пирамида	$L_3 3P$	3							(1012)
		Тригональная дипирамида	$L_3 3L_2 4D$	6							(1121)
		Дитригональная пирамида	$L_3 3P$	6							(1011)
		Дитригональная дипирамида	$L_3 3L_2 4P$	12							(1121)
		Тригональная призма	$L_3 3L_2 4P$	3							(1010)
		Дитригональная призма	$L_3 3L_2 4P$	6							(0110)
		Ромбоэдр	$L_3 3L_2 4PC$	6							(1011)
		Дитригональный скаленоедр	$L_3 3L_2 4PC$	12							(2131)
		Тригональный трапецеэдр	$L_3 3L_2$	6							(hki)
		Моноэдр		1	Различная						
		Пинакloid		2	Различная						

4


















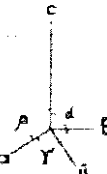






$$a=b \neq c$$

$$\alpha = \beta = 90^\circ$$

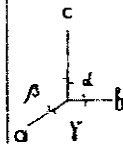
$$\gamma = 120^\circ$$

Ось „с“ про-  
водится по  
 $L_3$

Остальные  
оси (a, b, u) про-  
водятся по  $L_2$   
или нормали-  
но к „P“

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
СРЕДНЯЯ ГЕКСАГОНАЛЬНАЯ ТЕТРАГОНАЛЬНАЯ			Тетрагональная пирамида	$L_4 4p$	4				$a=b \neq c$ Ось „с“ про- водится по $L_4$ Оси „а“ и „б“ по осям $L_2$ или нормально к „D“		(113)
			Тетрагональная дипирамида	$L_4 4L_2 5pc$	8						(112)
			Дитетрагональная пирамида	$L_4 4p$	8						(131)
			Дитетрагональная дипирамида	$L_4 4L_2 5pc$	16						(hkl)
			Тетрагональная призма	$L_4 4L_2 5pc$	4						(110)
			Дитетрагональная призма	$L_4 4L_2 5pc$	8						(120)
			Тетрагональный тетраэдр	$3L_2 2p$	4						(111)
			Тетрагональный скаленоедр	$3L_2 2p$	8						(hkl)
			Тетрагональный трапезоэдр	$L_4 4L_2$	8						(311)
			Моноэдр		1	Различная					
			Пинакоид		2	Различная					
			Гексагональная пирамида	$L_6 6p$	6				$a=b \neq c$ Ось „с“ про- водится по $L_6$ Остальные Оси (а, б, u) про- водятся по $L_2$ или нормаль- но к „D“		(1012)
			Гексагональная дипирамида	$L_6 6L_2 7pc$	12						(1121)
			Дигексагональная пирамида	$L_6 6p$	12						(0112)
			Дигексагональная дипирамида	$L_6 6L_2 7pc$	24						(hkl)
			Гексагональная призма	$L_6 6L_2 7pc$	6						(1010)
			Дигексагональная призма	$L_6 6L_2 7pc$	12						(0110)
			Гексагональный трапезоэдр	$L_6 6L_2$	12						(hkl)
			Моноэдр		1	Различная					
			Пинакоид		2	Различная					

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
В Ы С Ш А Я К У Б Ч Е С К А Я		Гексаэдр (куб)	$3L_4, 4L_2, 6L_2, 6C_2, 6C_4, 8C_6$	6							(100)
		Тригон-тетрагексаэдр (пирамидальный куб)	$3L_4, 4L_2, 6L_2, 6C_2, 6C_4, 8C_6$	24							(hkl)
		Тэтраэдр	$4L_2, 3L_2, 6C_2$	4							(111)
		Тригон-тритетраэдр	$4L_2, 3L_2, 6C_2$	12							(211)
		Тетрагон-тритетраэдр	$4L_2, 3L_2, 6C_2$	12							(112)
		Пентагон-тритетраэдр	$4L_2, 3L_2, 6C_2$	12							(hkl)
		Тригон-гекстетраэдр	$4L_2, 3L_2, 6C_2$	24							(111)
		Октаэдр	$3L_4, 4L_2, 6L_2, 6C_2, 6C_4, 8C_6$	8							(221)
		Тригон-триоктаэдр	$3L_4, 4L_2, 6L_2, 6C_2, 6C_4, 8C_6$	24							(211)
		Тетрагон-триоктаэдр	$3L_4, 4L_2, 6L_2, 6C_2, 6C_4, 8C_6$	24							(hkl)
		Пентагон-триоктаэдр	$3L_4, 4L_2, 6L_2, 6C_2, 6C_4, 8C_6$	24							(hkl)
		Гексоктаэдр	$3L_4, 4L_2, 6L_2, 6C_2, 6C_4, 8C_6$	48							(101)
		Ромбододекаэдр	$3L_4, 4L_2, 6L_2, 6C_2, 6C_4, 8C_6$	12							(hkl)
		Дододекаэдр	$4L_2, 3L_2, 3C_2$	24							(102)
		Пентагон-дододекаэдр	$4L_2, 3L_2, 3C_2$	12							



Все кристаллографические оси проходят по  $L_4$ , если их нет, то по  $L_2$

$a=b=c$

$\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$

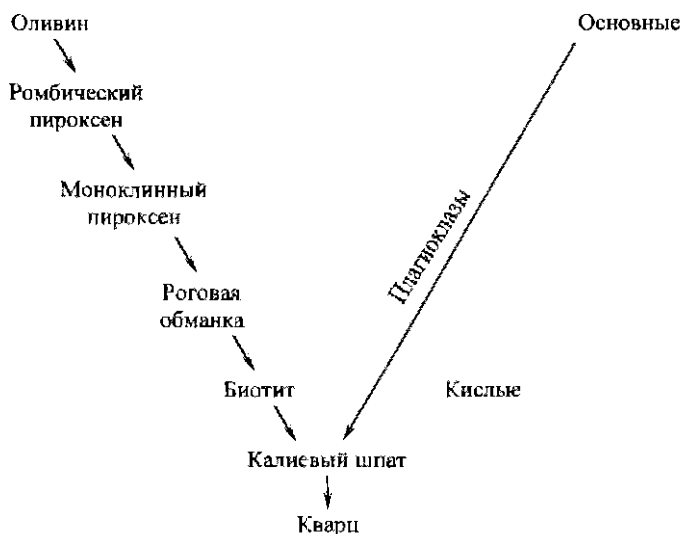
В природе минералы образуются самыми различными способами и их происхождение обычно называют генезисом.

Под генезисом минералов понимают совокупность процессов, в результате которых возникает минерал. Следует иметь в виду, что с образованием минералов и минеральных месторождений студент знаком после курса общей геологии. Поэтому здесь мы кратко систематизируем те геологические процессы, которые приводят к образованию минералов.

К группе эндогенных процессов минералообразования относятся:

- собственно магматическая стадия кристаллизации магмы;
- пегматитовая стадия;
- пневматолитовая стадия;
- гидротермальная стадия.

Общая схема кристаллизации магмы при её остывании отражена в реакционном ряде Боуэна, по которому хорошо видна последовательность образования минералов по мере охлаждения магмы.



**Рис. 1. Реакционная схема кристаллизации минералов (по Боуэну)**

Из темноцветных минералов первым рождается оливин, затем пироксены, амфиболы, биотит. Одновременно с оливином никакие светлоокрашенные минералы не возникают, а вот с пироксеном

вместе появляется основной плагиоклаз – анортит. А далее по мере охлаждения магмы из неё выпадает средний плагиоклаз одновременно с амфиболами, затем кислый плагиоклаз – альбит вместе с биотитом, последними кристаллизуются кварц и ортоклаз.

Пегматитовая стадия кристаллизации магмы протекает с участием летучих компонентов, которых стало в магме больше, ибо ни оливины, ни пироксен, ни полевые шпаты не забирали в себя летучих компонентов в виде газа и находящихся в газообразном состоянии бериллия, лития и других элементов. Появляются своеобразные породы и минералы, которые отличаются крупными зёрнами минералов и хорошо огранёнными кристаллами иногда гигантских размеров весом в несколько тонн.

Если давление внутреннее в магматическом очаге больше внешнего, то остаточный расплав поднимается по трещинам и ослабленным зонам и активно воздействует на окружающие породы, изменяя их прежний минеральный состав. Эта стадия эндогенного процесса называется пневматолитовой. Особенно активно протекают реакции на контактах остаточной магмы и известняков – образуются так называемые скарные породы.

Затем по мере подъёма пневматолитового расплава температура понижается и при 375°C водяные пары начинают переходить в жидкое состояние. Эта ювенильная «девственная» вода при высокой температуре и высоком давлении очень агрессивна, запросто растворяет боковые породы и минералы (даже золото!). А обогащаясь ими, становится ещё более агрессивной. Но по мере поднятия по трещинам эти гидротермальные растворы охлаждаются, соответственно растворимость падает и из них начинают отлагаться на стенках трещин так называемые гидротермальные минералы. Образуются рудные жилы. В соответствии с температурой и растворимостью наблюдается зональность, т.е. смена одних минералов другими.

Различают гипотермальные (высокотемпературные), мезотермальные (среднетемпературные) и эпитермальные (низкотемпературные) минералы. К первым можно отнести касситерит, вольфрамит, ко вторым – галенит, халькопирит, к третьим – антимонит, киноварь.

К группе экзогенных процессов относят: 1) гипергенный, т.е. процесс химического выветривания; 2) водноосадочный и 3) биогенный, т.е. с участием живых организмов или их остатков после отмирания. При гипергенном процессе основную роль играют кислород и промывные воды, образуется «железная шляпа», где

больше всего минералов из класса окислов. Силикаты и алюмосиликаты разлагаются и дают скопление глинистых минералов.

При водноосадочном процессе минералообразования происходит садка минералов в водоемах при изменении  $t^{\circ}$ , pH среды и других факторов. Типичными минералами этого генезиса являются галогениды, а также сульфаты и карбонаты.

Особняком стоят метаморфические процессы минералообразования, где основные факторы – это высокое давление и высокая температура при воздействии их на любые породы: осадочные, магматические и более древние метаморфические.

Ниже приведена классификация минералов, которая используется при изучении минералогии в большинстве российских вузов [2, 4].

## **Классификация минералов по А.Г. Булаху [2]**

### **Тип I. Простые вещества**

#### ***Класс 1. Металлы***

Группы меди, железа и платины

#### ***Класс 2. Полуметаллы***

Группа мышьяка

#### ***Класс 3. Неметаллы***

Группы серы и углерода

#### ***Класс 4. Интерметаллиды***

Группа изоферроплатины

### **Тип II. Сернистые соединения и их аналоги**

#### ***Класс 1. Простые сульфиды***

*Подкласс 1 (координационной структуры)*

Группы халькозана, аргентита, галенита, сфалерита, пирротана

*Подкласс 2 (цепочечной структуры)*

Группы миллерита, киновари, стабнита

*Подкласс 3 (слоистой структуры)*

Группы аурипигмента, молибденита

*Подкласс 4 (кольцевой структуры)*

Группа реальгара

#### ***Класс 2. Сложные сульфиды***

*Подкласс 1 (координационной структуры)*

Группы пентландита, талнахита, халькопирита, борнита, грейниты

*Подкласс 2 (слоистой структуры)*

Группа ковеллина

**Класс 3. Сульфосали**

*Подкласс 1 (островной структуры)*

Группы прустита, энаргита, тэтраздрита, полибазита

*Подкласс 2 (цепочечной структуры)*

Группы джемсонита, буланжерита

**Класс 4. Персульфиды и их аналоги**

Группы пирита, марказита, скуттерудита

**Тип III. Кислородные соединения**

**Класс 1. Простые оксиды**

Группы льда, куприта, периклаза, корунда, уранинита, кварца, рутила

**Класс 2. Сложные оксиды**

Группы ильменита, браунита, шпинели, гаусманита, хризоберилла, перовскита, эшинита, пироклора, колумбита, самарскита, вольфрамита, романешита

**Класс 3. Гидроксиды**

Группы гидроксидов магния, гидроксидов алюминия, гидроксидов железа, гидроксидов марганца

**Класс 4. Силикаты и их аналоги**

*Подкласс 1 (островной структуры)*

Группы оливина, фенакита, циркона, граната, гуммита, кианита, ставролита, топаза, титанита, хлоритоида, везувиана, цоизита, эпидота, малилита, мозандрита, гемиморфита, лампрофиллита

*Подкласс 2 (кольцевой структуры)*

Группы берилла, кордиерита, диоптаза, турмалина, эвдиалита, аксинита

*Подкласс 3 (цепочечной структуры)*

Группы пироксенов, волластонита, родонита, астрофиллита

*Подкласс 4 (ленточной структуры)*

Группы чаронита, амфиболов

*Подкласс 5 (слоистой структуры)*

Группы каолинита, серпентина, пирофиллита, смектитов, слюд, хрупких слюд, гидрослюд<sup>1</sup>, хлоритов, полыгорскита, хризоколы, пренита, датолита

---

<sup>1</sup> У А.Г. Булаха эта группа названа «слюды с дефицитом межслоевых катионов»



*Подкласс 6 (каркасной структуры)*

Группы полевых шпатов, данбурита, лейцита, нефелина, скаполи-  
та, канкрениита, содалита, гельвина, цеолитов: гейланди-  
та, натролита, анальцима, шабазита

**Класс 5. Фосфаты, арсенаты, ванадаты**

Группа монацита, ксенотима, апатита, вивианита, скородита,  
урановых слюдов, бирюзы

**Класс 6. Сульфаты**

Группа барита, ангидрита, гипс, тенардита, мирабилита, блёди-  
та, квасцов, алунита, эпсомита

**Класс 7. Хроматы, вольфраматы, молибдаты**

Группы крокоита, шеелита

**Класс 8. Бораты**

*Подкласс 1 (островной структуры)*

Группы котоита, гамбергита, людвигита, ссайбелиита, синхалита

*Подкласс 2 (кольцевой структуры)*

Группы иньонита, буры, улесита

*Подкласс 3 (ленточной структуры)*

Группа гидрборацита

*Подкласс 4 (слоистой структуры)*

Группа йохачидолита

*Подкласс 5 (каркасной структуры)*

Группа борацита

**Класс 9. Карбонаты**

Группы кальцита, доломита, арагонита, малахита, карбонатов на-  
трия, ниеририта, бастнезита

**Класс 10. Нитраты**

Группы нитратина, селитры

**Тип IV. Галоидные соединения**

**Класс 1. Фториды**

Группы флюорита, виллиолита, криолита

**Класс 2. Хлориды**

Группы галита, хлораргидрита, карналлита, бишофита, атакамита

**Тип V. Органические соединения**

Распределение минералов по классам приведено в табл. 2.

Таблица 2

Распределение минералов по классам<sup>1</sup>

№	Класс минералов	Всего минералов	Из них водные
1	Элементы и карбиды	38	нет
2	Сульфиды и аналоги	274	Нет
3	Галогениды	96	31
4	Окислы и гидроокислы	242	69
5	Силикаты	439	294
6	Бораты	89	64
7	Фосфаты, ванадаты, арсенаты	349	320
8	Вольфраматы, молибдаты	16	8
9	Сульфаты	165	142
10	Хроматы	11	4
11	Карбонаты	88	38
12	Нитраты, йодаты	14	6
		<b>1821</b>	<b>976</b>

Мы уже знаем, что такое минералы. В природе они редко существуют обособлено, хотя и отмечаются иногда уникальные случаи обособления — слюда в виде листов размером 30 м или кристаллы берилла весом 8 т. Однако чаще минералы встречаются в тесном сочетании друг с другом, в механической смеси. И тогда такие агрегаты называют породами — магматическими, осадочными и метаморфическими. Употребляют ещё термин руда — такой агрегат минералов, из которых выплавляют металлы. Всё, что используется человеком, будь это порода, минерал или руда объединяют термином минеральное сырьё или полезное ископаемое.

В следующих главах мы рассмотрим минералы с точки зрения их использования: гл. 2 — минералы, как возможный источник воды для различного применения; гл. 3 — минералы, как исходный продукт растворения и формирования минеральных вод бальнеологического значения; гл. 4 — минералы, экологическое сырьё в виде природных сорбентов; гл. 5 — минералы, как основа фундаментов при строительстве разных объектов, гл. 6 — минералы руд. С ними тоже надо познакомиться, ибо на шахтах и рудниках приходится работать гидрогеологам.

<sup>1</sup> При подсчете использованы данные А.С. Поваренных [8].

---

## **Глава 2.**

# **ВОДА МИНЕРАЛОВ.**

### **ВОДОСОДЕРЖАЩИЕ МИНЕРАЛЫ**

---

Изучение воды, содержащейся в минералах, имеет большое теоретическое и практическое значение. В настоящее время известно около 4000 минералов, но половина из них являются чрезвычайно редкими, поэтому количественные данные приведены для главных минералов.

Из общего количества главных минеральных видов 54 % содержат воду или водонесущие компоненты  $H_2O$  при  $n = 1, 2, 3$ . Среди таких групп, как фосфаты, сульфаты, бораты и силикаты доля водонесущих минералов возрастает соответственно до 92, 87, 73 и 67 %. Именно эти 4 группы составляют половину по числу минеральных видов и три четверти по весу земной коры. В осадочной оболочке Земли водосодержащих минералов не менее 13 весовых процентов и они содержат в себе 4, 8,  $10^{16}$  т воды, что в 4 раза больше, чем во всех реках и озёрах мира. Вода минералов участвует в круговороте, выделяясь при метаморфизме и поглощаясь при гипергенных процессах.

В минералогии установилась такая классификация воды минералов: конституционная, кристаллизационная, адсорбированная и вода включений. Обычно в минерале присутствует один тип воды, а в некоторых четко фиксируется два или три, а то и все четыре типа.

Конституционная вода в минералах находится в виде ионов  $(OH)^-$ ,  $H^+$  и  $H_3O^+$ . Выделение воды происходит с поглощением тепла, фиксируясь на кривых нагревания в виде эндотермического эффекта. Кристаллизационная вода подразделяется на кристаллогидратную и цеолитную. Последняя отличается от кристаллогидратной тем, что она выделяется постепенно в широком температурном интервале без разрушения кристаллической решетки, причем удаленная вода может легко восстанавливаться минералом.

Вода включений представляет собой захороненные остатки минералообразующей среды в различного рода пустотах. Методика исследования воды минералов является не совершенной.

Часто химик-аналитик ограничивается показом  $\text{H}_2\text{O}^-$  и  $\text{H}_2\text{O}^+$ . Более того, бывает, что аналитики показывают не воду, а потери веса при высушивании и при прокаливании. Легко понять, что это не одно и то же, особенно, если в пробе присутствуют органическое вещество, закисные соединения, сульфиды и карбонаты.

В некоторых случаях исследователи получают кривые дегидратации, собирая и взвешивая воду при нагревании через  $100^\circ\text{C}$  или судят о ней по плотности водяного пара или по данным газовой волюмометрического анализа.

В гидрослюдах, например, известны по крайней мере три кристаллохимических типа воды: адсорбционно-молекулярная, конституционно-гидроксильная ( $2(\text{OH}) \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{O}$ ) и межслоевая. Они занимают разное положение в структуре водосодержащих минералов и удерживаются там с разной прочностью.

Природа этих трех типов воды  $\text{H}_2\text{O}$  гидрослюд выяснена с разной степенью достоверности. При  $n = 2$  мы получаем молекулярную воду, ее природа представляется как совокупность адсорбционной, пленочной, коллоидной, капиллярной, гидроскопической воды. При  $n = 3$  мы получаем до сих пор спорный и проблематичный оксоний. Этому вопросу посвящено не мало исследований и публикаций, однако, единая точка зрения на природу межслоевой воды не выработана. При  $n = 1$  мы получаем гидроксильную воду. Она прочно удерживается в решетке и выделяется при  $450^\circ\text{--}800^\circ$ .

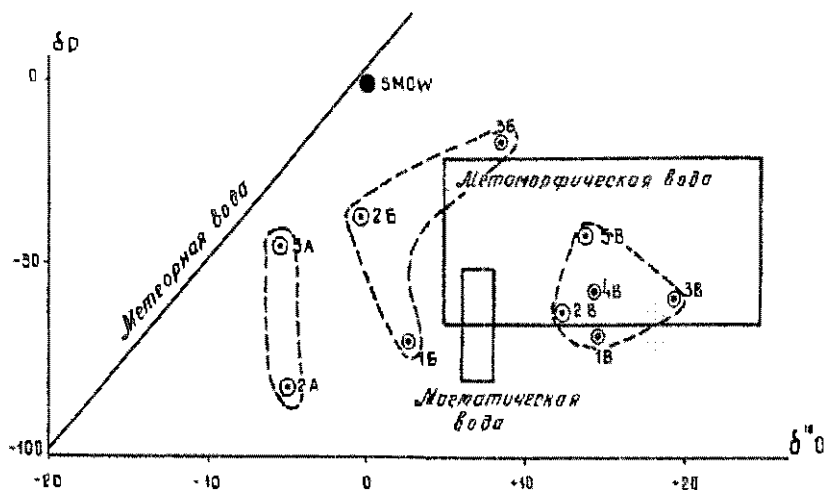
Состав и свойства трех типов воды, не одинаковы (табл. 3, рис. 2). Это позволяет получать дополнительную кристаллохимическую и генетическую информацию. Дело в том, что вода, содержащаяся в минералах, способна к изотопному обмену, но в разной степени в зависимости от ее структурного положения. Наиболее прочно удерживаемая гидроксильная вода как бы «запята» внутри кристаллической решетки в виде ионов  $\text{OH}^-$  и поэтому менее других типов подвержена изотопному обмену. Следовательно, изотопный состав кислорода и водорода в гидроксилах сохраняется в большей степени, таким как был в среде зарождения минерала. Вероятно, и другие типы воды — адсорбированная и межслоевая в этот момент имели тот же изотопный состав. Но последующее бытие минерала могло привести его в соприкосновение с другой водной средой и в результате межслоевая и, особенно, адсорбированная вода приобретут иные значения по дейтерию и кислороду — 18.

Таблица 3

Изотопный состав разных типов воды (промилле) [6]

Образец	Изотопные показатели	Тип воды		
		адсорбционная	межслоевая	гидроксильная
Глауконит нижнежуравский	$\delta D$ $\delta^{18}O$		-69 +2,8	-67 +14,8
Глауконит крюковский	$\delta D$ $\delta^{18}O$	-82,4 -4,9	-36,4 -0,2	-61,5 +12,5
3. Глауконит крюковский (фракция)	$\delta D$ $\delta^{18}O$		-15 +8,5	-5,7 +19,5
Серицит худесский	$\delta D$ $\delta^{18}O$	-44,5 -5,3	-44,5 н.о.	-39 +13,9

**Примечание:** анализы выполнены в Институте водных проблем АН СССР  
Есиковым А.Д.



**Рис. 2.** График зависимости величины  $\delta D$  от  $\delta^{18}O$  для воды гидрослюд:  
А — молекулярная вода, Б — межслоевая вода, В — гидроксильная вода

Мыслимы самые различные вариации количества дейтерия и кислорода-18. У современных экзогенных гидрослюд, возникших при синтезе, могут все три сорта воды быть одинаковыми по изотопному составу, если условия, при которых они возникли, не претерпели существенных изменений. Эндогенные гидрослюды в какой-то степени наследуют изотопные показатели магматических вод, но чаще всего показывают разбавление этих вод метеорными или подземными.

В нашем случае глауконит из осадочных отложений третичного возраста содержит три сорта воды, различной по содержанию дейтерия и кислорода —18. Следовательно, глауконит с момента образования пережил сложную историю. Гидроксильная вода по изотопному составу на диаграмме Тейлора (рис. 3) попадает в поле «эндогенных» вод, а межслоевая и молекулярная воды имеют пониженные значения кислорода —18 и лежат вне «эндогенного прямоугольника», приближаясь к линии метеорных вод.

Генетическая интерпретация данных представляется следующей. Глауконит образовался в море при подводном вулканическом извержении, т.е. в момент зарождения глауконита в формировании его состава могла участвовать магматическая и морская вода, прочно закрепившаяся в кристаллической решетке в виде ОН. Возможно и даже вероятно, что в этот момент та же вода принимала участие в формировании других кислородно-водородных группировок, однако последние при разноте глауконита по морскому дну, диагенезе, катагенезе и гипергенезе контактировали с другими типами воды и подверглись изотопному обмену. Межслоевая вода имеет следы изотопного обмена при диагенезе в морских условиях, а молекулярная вода отражает воздействие подземных и метеорных вод при гипергенезе.

Серицит колчеданного месторождения Худес в отличие от глауконита показывает одинаковые или почти одинаковые значения дейтерия для трех типов воды, но имеет различия по кислороду — 18, что характерно для гидротермальных растворов.

Полезность подобных анализов для выяснения генезиса минералов не вызывает сомнений. Более того, еще не использованы все возможности изотопно-минералогических исследований. В частности, можно рассчитывать на дополнительную генетическую и кристаллохимическую информацию, если предусмотреть раздельное определение в одном и том же минерале изотопного состава кислорода в гидроксилах и в кремнекислородных тетраэдрах. В настоящее время формируется новое научное направление — изотопно-минералогическое в отличие от уже существующего изотопно-литологического. Разные возможности этих направлений вызывают необходимость разного методического подхода к подготовке проб для изотопного анализа.

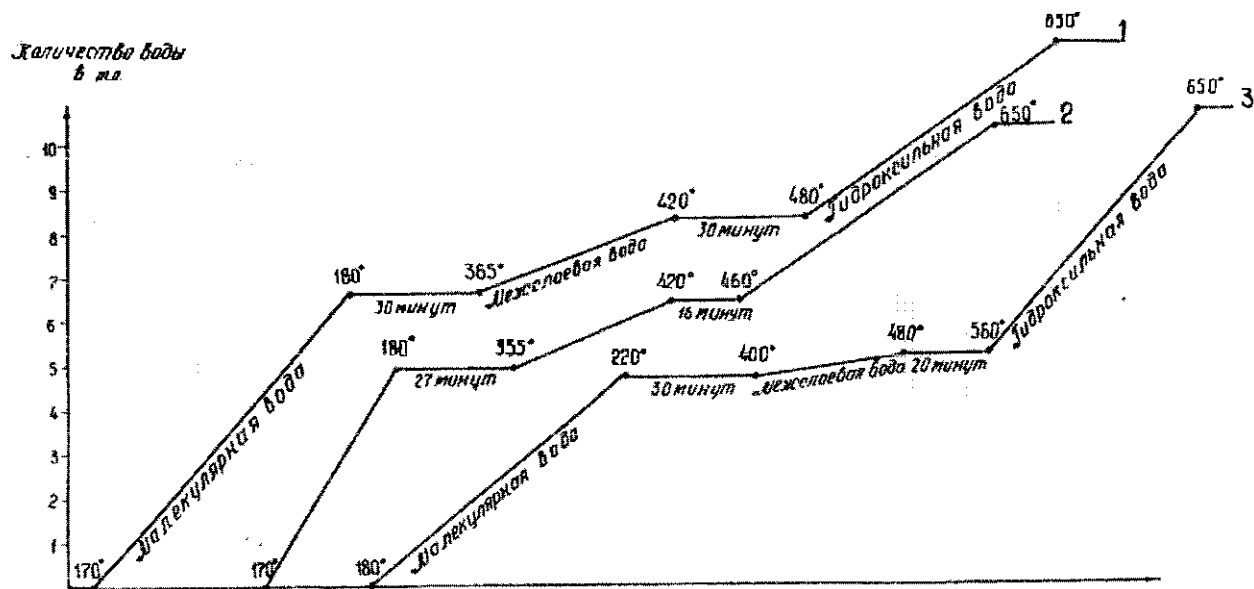


Рис. 3. Результаты ступенчатой дегидратации двух глауконитов (1, 2) и серицита (3)

Изучение воды в минералах связывает такие науки, как минералогия, кристаллохимия, гидрохимия, учение о полезных ископаемых, экология и др. и может иметь большое прикладное значение.

Итак, выяснение типов воды в минералах, их состава и положения в кристаллической структуре, зависимость состава воды от генезиса, от возраста, от экспериментальных условий и т.п. ставит ряд важных научных и практических проблем.

Одной из них является обеспечение человечества чистой водой. Ни в реках, ни в океанах её нет. Где взять чистую воду пока в ограниченных количествах для научных целей, хотя не исключается, что в будущем этим путем будут добывать огромные объемы воды? Для пустынных районов и для экстремальных ситуаций этот вопрос особенно актуален. Получение чистой воды путем перегонки загрязненной решает проблему лишь частично, так как некоторые загрязнители летят вместе с парами. Выделение чистой воды из минералов путем термической обработки нам представляется предпочтительным, хотя возможно выделение воды и другими способами. Логично ожидать, что ОН-вода древних минералов является наиболее чистой. Однако целеустремленные исследования в этом направлении отсутствуют.

Почему конституционная вода минералов, особенно древних минералов, является чистой? Ответ на этот вопрос логически вытекает из понимания генетики минералообразования. Природная загрязненная вода, является минералообразующей средой, в значительной степени диссоциирована и таким образом в ней находятся наряду с молекулами воды ионы  $H^+$ ,  $H_3O^+$ ,  $OH^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $CO_3^{2-}$ ,  $Cl^-$ ,  $Na^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$  и др. При образовании кристаллической решетки минералов там, где это требуется, будут заимствованы стерильные ионы  $H^+$ ,  $OH^-$ , которые впоследствии при иных, в том числе и искусственно созданных условиях (обезвоживание при нагреве) дадут стерильную воду.

В 1 м<sup>3</sup> гранита содержится ОН-воды 37 л

Амфиболит 35 л

Опока 27 л

Каолиновые глины 32 л

Другой перспективной проблемой в настоящее время также не решенной, является изучение вопроса: содержат ли минералы



ультраосновных, кислых и щелочных магматических пород одинаковую или разную по изотопному составу воду, возможно ли, наподобие фауны для осадочных пород, использовать изотопный состав какого-то типа воды для идентификации, допустим, гранитов одного магматического очага.

Как зависит изотопный состав ОН-воды одного и того же минерала от возраста, от генезиса? Как ведут себя разные типы воды в минералах при низких и сверхнизких температурах? Одинаковы ли лёд разных типов воды по структуре, по температуре перехода и т. п.? Как влияют разные типы воды древних минералов на живой организм? Ответы на эти и другие вопросы представляют научный и практический интерес.

**В основу описания минералов положена систематика, представленная в гл. 1. Кривые нагревания минералов заимствованы у Костова [3], Лазаренко [4], Ныrkова [5], Ивановой и др. [9], Цветкова [10].**

### **Тип III. Класс 3. Гидроксиды**

Термические кривые ДТА гидроксидов показаны на рис. 4.

**1. Диаспор** –  $\text{HAlO}_2$ ; ромб. с.,  $a = 4,40$ ;  $b = 9,42$ ;  $c = 2,84$

*Химия.*  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 85\%$ ,  $\text{H}_2\text{O} = 15\%$ . Примеси  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и  $\text{Mn}_2\text{O}_3$

*Физические свойства.* Цвет желтовато-бурый, белый. Блеск стеклянный. Твёрдость 6,5–7. Удельный вес  $= 3,2\text{--}3,5$ . Спайность совершенная.  $N_g = 1,730\text{--}1,752$ ;  $N_m = 1,705\text{--}1,725$ ;  $N_p = 1,682\text{--}1,706$ ;  $N_g\text{--}N_p = 0,05$ .

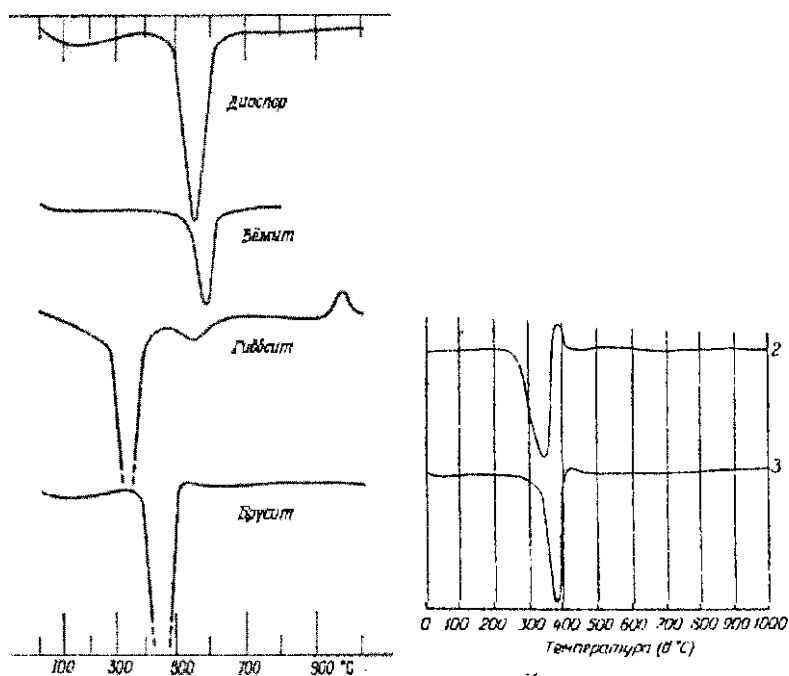
*Морфология кристаллов и агрегатов.* Кристаллы таблитчатого облика, чешуйчатые агрегаты.

*Диагностика.* Высокая твёрдость, форма агрегатов. Хрупкость. Линии на рентгенограммах: 3,98(6)–2,07(8)–1,63(10).

*Генезис.* В составе бокситов, как осадочное образование.

*Спутники.* Бемит, гидраргилит, гидроокислы железа, каолинит, в метаморфизованных бокситах вместе с корундом, диестеном, хлоритами.

*Полезные свойства.* Руда на алюминий.



Кривые ДТА диапора, бёмита, гиббсита и брусита.

Кривые нагревания некоторых гидроокислов:  
2 — лепидокрокита, 3 — гетита

**Рис. 4. Кривые нагревания гидроксидов [4]**

2. **Бемит** —  $\text{AlO}(\text{OH})$ ; ромб. с.,  $a=3,78$ ;  $b=11,8$ ;  $c=2,85$

Химия.  $\text{Al}_2\text{O}_3=85\%$ ,  $\text{H}_2\text{O}=15\%$ .

**Физические свойства.** Цвет бледно-жёлтый. Блеск стеклянный. Тв. 3,5–4. Уд. вес = 3,1. Спайность совершенная. Хрупкий.  $N_g=1,65\text{--}1,67$ ;  $N_m=1,65\text{--}1,66$ ;  $N_p=1,64\text{--}1,65$ ;  $N_g\text{--}N_p=0,015$ . Главные линии на рентгенограммах: 6,23(10)-3,16(10)-2,34(10)-1,85(10).

**Морфология кристаллов и агрегатов.** Скрытокристаллические образования.

**Диагностика:** Трудно отличается от гидраргиллита, с которым часто встречается в бокситах. Надёжно определяется по рентгенограмме и по кривым нагревания.

**Генезис.** Осадочное экзогенное образование в бокситах.

**Спутники.** Каолинит, лимонит, гетит, гидраргиллит, пирит, сидерит.

*Полезные свойства.* Содержит алюминий. Используется для его извлечения.

3. **Гидраргиллит** –  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ; монокл. с.,  $a = 8,62$ ;  $b = 5,06$ ;  $c = 9,70$

*Химия:*  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 65,4\%$ ,  $\text{H}_2\text{O} = 34,6\%$ .

*Физические свойства:* Цвет белый или сероватый, зеленоватый, красноватый. Блеск стеклянный. Тв. 2,5–3,5. Уд. вес = 2,4. Спайность совершенная.  $N_g = 1,58$ –1,60;  $N_m = 1,56$ –1,58;  $N_p = 1,56$ –1,58;  $N_g - N_p = 0,020$ . Главные линии на рентгенограмме: 4,83(10)–4,337(6)–2,451(5)–2,374(5).

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Скрытокристаллические массы, натёчные, чешуйчатые и лучисто-листоватые агрегаты.

*Диагностика:* Надёжно определяется лишь по термическим кривым и рентгенограммам.

*Генезис.* Гипергенный в корях выветривания.

*Спутники.* Каолинит, лимонит, гетит, гидраргиллит, пирит, сидерит.

*Полезные свойства.* Содержит алюминий. Используется для его извлечения.

4. **Брусит** –  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ , тригон. с.,  $a = 3,12$ ;  $c = 4,73$

*Химия.*  $\text{MgO} = 69\%$ ,  $\text{H}_2\text{O} = 31\%$ .

*Физические свойства.* Цвет белый, иногда зеленоватый. Блеск стеклянный. Тв. 2,5. Уд. вес = 2,3–2,4. Спайность совершенная. На кривой нагревания фиксируется большой эндотермический эффект с максимумом  $460^\circ\text{C}$ .  $N_g = 1,580$ ;  $N_m = 1,559$ . Главные линии на рентгенограмме: 4,75(8)–2,361(10)–1,793(10)–1,372(7).

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Встречается в виде сплошных листоватых масс, напоминающих гипс.

*Диагностика.* Оптические свойства и рентгенограмма.

*Генезис.* Типичный низкотемпературный гидротермальный минерал в серпентинитах и в доломитах.

*Спутники.* Тальк, серпентин, магнезит, хлориты.

*Полезные свойства.* Содержит магний и используется для его получения.

5. **Гётит** –  $\text{HFeO}_2$ ; ромб. с.,  $a = 4,64$ ;  $b = 10,0$ ;  $c = 3,03$

*Химия.*  $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 89,9\%$ ,  $\text{H}_2\text{O} = 10,1\%$ . Разновидность, содержащую больше воды ( $\text{HFeO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ), называют гидрогётитом или лимонитом.

*Физические свойства.* Цвет желто-бурый, темно-бурый до черного. Черта бурая. Блеск полуметаллический. Тв. 5–5,5. Уд. вес = 4,0–4,4. Спайность совершенная. Главные линии на рентгенограммах: 4,18(10)–2,69(8)–2,45(10).

*Морфология кристаллов и агрегатов.* У агрегатов скрытокристаллических – ноздреватых, натечных, оолитовых, шлаковидных, землистых твердость падает до 1 и спайность не наблюдается.

*Диагностика.* Характерна бурая черта. Главные линии на рентгенограммах. На кривой нагревания выделение воды фиксируется эндотермическим эффектом с максимумом при 380°C.

*Генезис.* Образуется в коре выветривания, редко в виде игольчатых кристаллов при гидротермальном процессе.

*Спутники.* Минералы, характерные для коры выветривания.

*Полезные свойства.* Может быть рудой на железо.

6. **Лепидокрокит** –  $\text{FeO}(\text{OH})$ ; ромб. с.,  $a = 3,87$ ;  $b = 12,51$ ;  $c = 3,06$

*Химия.*  $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 89,9\%$ ,  $\text{H}_2\text{O} = 10,1\%$ .

*Физические свойства.* Цвет красный до красновато-коричневого. Черта оранжевая или кирпично-красная. Блеск алмазный. Тв. 5. Уд. вес. = 4,09. Спайность совершенная.

*Диагностика.* От весьма похожего гётита его можно отличить по кривым нагревания. У лепидокрокита эндотермический эффект выделения воды начинается раньше, имеет максимум 345°C и вслед за обезвоживанием отмечается экзотермический эффект при 465° в результате образования маггемита, обладающего магнитными свойствами. В то время как для гётита обезвоживание показывает эффект при 380°C, а экзотермический максимум на кривой выражен слабо и образуется не магнитный продукт. На рентгенограммах лепидокрокита сильными линиями являются 6,25(10)–3,28(9)–2,47(8).

*Генезис.* Образуется в корях выветривания, реже как поздний минерал в гидротермальных месторождениях.

*Спутники.* Минералы, характерные для коры выветривания.

*Полезные свойства.* Может быть рудой на железо.

7. **Псиломелан.** Сингония точно не установлена. Хим. состав не постоянен:  $m\text{MnO} \cdot \text{MnO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$

*Химия.*  $\text{MnO}_2 = 60\text{--}80\%$ ,  $\text{MnO} = 8\text{--}25\%$   $\text{H}_2\text{O} = 4\text{--}6\%$ . Часты примеси бария и вольфрама.

*Физические свойства.* Цвет черный, иногда буровато-черный. Черта черная. Блеск полуметаллический. Тв. 4–6; Уд. вес = 4,4–4,7.

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Образует натечные агрегаты с концентрическим строением.

*Диагностика.* Некоторые образцы показывают линии на рентгенограммах 3,49(8)-2,84(4)-2,40(8)-2,19(10).

*Генезис.* Экзогенный за счет других марганцевых минералов.

*Спутники.* Браунит, гаусманит, силикаты и карбонаты марганца.

*Полезные свойства.* Вместе с другими Mn-минералами являются рудой.

8. **Опал** –  $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ . Аморфный.

Разновидности: благородный опал, молочный опал, огненный опал, гялит, кахалонг, древовидный и т.д.

*Физические свойства.* Показатели преломления и удельный вес меняются в зависимости от содержания воды:

% $\text{H}_2\text{O}$	n	Уд. вес.
3,55	1,459	2,16
6,33	1,453	2,10
8,97	1,446	2,04
28,04	1,409	1,73

Цвет различный от бесцветного до красного, зеленого, белого, черного. Блеск стеклянный.

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Обычно наблюдается в виде натечных почковидных образований, сталактитов, корок, а также в виде сплошных землистых масс.

*Диагностика.* Является главной составной частью в породах – опоках, трепелах, диатомитах.

*Генезис.* Образуется из горячих водных растворов (гейзерит), а также из холодных при разложении силикатов и биогенным путем в диатомитовых водорослях. В течение длительного времени самопроизвольно кристаллизуется, переходя сначала в халцедон, а затем в кварц.

*Спутники.* Минералы, характерные для коры выветривания.

*Полезные свойства.* Используется в ювелирном деле, для строительных целей, в пищевой, нефтяной, абразивной и химической промышленности.

9. **Лёд** –  $\text{H}_2\text{O}$ , синоним гидроксит; гексагон. с.,  $a = 7,82$ ; - ;  $c = 7,36$

$\text{H} = 11,2 \%$ ,  $\text{O} = 88,8 \%$

*Физические свойства.* Бесцветен, иногда с синеватым оттенком. Блеск стеклянный. Прозрачен. Спайности нет. Тв. 1,5. Уд. вес = 0,917.  $\text{Ng} = 1,310$ ;  $\text{Nm} = 1,309$ . Холодный на ощупь. Устойчив ниже  $0^\circ\text{C}$ . Самый легкий из минералов.

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Обычно — агрегатные скопления мелкокристаллических зерен. Кристаллические индивиды возникают непосредственно из парообразного состояния: снежинки, узоры на стекле окон. Редко встречаются крупные кристаллы — в СССР на глубине 60 м встречен кристалл размером 60 см в длину и 15 см в ширину. Имеются сотни зарисовок снежинок гексагональной формы. Это обычный лёд.

Его структура состоит не из ионов, как скажем, в силикатах, а из молекул  $\text{H}_2\text{O}$ . В структуре обычного льда каждая молекула  $\text{H}_2\text{O}$  окружена четырьмя молекулами, находящимися на одинаковом расстоянии от центральной молекулы на расстоянии  $2,76 \text{ \AA}$ . Получается некоторая аналогия с кремнекислородным тетраэдром  $[\text{SiO}_4]$ , являющимся основным кирпичиком, из которых складываются все силикаты.

Здесь тоже центральная молекула  $\text{H}_2\text{O}$  находится внутри тетраэдра (как Si), а в вершинах тетраэдра другие молекулы воды (а в силикатах в вершинах кислород). Две из четырех вершин тетраэдра имеют молекулы заряженные отрицательно и две — положительно.

Немецкий ученый Г Тамман и американский Г.В. Бриджмен выявили шесть разновидностей льда:

1 — обычный лёд, существующий при давлении до 2200 атм., при дальнейшем повышении давления переходит в модификацию 2;

2 — лёд с уменьшением объема на 18%, тонет в воде, очень неустойчив, существует при температуре  $-155^\circ\text{C}$  и легко переходит в

лёд 3; сингония ромбическая,  $a = 7,82$ ;  $b = 4,51$ ;  $c = 5,57$ . Главные линии на рентгенограмме: 3,8(9)-3,0(10)-2,7(8)-2,19(9)-2,10(9);

3 – также тяжелее воды и может непосредственно получен из льда 1; Сингония ромбическая,  $a = 10,22$ ;  $b = 5,88$ ;  $c = 7,18$ . Главные линии на рентгенограмме: 3,60(10)-3,39(8)-2,90(8)-2,66(6)-2,55(8).

4 – лёд легче воды, существует при небольших давлениях и температуре немного больше  $0^{\circ}\text{C}$ , неустойчив и легко переходит в лёд 1;

5 – лёд может существовать при давлениях от 3600 до 6300 атм., он плотнее льда 3, при повышении давления  $> 6300$  атм. с треском мгновенно превращается в лёд 6;

6 – лёд плотнее льда 5 при давлении около 21 000 атм. Имеет температуру  $+60^{\circ}\text{C}$ ; может быть получен непосредственно из воды при температуре  $+60^{\circ}\text{C}$  и давлении 16 500 атм.

Обычный лёд 1 выпадает в виде атмосферных осадков, в Кунгурской пещере в Пермской области встречается в виде крупных кристаллов. На земной поверхности при уплотнении снега образует ледники. В холодное время лёд образуется на поверхности водоемов, причем в тихую спокойную погоду все кристаллы главной ось  $L_6$  ориентируются вертикально.

*Диагностика.* Очень-очень низкий показатель преломления и низкий удельный вес. Прозрачность, холодность, легкоплавкость.

*Генезис.* Экзогенный

*Спутники.* Любые минералы могут быть спутниками.

*Полезные свойства.* Холодильное дело. Бытовые нужды.

## Тип. III. Класс 4. Силикаты

### Группа талька-пирофиллита

10. **Тальк** –  $\text{Mg}_3[\text{Si}_4\text{O}_{10}] (\text{OH})_2$ ; сингония моноклиная;  $a = 5,27$ ;  $b = 9,13$ ;  $c = 18,88$ .

*Химия.*  $\text{MgO} = 31,7\%$ ,  $\text{SiO}_2 = 63,5\%$ ,  $\text{H}_2\text{O} = 4,8\%$ .

*Физические свойства.* Цвет белый, иногда с зеленоватым или желтоватым оттенком. Блеск стеклянный, перламутровый. Тв. 1. Уд. в.  $= 2,7-2,8$ .  $N_g = 1,589$ ;  $N_m = 1,589-1,594$ ;  $N_p = 1,538-1,550$ . Спайность совершенная. Листочки гибкие, но не упругие.

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Встречается в листоватых и чешуйчатых агрегатах. Плотные массы известны под названием мыльный камень.

*Диагностика.* Жирный на ощупь. Низкая твердость. Главные линии на рентгенограммах: 9,25-3,104-1,525. Кривая нагревания (рис. 5) имеет эндотермический пик при 1000°C.

*Генезис.* Образуется при гидротермальном изменении ультраосновных пород.

*Спутники.* Доломит, магнезит, серпентинит, актинолит.

*Полезные свойства.* Кислотно- и огнеупорный материал, смазка. Пудра.

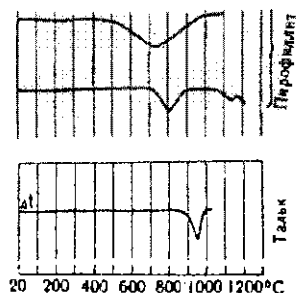


Рис. 5. Кривые нагревания талька и пиррофиллита [9]

11. **Пиррофиллит** –  $\text{Al}_2 [\text{Si}_4\text{O}_{10}] (\text{OH})_2$ ; сингония моноклинная,  $a = 5,14$ ;  $b = 8,90$ ;  $c = 18,55$

*Химия.*  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 28,3 \%$ ,  $\text{SiO}_2 = 66,7 \%$ ,  $\text{H}_2\text{O} = 5,0 \%$ .

*Физические свойства.* Цвет белый, чуть зеленоватый. Блеск стеклянный. Спайность совершенная. Тв. 1. Уд. Вес = 2,6–2,9. Листочки гибки, но не упруги.

*Морфология кристаллов и агрегатов.* В скрытокристаллических разновидностях похож на каолинит и тальк. Реже образует мелкочешуйчатые агрегаты.  $N_g = 1,600$ ;  $N_m = 1,588$ ;  $N_p = 1,552$ ;

*Диагностика.* Жирный на ощупь. Листочки гибки, но не упруги. Парагенезис иной по сравнению с тальком. Главные линии на рентгенограммах: 3,045(10)-2,403(8)-1,489(9)-1,381(9).

*Генезис.* Гидротермальное воздействие на породы, обогащенные глиноземом.

*Спутники.* Андалузит, дистен, каолинит, кварц.

*Полезные свойства.* Как заменитель талька.



## Группа глинистых минералов

**12. Гидромусковит.** Из группы гидрослюд. Синоним – иллит. Описан Джонстоном в 1889 году.

Лишние названия: гешвитцит, гигантолит, гизекит, глимерит, глимертон, гумболит, гюмбелит, иллит, иллидромика, либенерит, парофит, серицит, шилкинит, шербакит, зуфиллит.

Сингония моноклиная.

$a = 5,16-5,22$ ;  $b = 8,96-9,04$ ;  $c = 19,7-21,0$  (для  $2M_1$  и  $2M_2$ )

$a = 5,17-5,23$ ;  $b = 8,94-9,08$ ;  $c = 9,9-10,3$  (для  $1M$ )

$a = 5,16-5,20$ ;  $b = 8,94-9,00$ ;  $c = 29,0-30,9$  (для  $3T$ ).

Параметры элементарной ячейки для политипных разновидностей  $1M$ ,  $2M_1$ ,  $2M_2$  и  $3T$  приведены по Б.Б. Звягину.

*Химия.* Кристаллохимическая формула в общем виде может быть написана следующим образом в сопоставлении с мусковитом:

Мусковит  $KAl_2 [Si_3AlO_{10}] (OH)_2$

Гидромусковит  $K, (H_3O) R_2^{+3} [(Si, Al)_4O_{10}] (OH)_2 \cdot nH_2O$ , причем калий может быть частично замещен натрием, кальцием и аммонием, в малых количествах рубидием и цезием;  $R^{3+}$  может быть представлено  $Al$ ,  $Fe^{3+}$ , а в малых количествах также ванадием, хромом и титаном;

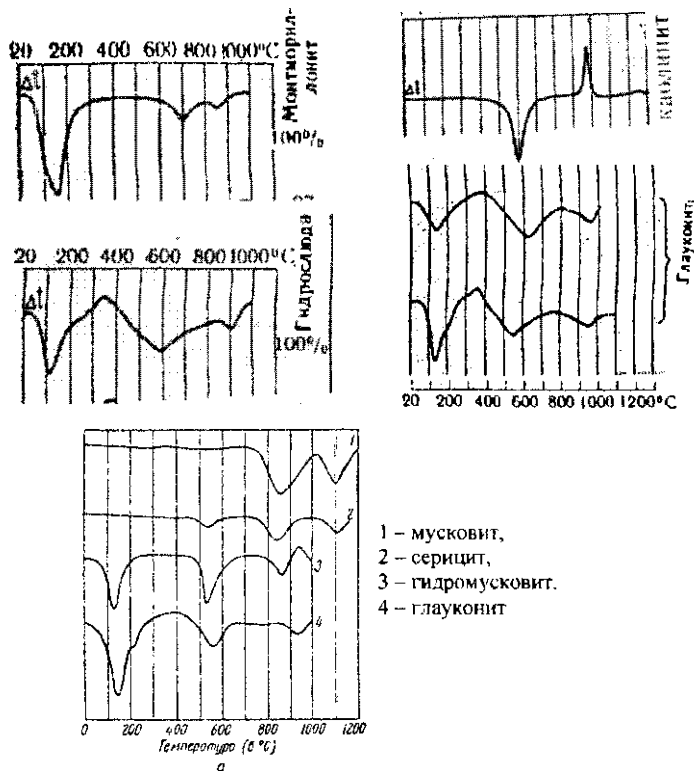
По результатам 92 анализов химический состав гидромусковитов варьирует следующим образом:

$SiO_2$	43,5–52,2	Среднее 48,6
$Al_2O_3$	17,0–39,0	29,9
$Fe_2O_3$	0–15,7	3,3
$FeO$	0–3,4	0,7
$MgO$	0–4,4	1,7
$CaO$	0–6,4	0,5
$K_2O$	0,80–10,2	7,0
$Na_2O$	0–5,9	1,1
$TiO_2$	0–1,1	0,3
$H_2O^+$	4,5–8,0	6,3

*Физические свойства.* Цвет для глинистых минералов, к которым относятся гидрослюды, не является показательным, поскольку глины всегда окрашены посторонними примесями. В чрезвычайно редких случаях мономинеральных образцов цвет будет белый или светлых тонов. Тв. низкая. Уд. вес = 2,6–2,9.

**Морфология кристаллов и агрегатов** Для гидромусковита характерны очень тонкодисперсные выделения, такие же, как и у остальных минералов глин.  $N_m = 1,550-1,630$ ;  $N_g-N_p = 0,020-0,055$

**Диагностика.** Как и для других глинистых минералов, главными показателями являются кривые нагревания и рентгенометрические данные. Термограммы приведены на рис. 6, а главными линиями на рентгенограммах являются: 4,47(9)-3,33(6)-2,58(10)-2,42(5)-1,995(6)-1,502(8).



**Рис. 6.** Кривые нагревания монтмориллонита, гидрослюда, каолинита [9], глауконита [9, 4], мусковита, серицита, гидромусковита [4]

**Генезис.** Образуется при химическом выветривании слюды и полевых шпатов, из коллоидов в морской воде и как продукт диagenеза других глинистых минералов.

*Спутники.* Остатки неразложившихся при выветривании силикатов, другие глинистые минералы, карбонаты.

*Полезные свойства.* Может быть использован для получения стерильной воды.

**13. Гидробиотит.** Из группы гидрослюд.

$(K, H_3O)(Mg, Fe^{2+})_3[(Si, Al)_4O_{10}](OH)_2 \cdot nH_2O$

Сингония монокл.  $a = 5,28$ ;  $b = 9,16$ ;  $c = 20,2$  (для  $2M_1$ )

Лишние названия: люкасит, маконит, фолидолит. Впервые описан в 1873 г. Гентом, а в 1882 г. Штрауфом как биотитоподобный минерал, содержащий избыток воды. Впоследствии Грюнер (Грюнер, 1934 г) использовал этот термин для обозначения минерала, содержащего беспорядочно переслаивающиеся слои слюды и вермикулита. Целесообразно сохранить за гидробиотитом тот смысл, который вкладывали первооткрыватели. Во всяком случае, при замещении калия до 10% водородно-кислородными группировками появление вермикулитовых прослоев не происходит.

*Химия.*

SiO <sub>2</sub>	36,96 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,75
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,49
FeO	7,89
MgO	16,65
CaO	0,53
K <sub>2</sub> O	7,40
Na <sub>2</sub> O	0,51
TiO <sub>2</sub>	1,61
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	4,97
MnO	0,16
F	0,47

*Физические свойства.* Цвет гидробиотита желтовато-коричневый. Тв. 2,5. Уд. в. = 2,9–3,0. Спайность совершенная.

Надежно определить гидробиотит, как и другие гидрослюды, можно только по рентгенограммам и кривым нагревания. У гидробиотитов сохраняется спектр линий, как у биотита: 10-3,35-2,62-2,435-2,175-1,998 Å.

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Листоватые агрегаты

*Диагностика.* Форма агрегатов, цвет, рентгеновский спектр линий.

*Генезис.* Экзогенный

*Спутники.* Полевые шпаты, мусковит, роговая обманка.

*Полезные свойства.* Изоляционные свойства, но в чистом виде, как минерал, не используется.

**14. Глауконит** –  $K_{0,7}(H_3O)_{0,15} (Al_{0,47}, Fe^{3+}_{0,97})(Mg_{0,4}, Fe_{0,19}^{2+}) [(Si_{3,65}, Al_{0,35}O_{10}) (OH)_2$

Сингония моноклиная:  $a = 5,24$ ;  $b = 9,07$ ;  $c = 20,03$

*Химия.* среднее в % (по Ныrkову [6])

SiO <sub>2</sub>	49,83
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,67
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,48
FeO	2,70
MgO	4,18
CaO	0,60
MnO	0,02
K <sub>2</sub> O	7,32
Na <sub>2</sub> O	0,47
TiO <sub>2</sub>	0,10
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	6,01

*Физические свойства.* Цвет зеленый различных оттенков. Блеск матовый. Тв. 2–3, Уд. в. = 2,2–2,9. Оптические свойства: двухосный отрицательный,  $N_g = 1,586$ – $1,638$ ;  $N_m = 1,582$ – $1,630$ ;  $N_p = 1,559$ – $1,608$ ;  $N_g - N_p = 0,020$ – $0,030$ ;  $2V = 15$ – $65^\circ$ .

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Встречается в виде землистых комочков, шаровидных, почковидных, иногда выполняет ядра раковин.

*Диагностика.* Форма агрегатов, цвет и как для всех глинистых минералов рентген и термика.

*Генезис.* Типично аутигенный диагенетический минерал.

*Полезные свойства.* Дешевая краска, хороший адсорбент, минеральное удобрение.

**15. Каолинит.**  $Al_4[Si_4O_{10}] (OH)_8$

Сингония моноклиная:  $a = 5,15$ ;  $b = 8,92$ ;  $c = 14,53$

*Химия.*  $Al_2O_3 = 39,5\%$ ,  $SiO_2 = 46,5\%$ ,  $H_2O = 14,0\%$ .

*Физические свойства.* Белый. Блеск матовый. Спайность совершенная. Тв. 1, Уд. в. = 2,58–2,63.  $N_g = 1,566$ ;  $N_m = 1,565$ ;  $N_p = 1,561$ .

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Скрытокристаллические землистые массы.

*Диагностика.* Главные линии на рентгенограммах: 7,14(10)-3,57(10)-2,338(8)-1,487(10)-1,283(7)-1,126(8). Термическая кривая имеет четкие эффекты при 600° – эндотермический и при 970° – экзотермический.

*Генезис.* Образуется при выветривании алюмосиликатов.

*Спутники.* Кварц, кальцит, гидрослюда.

*Полезные свойства.* Огнеупорный материал в керамике.

**16. Монтморилонит** от  $\text{Na}_{0,33}\text{Al}_{1,67}\text{Mg}_{0,33}[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  до  $\text{Na}_{0,33}\text{Al}_{2,17}[\text{Al}_{0,83}\text{Si}_{3,17}\text{O}_{10}](\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$

Сингония моноклинная:  $a = 5,17$ ;  $b = 8,094$ ;  $c = 15,2$  (при нагревании до 400° уменьшается до 9,6, а при увлажнении увеличивается до 28 кХ).

*Химия.*  $\text{SiO}_2 = 35,95\text{--}53,95\%$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 0,14\text{--}29,90\%$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 0,03\text{--}29,0\%$ ,  $\text{MgO} = 0,23\text{--}25,89\%$ ,  $\text{H}_2\text{O} = 11,96\text{--}26,0\%$ ,

*Физические свойства.* Цвет белый с сероватым, буроватым и зеленоватым оттенком. Тв. 2. Уд.в. = 2,2–2,9.  $N_g\text{--}N_m = 1,508\text{--}1,511$  до 1,615;  $N_p = 1,484\text{--}1,490$  до 1,575. Главные линии на рентгенограммах: 15,3(10)-4,50(10)-3,07(10)-2,55(10)-1,497(10).

На кривой нагревания отмечается большой эндотермический эффект при 160° и второй и третий поменьше при 700° и 870°.

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Землистые массы.

*Диагностика.* Определяется по рентгенограммам и термограммам.

*Генезис.* Образуется при выветривании эффузивных пород, образуя бентонитовые глины.

*Полезные свойства.* Хороший адсорбент.

## Группа хлоритов

Кривые нагревания хлоритов приведены на рис. 7.

**17. Клинохлор**  $(\text{Mg}_5\text{Al})(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_8$

*Химия.*  $\text{MgO} = 17,0\text{--}34,5\%$ ,  $\text{FeO} = 1,8\text{--}12,5\%$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 0\text{--}3\%$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 13,1\text{--}17,6\%$ ,  $\text{SiO}_2 = 28,3\text{--}33,9\%$ ,  $\text{H}_2\text{O} = 11,7\text{--}14,2\%$

*Физические свойства.* Цвет травянисто-зеленый, оливково-зеленый. Блеск перламутровый. Тв. 2–2,5. Уд. в. = 2,61–2,78. Двухосный положительный,  $N_g = 1,57\text{--}1,59$ ;  $N_g\text{--}N_p = 0,004\text{--}0,010$ ;  $N_m = 1,56\text{--}1,58$ ;  $N_p = 1,56\text{--}1,58$

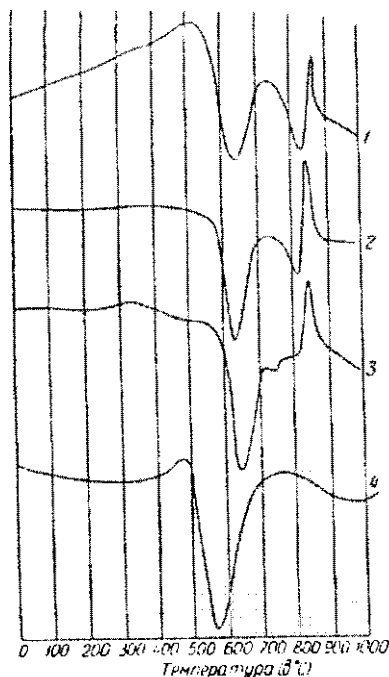
*Морфология кристаллов и агрегатов.* Чешуйчатые зернистые агрегаты.

*Диагностика.* Главные линии на рентгенограммах: 3,53(10)-1,998(9)-1,535(10)-1,393(10). Листочки гибки, но не упруги.

*Генезис.* Метаморфический

*Спутники.* Другие хлориты.

*Полезные свойства.* В бумажной промышленности для придания блеска бумаге.



**Рис. 7. Кривые нагревания хлоритов [4]: 1 – прохлорито-корундофиллитовая подгруппа, 2 – пеннинно-иллинохлоровая подгруппа, 3 – магниально-железистые хлориты, 4 – железистые хлориты**

### 18. Пеннин $(\text{Mg}, \text{Fe})_5\text{Al}[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH})_8$

*Химия.*  $\text{MgO} = 17,4\text{--}35,9\%$ ,  $\text{FeO} = 0,7\text{--}17,4\%$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 0\text{--}5,7\%$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 13,8\text{--}21,3\%$ ,  $\text{SiO}_2 = 29,8\text{--}33,7\%$ ,  $\text{H}_2\text{O} = 11,5\text{--}14,6\%$

*Физические свойства.* Цвет бутылочно-зеленый разных оттенков. Блеск перламутровый. Тв. 2–2,5. Уд. в.=2,6–2,85.  $N_g = 1,57\text{--}1,58$ ;  $N_m = 1,57\text{--}1,58$ ;  $N_p = 1,57$ ;  $N_g - N_p = 0,004$ .

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Чешуйчатые и пластинчатые агрегаты. Листочки гибки, но не упруги.

*Диагностика.* Окраска. Гибкость, но не упругость листочков. Главные линии на рентгенограммах: 14,3(6)-7,17(10)-4,78(10)-3,585(10)-2,867(6).

*Генезис.* Метаморфический

*Полезные свойства.* В бумажной промышленности для придания блеска бумаге.

**19. Шамозит**  $\text{Fe}^{2+}_5\text{Al}[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH})_8$

*Химия.*  $\text{FeO} = 34,3\text{--}42,3\%$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 0,6\%$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 13\text{--}20,1\%$ ,  $\text{SiO}_2 = 22,8\text{--}29\%$ ,  $\text{H}_2\text{O} = 10\text{--}13\%$

*Физические свойства.* Цвет зеленовато-серый до черного. Блеск матовый. Тв. 3. Уд. в. = 3,03–3,40. Двуосный, отрицательный.  $N_g\text{--}N_p = 0,010\text{--}0,012$ ,  $N_m = 1,62\text{--}1,66$ ;

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Оолитовые стяжения с концентрическим строением, сплошные землистые массы.

*Диагностика.* Зеленоватая черта, оолитовое строение. Главные линии на рентгенограммах: 7,04(10)-3,513(100)-2,796(9)-2,514(9).

*Генезис.* Образуется осадочным путем в прибрежных зонах морей при недостатке кислорода.

*Спутники.* Пирит, сидерит.

*Полезные свойства.* Руда на железо.

---

## **Глава 3.**

# **ВОДНОРАСТВОРИМЫЕ МИНЕРАЛЫ**

---

В геологии существует понятие соляные породы, куда входят в основном соли калия, натрия, магния и кальция серной и соляной кислот, в меньшей степени карбонаты щелочных металлов и нитраты калия и натрия. Наибольшего развития солеобразование достигало во времена и в областях завершения интенсивных движений Земной коры — каледонской, герцинской и альпийской складчатости. По времени это приходится на девонский, пермский и третичный периоды.

К воднорастворимым минералам относится большинство минералов из классов галогенидов (хлоритов) и сульфатов, а также некоторые из карбонатов, иодатов и боратов. Они образуют так называемые соляные породы или эвалориты. В соляных месторождениях встречено около 70 минералов, но породообразующими из них являются лишь 20. Они образуются как правило в засушливом климате в морских отшнурованных от моря лагунах или на суше в озерах.

Для лагунных отложений характерны галит, сильвин, карналлит, бишофит, каинит, ангидрит, эпсомит, гексагидрит, астраханит, полигалит, гипс, кизерит, а также карбонаты: доломит, кальцит, магнезит и, наоборот, всегда отсутствуют термонатрит, сода, гейлюсит, нортунит, буркеит. Последние как раз типичны для континентальных озерных осадков также как глауберит, тенардит, мирабилит. А вот сильвин, карналлит, каинин и бишофит для озерных осадков не характерны.

Для лагунных осадков выявлена последовательность образования, т.е. порядок осаждения минералов из воды: гипс — галит — эпсомит, гексагидрит — сильвин — карналлит — бишофит. Известно, что растворимость, как и выпадение в осадок, зависит от температуры воды и давления пара в растворе, а также от природы и концентрации присутствующих компонентов. На типы солей, образующихся в испаряющихся морских бассейнах, влияют следующие факторы: деятельность микроорганизмов, взаимодействие рассола с обломочным материалом и донными породами, ин-



фильтрация пресной воды, температурные изменения в осадочном бассейне, диагенетические изменения осадков.

Говоря об условиях осаждения различных солей следует учитывать три положения:

а) правило Нернста: растворимость соли падает в присутствии другой, содержащей общий ион с первой;

б) правило Нойеса: растворимость соли повышается от присутствия другой, не имеющей общих ионов с первой;

в) законы Вант-Гоффа и Курнакова: последовательность выпадения солей из растворов определяется для данных термодинамических условий соответствующей диаграммой физико-химического равновесия.

В морской воде содержится 78,03 % NaCl, 9,21 %  $MgCl_2$ , 6,53 %  $MgSO_4$ , 3,48 %  $CaSO_4$ , 2,11 % KCl, что в сумме составляет 99,31 %. Как видим, отмечается явное преобладание всего шести элементов: натрия, магния, кальция, калия, хлора и серы. В некоторых месторождениях присутствуют борагы – бура, борацил, калиборит, улесит.

Насыщенный раствор солей в количестве, превышающем их содержание в морской воде, называют рассолом или рапой. Они образуются в отдельных замкнутых водоемах, подвергающихся усиленному испарению. Примерами таких водоемов могут служить озеро Баскунчак и залив-лагуна Кара-Богаз-Гол, где соленость достигает 300 промилле (‰).

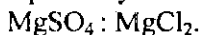
Нормальная последовательность отложения солей при естественном испарении морской воды:

- кремнистые минералы и гидроокислы железа и алюминия;
- карбонаты кальция и магния;
- гипс;
- галит;
- эпсомит, астраханит, затем полигалит;
- сильвин, гексагидрит, полигалит и галит
- карналлит, гексагидрит, галит, гипс;
- бишофит, карналлит, гексагидрит, галит, гипс, карбонаты магния.

Соляные породы содержат примеси. Нерастворимый остаток обычно составляет 5–10 %. Среди минералов нерастворимого в воде остатка преобладает ангидрит и далее в порядке убывания

количественного содержания доломит, кальцит, магнезит, пирит, кварц, лимонит, гематит, сера, барит, глинистые минералы.

Существует понятие «метоморфизация растворов», под которым понимают изменение химического состава при вторичных процессах замещения хорошо растворимых минералов менее растворимыми. Для характеристики этих изменений предложен коэффициент метаморфизации соляных растворов, равный отношению сульфата магния к хлористому магнию



Среднее содержание солей в современных океанах равно 35 г/л, однако соленость не везде одинакова. Так в Белом море она равна 26 г/л, в Красном море 42 г/л, в то время как в отшнурованных лагунах достигает 300 г/л. В течение года на дне образуется осадок соли до 10 см.

Циркулирующие в Земной коре воды могут растворять некоторые соли, обогащаясь теми или иными компонентами. В группу минеральных вод выделяют воды, которые в силу своих химических или физических особенностей оказывают физиологическое воздействие на человеческий организм. Примером может служить минеральная вода Ессентуки-4, содержащая в мг/л: натрия – 2486; калия – 9,9; магния – 55,9; кальция – 149,3; бария – 2,36; железа – 6,67; хлора – 1687; брома – 4,05; йода – 1,0;  $\text{CO}_2$  – 5625.

#### **Растворимость солей в воде**

(при комнатной температуре), в мг/л

из «Справочное руководство по петрографии осадочных пород»

$\text{Fe}(\text{OH})_3$	0,151
$\text{Fe}(\text{OH})_2$	0,600
$\text{Al}(\text{OH})_3$	1,04
$\text{Mn}(\text{OH})_2$	1,80
$\text{MnCO}_3$	65,0
$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	195,0
$\text{CaHPO}_4$	136,0
То же в присутствии $\text{CO}_2$	561,0
$\text{CaCO}_3$	214,0
То же в присутствии $\text{CO}_2$	455,0
$\text{MgCO}_3$	214,0
$\text{CaSO}_4$	2014,0
$\text{NaCl}$	264000,0
$\text{MgCl}_2$	353000,0

### Тип III. Класс 6. Сульфаты

Кривые нагревания сульфатов приведены на рис. 8 [10.]

20. **Астраханит** --  $\text{Na}_2\text{Mg}[\text{SO}_4]_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ; монокл. с.,  $a = 11,4$ ;  $b = 8,15$ ;  $c = 5,49$ ;

*Химия.*  $\text{Na}_2\text{O} = 18,6 \%$ ,  $\text{SiO}_2 = 22,8-29 \%$ ,  $\text{H}_2\text{O} = 21,5 \%$ ,  $\text{SO}_3 = 47,9 \%$ ,  $\text{MgO} = 12,0 \%$ .

*Физические свойства.* Бесцветен или белый с сероватым, желтоватым, красноватым оттенком, иногда красный, черный. Блеск стеклянный. Тв. 3, Уд. в.  $\approx 2,2-2,3$ . Легко растворяется в воде, вкус горько-соленый. При  $100^\circ$  теряет часть воды, следующие две молекулы при  $120^\circ$  и последняя при  $200^\circ\text{C}$ .  $N_g = 1,487$ ;  $N_m = 1,487$ ;  $N_p = 1,483$ . Главные линии на рентгенограммах: 2,785(10)-2,644(9)-1,862(10)-1,680(8)-1,138(8)-1,066(8). Кривые нагревания на рис. 5.

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Кристаллы редки. Обычно сплошные плотные зернистые массы.

*Диагностика.* Показатели преломления и рентгенограмма.

*Генезис.* Химический осадок горько-соленых озер.

*Спутники.* Галит, тенантит.

*Полезные свойства.* Получение магнезии. Используется в химической, текстильной, бумажной промышленности. Месторождения в Астраханской обл., Крыму и Казахстане.

21. **Гексагидрит** --  $\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  монокл. с.,  $a = 10,04$ ;  $b = 7,15$ ;  $c = 24,34$ ;

*Химия.*  $\text{MgO} = 17,64 \%$ ,  $\text{H}_2\text{O} = 47,32 \%$ ,  $\text{SO}_3 = 35,04 \%$ .

*Физические свойства.* Цвет белый, иногда с зеленоватым оттенком. Блеск перламутровый. Тв. 2, Уд. в.  $= 1,75$ . Легко растворяется в воде. Оптические свойства:  $N_g = 1,456$ ;  $N_m = 1,453$ ;  $N_p = 1,426$ ;  $2V = 38^\circ$ . Главные линии на рентгенограммах: 4,40(10)-2,98(8)-2,67(4)-2,28(4)-2,00(5)-1,87(6).

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Встречаются в толсто-таблитчатых копьевидных кристаллах или волокнистых массах.

*Диагностика.* Горько-соленый вкус, двупреломление, рентгеновский спектр линий.

*Генезис.* Водноосадочный при температуре  $48-69^\circ\text{C}$ . При более низких  $t^\circ$  возникает эпсомит, при более высоких — кизерит.

*Спутники.* Сильвин, полигалит, галит.

*Полезные свойства.* Используется в химической промышленности и в фармацевтической. Встречается в Сакском озере, Крыму, Астраханской обл.

**22. Каинит** –  $\text{KMg}(\text{SO}_4)\text{Cl}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$  монокл. с.,  $a = 19,09$ ,  $b = 16,24$ ,  $c = 9,86$ .

*Химия.*  $\text{MgO} = 16,1 \%$ ,  $\text{K}_2\text{O} = 18,9 \%$ ,  $\text{SO}_3 = 32,1 \%$ ,  $\text{Cl} = 14,3 \%$ ,  $\text{H}_2\text{O} = 21,8 \%$ .

*Физические свойства.* Цвет желтовато- или серовато-белый. Блеск стеклянный. Тв. 2. Уд.в. = 2,1. Хрупкий.  $N_g = 1,516$ ,  $N_m = 1,505$ ,  $N_p = 1,494$ .

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Чаще всего в виде зернистых агрегатов, реже образует призматические кристаллы.

*Диагностика.* Легко растворяется в воде, солоновато-горький вкус. Негигроскопичен.

*Генезис.* Водноосадочный морского происхождения.

*Спутники.* Карналлит, кизерит.

*Полезные свойства.* Используется в химической промышленности для получения К и Mg.

**23. Кизерит** –  $\text{MgSO}_4\cdot \text{H}_2\text{O}$  монокл. с.,  $a = 6,89$ ,  $b = 7,69$ ,  $c = 7,65$ .

*Химия.*  $\text{MgO} = 29,0 \%$ ,  $\text{SO}_3 = 58,0 \%$ ,  $\text{H}_2\text{O} = 13,0 \%$

*Физические свойства.* Бесцветный, серовато-белый. Блеск стеклянный. Тв. 3,5. Уд. в. = 2,57. Двухосный положительный;  $N_g = 1,584$ ,  $N_m = 1,533$ ,  $N_p = 1,520$ ,  $2V = 55^\circ$ .

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Сплошные зернистые массы.

*Диагностика.* Растертый в порошок и смешанный с водой твердеет подобно алебастру.

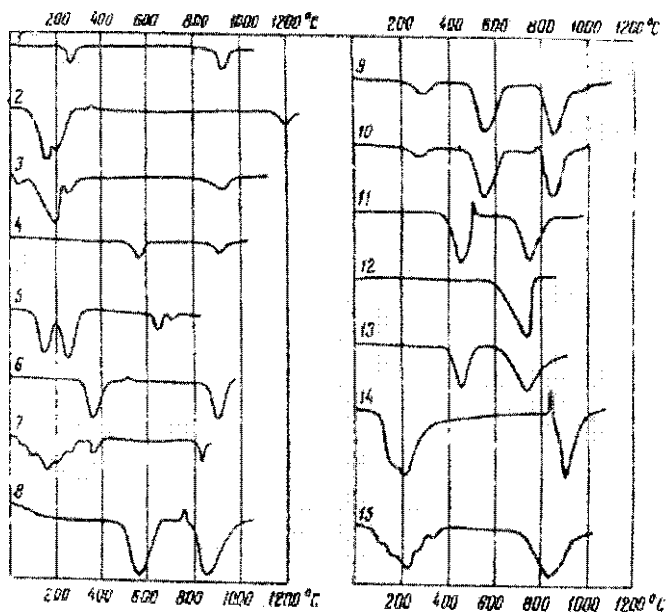
Главные линии на рентгенограммах: 4,82(4)-3,38(10)-2,55(7)-2,05(4)

От похожих на него эпсомита и каинита отличается по оптическим свойствам. Теряет воду при  $200^\circ\text{C}$ .

*Генезис.* Водноосадочный, выпадает выше  $18^\circ\text{C}$ .

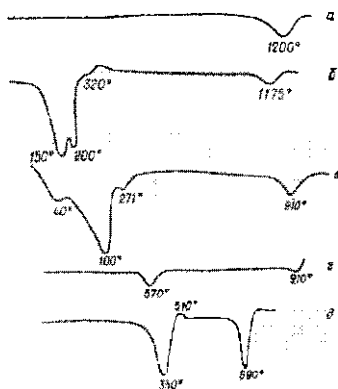
*Спутники.* Гипс, ангидрит, галит, полигалит, эпсомит, карналлит, сильвин.

*Полезные свойства.* Применяется в химической промышленности для получения горькой соли (эпсомита), которая используется в текстильной, сахарной, бумажной и фармацевтической отраслях.



Дифференциальные кривые нагрева  
сульфатных минералов (10)

1 - тенардит  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ; 2 - гипс  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ; 3 - мирабилит  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ; 4 - глауберит  $\text{Na}_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2$ ; 5 - астраханит  $\text{Na}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ; 6 - полигалит  $\text{K}_2\text{MgCa}(\text{SO}_4)_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ; 7 - энсмит  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ; 8 - адулит  $\text{KAl}_3(\text{SO}_4)_6 \cdot (\text{OH})_6$ ; 9 - абсидит  $\text{KAl}_3(\text{SO}_4)_6(\text{OH})_6 \cdot 1.5\text{H}_2\text{O}$ ; 10 - смесь адулит + абсидит; 11 - яролит  $\text{KFe} \cdots [\text{SO}_4]_4(\text{OH})_6$ ; 12 - сульфат трехвалентного железа безводный  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ; 13 - натрийорнит  $\text{NaFe} \cdots [\text{SO}_4]_4(\text{OH})_6$  (искусств.); 14 - алюминит  $\text{Al}_3[\text{SO}_4]_6(\text{OH})_6 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ; 15 - алюминоген  $\text{Al}_3(\text{SO}_4)_6 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$



а - ангидрит, б - гипс, в - мирабилит, г - глауберит, д - полигалит (3)

Рис. 8. Кривые нагрева сульфатов [10, 3]

24. **Эпсомит** (синоним – горькая соль) –  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  ромбич. с.,  $a = 11,94$ ,  $b = 12,03$ ,  $c = 6,865$ .

*Химия.*  $\text{MgO} = 16,3 \%$ ,  $\text{SO}_3 = 32,5 \%$ ,  $\text{H}_2\text{O} = 51,2 \%$

*Физические свойства.* Белый, иногда бесцветный и прозрачный. Блеск стеклянный. Спайность совершенная. Излом раковистый. Тв. 2–2,5. Уд. в.=1,68. Очень хрупкий.  $N_g = 1,461$ ,  $N_m = 1,455$ ,  $N_p = 1,433$ ,  $2V = 50^\circ$ . Главные линии на рентгенограммах: 5,9(3)-5,3(3)-4,22(10)-2,96(3)-2,87(3)-2,66(7)

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Кристаллы призматические, игольчатые и волокнистые, налеты, выцветы и сплошные зернистые массы.

*Диагностика.* Горький солоноватый вкус.

*Генезис.* Водноосадочный, образуется при температуре выше  $13^\circ\text{C}$ .

*Спутники.* Галит, кизерит, мирабилит, астраханит, гипс.

*Полезные свойства.* Применяется в химической, текстильной, бумажной промышленности.

25. **Ангидрит** –  $\text{CaSO}_4$ . Ромбич. с.,  $a = 6,23$ ,  $b = 6,97$ ,  $c = 6,98$ .

*Химия.*  $\text{CaO} = 41,2 \%$ ,  $\text{SO}_3 = 58,8 \%$ .

*Физические свойства.* Цвет серый или голубоватый. Блеск перламутровый. Тв. 3–3,5. Уд. в.=2,90–2,98. Спайность совершенная.  $N_g = 1,614$ ,  $N_m = 1,575$ ,  $N_p = 1,570$ . Главные линии на рентгенограммах: 3,49(10)-2,85(8)-2,32(6)-2,20(6)-1,86(7)-1,64(8)

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Массивные, зернистые массы, иногда листоватые.

*Диагностика.* Высокое двупреломление. Рентгеновский спектр линий.

*Генезис.* Водноосадочный. Типичный представитель соляных пород. Выпадает в осадок при температуре больше  $63^\circ\text{C}$ , реже гидротермальный. Иногда встречается в вулканических областях, где образуется как возгон горячих растворов.

*Спутники.* Гипс, галит, кизерит, борацит.

*Полезные свойства.* Плотные разности употребляются как поделочный камень, но основная масса идет на производство вяжущих веществ (алебастр).

26. **Буркеит** –  $\text{Na}_6(\text{SO}_4)_2\text{CO}_3$ . Ромбич. с.,  $a = 5,17$ ,  $b = 9,23$ ,  $c = 7,06$ .

*Химия.*  $\text{Na}_2\text{O} = 47,7 \%$ ,  $\text{SO}_3 = 41,0 \%$ ,  $\text{CO}_2 = 11,3 \%$

**Физические свойства.** Цвет белый и светло-бурый. Блеск стеклянный. Тв. 3,5. Уд. в.=2,57. Излом раковистый.  $N_g = 1,493$ ,  $N_m = 1,489$ ,  $N_p = 1,448$ ,  $2V=34^\circ$ .

Главные линии на рентгенограммах:

3,50(6)-2,81(10)-2,62(7)-1,91(9)-1,77(6)-1,472(6).

**Морфология кристаллов и агрегатов.** Сплошные зернистые массы и таблотчатые кристаллы.

**Диагностика.** Двупреломление и рентгеновский спектр линий.

**Генезис.** В континентальных озерных осадках, а в лагунных не встречается.

**Спутники.** Тенардит, мирабилит, сода, термонаитрит.

**Полезные свойства.** Ввиду редкости практического значения не имеет.

**27. Глазерит** —  $K_3Na(SO_4)_2$ . Тригонал. с.,  $a = 5,66$ ,  $c = 7,30$ .

**Химия.**  $K_2O = 42,6\%$ ,  $Na_2O = 9,3\%$ ,  $SO_3 = 47,9\%$ .

**Физические свойства.** Цвет белый. Блеск стеклянный. Растворим в воде. Тв. 3–3,5. Уд. в.=2,63–2,69.  $N_g = 1,496$ ,  $N_p = 1,490$ . Главные линии на рентгенограммах: 4,07(6)-3,18(6)-2,90(10)-2,06(8)-1,65(6).

**Морфология кристаллов и агрегатов.** Встречается в виде налетов, корок и в натечных формах.

**Диагностика.** Рентгеновские данные.

**Генезис.** Встречается в соляных озерах, а также как продукт вулканических эксгаляций в лавах.

**Спутники.** Термонаитрит, мирабилит.

**Полезные свойства.** Изредка добывается для химической промышленности.

**28. Глауберит** —  $Na_2Ca(SO_4)_2$ . Монокл. с.,  $a = 10,01$ ,  $b = 8,21$ ,  $c = 8,43$ .

**Химия.**  $Na_2O=22,3\%$ ,  $CaO=20,1$ ,  $SO_3=57,6\%$ .

**Физические свойства.** Бесцветен, желтоватый, серый. Блеск стеклянный. Тв. 2,5–3. Уд. в.=2,7–2,8. Вкус горько-солёный.  $N_g = 1,536$ ,  $N_m = 1,535$ ,  $N_p = 1,515$ ,  $2V=7^\circ$ . Главные линии на рентгенограммах: 6,22(8)-3,134(10)-2,799(7)-2,660(8).

**Морфология кристаллов и агрегатов.** Таблитчатые кристаллы, сплошные тонкоскорлуповатые массы.

**Генезис.** Химический осадок озер.

*Спутники.* Галит, бура, селитра.

*Полезные свойства.* Важный и распространенный компонент соляных месторождений для химической промышленности.

29. **Гипс** –  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Монокл. с.,  $a = 4,68$ ,  $b = 15,18$ ,  $c = 6,29$ .

*Химия.*  $\text{CaO} = 32,57 \%$ ,  $\text{SO}_3 = 46,50 \%$ ,  $\text{H}_2\text{O} = 20,93 \%$

*Физические свойства.* Бесцветный или белый, сероватый и желтоватый. Блеск стеклянный. Спайность совершенная.  $N_g = 1,530$ ,  $N_m = 1,528$ ,  $N_p = 1,520$ ,  $2V = 58^\circ$ . Тв. 1,5 (чертится ногтем). Весьма хрупок. Уд. в. = 2,3. Обладает заметной растворимостью в воде при её повышении с нагревом до  $38^\circ\text{C}$ , затем растворимость падает. При  $120\text{--}140^\circ\text{C}$  переходит в полугидрат, называемый штукатурным гипсом (алебастром) с  $0,5 \text{ H}_2\text{O}$ .

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Таблитчатые кристаллы, часто образуют двойники «ласточкин хвост», в пустотах образуют друзы, а также сплошные зернистые массы.

*Диагностика.* Твердость, двойники, хорошая спайность.

*Генезис.* Морской химический осадок. Продукт гидратации ангидрита и окисления сульфидов.

*Спутники.* Ангидрит, галит, кизерит, арагонит.

*Полезные свойства.* Способность к лепке в полубожеженном виде, цементирующий материал (алебастр).

30. **Мирабилит** (глауберова соль) –  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ . Монокл. с.,  $a = 11,48$ ,  $b = 10,35$ ,  $c = 12,82$ .

*Химия.*  $\text{Na}_2\text{O} = 19,24 \%$ ,  $\text{SO}_3 = 24,85 \%$ ,  $\text{H}_2\text{O} = 55,91 \%$

*Физические свойства.* Бесцветный, белый. Блеск стеклянный. Тв. 1,5–2. Уд. в. = 1,49. Спайность совершенная.  $N_g = 1,398$ ,  $N_m = 1,396$ ,  $N_p = 1,394$ . Вкус горько-солёный. Главные линии на рентгенограммах: 5,5(10)–4,80(5)–3,22(7)–3,10(7)–2,52(5).

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Кристаллы длинно-призматические до игольчатых, а также сплошные зернистые массы и корочки.

*Диагностика.* Низкий удельный вес и низкие показатели преломления. От соды отличается тем, что от соляной кислоты не выделяет углекислоты.

*Генезис.* Типичный озерный осадок и продукт горячих источников, образует также выцветы на почве. Самосадочные озера Нижнего Поволжья, Кара-Богаз-Гол и др.



*Спутники.* Тенардит, глазерит, астраханит, гипс, галит.

*Полезные свойства.* Важное сырье для получения соды по методу Леблана (сплавлением с известняком и углем), а также в стекольной и фармацевтической промышленности.

**31. Полигалит** —  $K_2Ca_2Mg(SO_4)_4 \cdot 2H_2O$ . Триклин. с., a:b:c = 0,7176:1:0,4657.

*Химия.*  $K_2O=15,6\%$ ,  $MgO=6,6\%$ ,  $CaO=18,6\%$ ,  $SO_3=53,2\%$ ,  $H_2O=6,0\%$

*Физические свойства.* Цвет белый с сероватым оттенком, иногда кирпично-красный от присутствия чешуек гематита. Блеск стеклянный. Тв. 2,5–3. Уд. в. = 2,72–2,78.  $N_g = 1,567$ ,  $N_m = 1,562$ ,  $N_p = 1,548$  Главные линии на рентгенограммах: 4,80(1)–3,175(5)–2,912(10)–2,830(10)

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Волокнисто-шестоватые плотные массы.

*Диагностика.* Форма агрегатов, красный цвет, линии на рентгенограммах.

*Генезис.* Типичный химический морской осадок.

*Спутники.* Галит, ангидрит, эпсомит, кизерит.

*Полезные свойства.* Используется для изготовления калийных минеральных удобрений.

**32. Тенардит** —  $Na_2SO_4$ . Ромбич. с., a=5,85, b=12,29, c = 9,75.

*Химия.*  $Na_2O=43,7\%$ ,  $SO_3=56,3\%$

*Физические свойства.* Бесцветный, прозрачный. Блеск стеклянный. Тв. 2,5–3. Уд. в. = 2,66. Хрупкий.  $N_g = 1,485$ ,  $N_m = 1,474$ ,  $N_p = 1,464$ . Растворяется в воде. Вкус солоноватый. Главные линии на рентгенограммах: 4,62(8)–3,10(8)–2,82(10)–1,860(8)–1,275(6)

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Зернистые агрегаты. Иногда образует крестообразные двойники.

*Диагностика.* Двойники. Линии на рентгенограммах.

*Генезис.* Химический осадок озёр, выцветы почв. Выпадает в осадок при температуре выше 32,5 °C (ниже образуется мирабилит).

*Спутники.* Сода, селитра, бораты, мирабилит, астраханит, галит, гипс.

*Полезные свойства.* Вместе с мирабилитом применяется в стекольной, содовой и др. отраслях.

## Тип IV. Класс 2. Хлориды

Кривые нагревания хлоридов приведены на рис. 9.

33. **Бишофит** –  $\text{MgCl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . Монокл. с.,  $a = 9,92$ ,  $b = 7,16$ ,  $c = 6,11$ .

*Химия.*  $\text{Mg} = 11,8 \%$ ,  $\text{Cl} = 35,0 \%$ ,  $\text{H}_2\text{O} = 53,2 \%$

*Физические свойства.* Бесцветный, белый. Блеск стеклянный. Тв. 1–2. Уд. в. = 1,6. Сильно гигроскопичен. Легко плавится на воздухе. Очень легко растворяется в воде. Вкус жгучий, горький.  $N_g = 1,528$ ,  $N_m = 1,507$ ,  $N_p = 1,494$ .  $2V = 79^\circ$ . Кривые ДТА на рис. 4. Главные линии на рентгенограммах: 4,10(10)-2,88(5)-2,72(8)-2,65(10)-2,23(8)-1,84(9)

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Кристаллы призматические и игольчатые, чаще волокнистые агрегаты.

*Диагностика.* Растворяемость в воде и спирте. Плавление при комнатной температуре.

*Генезис.* Конечный продукт при усыхании рапы.

*Спутники.* Галит, карналлит, кизерит.

*Полезные свойства.* Устраняет боли при отложении солей, используется при изготовлении цемента Сореля и огнеупорных изделий.

34. **Галит** –  $\text{NaCl}$

*Химия.*  $\text{Na} = 39,4 \%$ ,  $\text{Cl} = 60,6 \%$

*Физические свойства.* Прозрачен и бесцветен, но часто примесями бывает окрашен. Блеск стеклянный. Тв. 2. Уд. в. = 2,1–2,2. Спайность совершенная по кубу. Легко растворим в воде. Вкус солёный.

*Оптические свойства:* Изотропный.  $N = 1,544$ . Главные линии на рентгенограммах: 2,88-1,990-1,259-1,449

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Сплошные зернистые массы, иногда налёты и корочки.

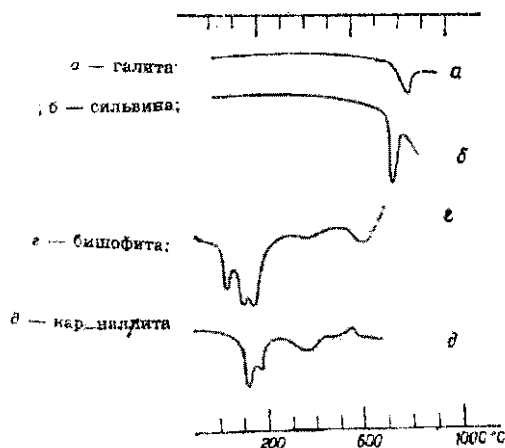
*Диагностика.* Солёный вкус, спайность по кубу.

*Генезис.* Водно-осадочный в озёрах и лагунах.

*Спутники.* Все минералы соляных отложений: сульфаты, карбонаты.

*Полезные свойства.* Солёный вкус – применение в пищевой промышленности, а также для получения натрия и хлора.

## Кривые ДТА



**Рис. 9. Кривые нагревания хлоридов [3]**

### 35. **Сильвин** – KCl

*Химия.* K = 52,5 %, Cl = 47,5 %/

*Физические свойства.* Водянопрозрачный и бесцветный, но примеси обуславливают различную окраску. Блеск стеклянный. Тв. 1,5–2. Хрупкий. Уд. в. = 1,98. Изотропный. N = 1,490. Легко растворяется в воде. Вкус горько-солёный. Главные линии на рентгенограммах: 3,158-2,225-1,403-1,045

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Сплошные зернистые массы. Кристаллы имеют притупленность на углах куба за счет комбинации с октаэдром.

*Диагностика.* Вкус острый горько-солёный. Гигроскопичен.

*Генезис.* Водноосадочный в лагунах и озерах.

*Спутники.* Галит, карналлит и др.

*Полезные свойства.* Получение калийных удобрений, использование калия в медицине и парфюмерии.

### 36. **Карналит** – $MgCl_2 \cdot KCl \cdot 6H_2O$ . a = 9,54, b = 16,02, c = 22,52.

*Химия.* Mg = 8,7 %, K = 14,1 %, Cl = 38,3 %,  $H_2O$  = 38,9 %

*Физические свойства.* Белый и бесцветный в чистом виде и бывает окрашен гематитом в красные оттенки. Блеск стеклянный. Спайности нет, излом раковистый. Тв. 2–3. Уд. в. = 1,60. Хрупкий.

$N_g = 1,494$ ,  $N_m = 1,475$ ,  $N_p = 1,466$ . Очень гигроскопичен. Сильно флюоресцирует.

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Сплошные зернистые массы.

*Диагностика.* Острый горько-солёный вкус. При сверлении острием ножа слышен специфический скрип. При растворении в воде слышен треск наподобие хруста снега под ногами.

*Генезис.* Водно-осадочный в отшнурованных морских заливах. Характерен для верхних горизонтов соляных месторождений как продукт последних стадий усыхания бассейна.

*Спутники.* Гипс, ангидрит, галит, полигалит, кизерит, эпсомит, каинит.

*Полезные свойства.* Важнейшая руда на калий и магний для химпрома и удобрений.

### Тип III. Класс 9. Карбонаты

37. **Нортупит** –  $\text{Na}_3\text{Mg}(\text{CO}_3)_2\text{Cl}$ , кубич. с.,  $a = 14,02 \text{ \AA}$

*Физические свойства.* Цвет белый, жёлтый, серый. Блеск стеклянный. Тв. 3,5–4. Уд. в. = 2,38. Показатель преломления  $N = 1,514$ . Главные линии на рентгенограммах: 8,0(8)-2,48(10)-2,09(10). Легко плавится.

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Установлен в форме октаэдрических кристаллов.

*Диагностика.* Форма кристаллов, рентгенограмма.

*Генезис.* Встречен в озере в Калифорнии.

*Полезные свойства.* Применения не имеет.

38. **Натрон** (сода) –  $\text{Na}_2(\text{CO}_3) \cdot 10\text{H}_2\text{O}$

*Химия.*  $\text{Na}_2\text{O} = 21,6 \%$ ,  $\text{CO}_2 = 15,4 \%$ ,  $\text{H}_2\text{O} = 63,0 \%$

*Физические свойства.* Бесцветный, белый или серый цвет. Блеск стеклянный. Тв. 1–1,5. Уд. в. = 1,42–1,47.  $N_g = 1,440$ ,  $N_m = 1,425$ ,  $N_p = 1,405$ . Оптически отрицательный  $2V = 71^\circ$ . Легко растворяется в воде. Главные линии на рентгенограммах: 5,3(7)-4,03(5)-2,89(10)-2,80(8)

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Сплошные зернистые массы, корки, налёты.

*Диагностика.* Легко растворима в воде. От  $\text{HCl}$  вскипает. При слабом нагревании растворяется в собственной воде.

*Генезис.* Химический озёрный осадок. Осаждается в холодный период, в тёплое время осаждается термонаритрит.

*Спутники.* Термонаритрит, мирабилит, тенардит.

*Полезные свойства.* Ценный химический продукт в стекольной, мыловаренной и др. отраслях промышленности.

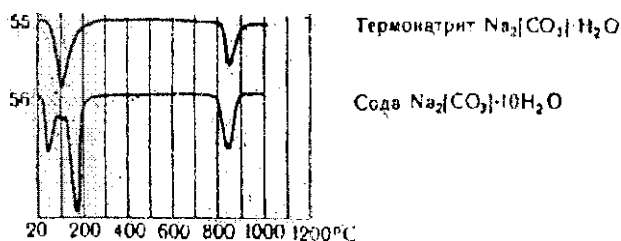


Рис. 10. Кривые нагревания соды и термонаритрита [9]

### 39. Термонаритрит – $\text{Na}_2(\text{CO}_3) \cdot \text{H}_2\text{O}$

*Физические свойства.* Бесцветный или слабо окрашен в желтоватый и серый цвет. Блеск стеклянный. Тв. 1–1,5. Уд. в. = 1,55. Оптически отрицательный  $2V = 48^\circ$ .  $N_g = 1,524$ ,  $N_m = 1,506$ ,  $N_p = 1,420$ .  $N_g - N_p = 0,104$ . Главные линии на рентгенограммах: 2,755(10)–2,670(8)–2,461(7)–2,359(9)–1,997(7)–1,606(8)

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Сплошные зернистые массы, корочки, налёты.

*Диагностика.* Высокое двупреломление. Легко растворяется в воде. Вскипает с HCl. Кривые нагревания.

*Генезис.* Водноосадочный, в озёрах осаждается при температуре выше  $35^\circ$ .

*Спутники.* Сода, гипс.

*Полезные свойства.* Применение: так же, как сода.

### 40. Гейлюссит – $\text{Na}_2\text{Ca}(\text{CO}_3)_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ . a:b:c = 1,4892:1:1,4442.

*Физические свойства.* Цвет белый или желтоватый. Блеск стеклянный. Тв. 2–3. Уд. в. = 1,94.  $N_g = 1,523$ ,  $N_m = 1,516$ ,  $N_p = 1,444$ .  $N_g - N_p = 0,079$ . Спайность совершенная. Легко плавится в белую эмаль и окрашивает пламя в интенсивно жёлтый цвет. Бурно реагирует с соляной кислотой. На воздухе расплывается. Главные линии на рентгенограммах: 6,41(10)–3,176(8)–2,699(8)–2,611(8)–2,486(7)

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Кристаллы вытянуты и клиновидны, но они редки. Обычно же гейлюссит встречается в

сплошных зернистых массах вместе с другими минералами содовых озёр.

*Диагностика.* Высокое двупреломление, линии на рентгенограммах. Вскипает с HCl.

*Генезис.* Водноосадочный, в содовых озёрах.

*Спутники.* Мирабилит, сода, тенардит, термонарит.

*Полезные свойства.* Вместе с содой используется в химической промышленности.

### Тип III. Класс 8. Бораты

41. **Бура** –  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  или  $\text{Na}_2 [\text{B}_2^4\text{B}_2^3\text{O}_5(\text{OH})_4] 8\text{H}_2\text{O}$

Монокл. с.;  $a = 11,84$ ,  $b = 10,63$ ,  $c = 12,32$ .

*Химия.*  $\text{Na}_2\text{O} = 16,2 \%$ ,  $\text{B}_2\text{O}_3 = 36,6 \%$ ,  $\text{H}_2\text{O} = 47,2 \%$

*Физические свойства.* Цвет белый. Блеск стеклянный. Тв. 2–2,5. Уд. в. = 1,7.  $N_g = 1,472$ ,  $N_m = 1,470$ ,  $N_p = 1,447$ . Главные линии на рентгенограммах: 6,90(7)–5,74(7)–4,84(9)–3,91(7)–2,81(9)–2,574(10)

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Зернистые массы, цветы, корочки.

*Диагностика.* Рентгеновский спектр линий. Сплавляется в прозрачный шарик.

*Генезис.* Образуется в усыхающих соляных озёрах.

*Спутники.* Галит, глауберит, гипс, селитра.

*Полезные свойства.* Применяется для добычи бора.

42. **Гидроборацит** –  $\text{CaMg}(\text{B}_6\text{O}_{11}) \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

или  $\text{CaMg}(\text{H}_2\text{O})_3[\text{B}_2\text{BO}_4(\text{OH})_3]_2$

Монокл. с.;  $a = 11,71$ ,  $b = 6,69$ ,  $c = 8,20$ .

*Химия.*  $\text{B}_2\text{O}_3 = 49,5 \%$ ,  $\text{CaO} = 13,9 \%$ ,  $\text{MgO} = 9,9 \%$ ,  $\text{H}_2\text{O} = 26,7 \%$

*Физические свойства.* Бесцветный или белый, реже окрашен в розовый, красный или серый цвет. Блеск стеклянный. Тв. 2. Уд. в. = 2,17.  $N_g = 1,571$ ,  $N_m = 1,534$ ,  $N_p = 1,522$ ,  $2V = 66^\circ$ . Главные линии на рентгенограммах: 4,54(5)–2,438(10)–2,210(6)–1,973(6)–1,908(8)

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Лучисто-листоватые, спутано-волокнистые, параллельно-волокнистые агрегаты. Кристаллы имеют игольчатый облик

*Диагностика.* Рентгеновский спектр линий.

*Генезис.* Химический озёрный осадок.  
*Спутники.* Гипс, другие бораты, ангидрит  
*Полезные свойства.* Содержит бор, применяется для его получения.

### Тип III. Класс 10. Нитраты

#### 43. **Na-селитра, нитронатрит, натронитрит** - $\text{NaNO}_3$

Тригон. с.;  $a = 6,49$ ,  $\alpha = 102^\circ 49'$

*Химия.*  $\text{Na}_2\text{O} = 36,5\%$ ,  $\text{N}_2\text{O}_5 = 63,5\%$ .

*Физические свойства.* Цвет белый, красновато-бурый или жёлтый. Блеск стеклянный. Тв. 1,5–2. Уд. в. = 2,27  $N_g = 1,585$ ,  $N_p = 1,337$ ,  $N_m - N_p = 0,248$ . Главные линии на рентгенограммах: 3,03(10)-2,31(6)-1,89(6)-1,65(3)

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Сплошные зернистые массы.

*Диагностика.* Растворимость в воде. Гигроскопичность. Двупреломление.

*Генезис.* Не очень ясен, но связан с разложением органических веществ.

*Спутники.* Гипс, мирабилит, галит.

*Применение.* Для получения азотной кислоты, пороха и удобрений.

#### 44. **K-селитра, нитрокалит, калинитрит** - $\text{KNO}_3$

Ромбич. с.;  $a = 5,43$ ,  $b = 9,19$ ,  $c = 6,46$ .

*Химия.*  $\text{K}_2\text{O} = 46,5\%$ ,  $\text{N}_2\text{O}_5 = 53,5\%$ .

*Физические свойства.* Цвет белый. Блеск стеклянный. Тв. 2. Уд. в. = 2,1.  $N_g = 1,506$ ,  $N_m = 1,505$ ,  $N_p = 1,335$ . Главные линии на рентгенограммах: 3,77(10)-3,03(6)-2,66(5)-2,19(5)

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Встречается в виде рыхлых корочек и выплетов, а также в виде сплошных зернистых масс.

*Диагностика.* Не гигроскопичен. Растворим в воде. Рентгеновский спектр линий

*Генезис.* Биогенный. Образуется при разложении органики.

*Спутники.* Гипс, галит, мирабилит.

*Полезные свойства.* Содержит азот и калий. Служит для удобрения почв, приготовления пороха и азотной кислоты.

---

## Глава 4.

# МИНЕРАЛЫ – ПРИРОДНЫЕ АДсорбЕНТЫ

---

Экологическая обстановка во всём мире, также как и в нашей стране, является неблагоприятной и требует значительного улучшения. Для этого целесообразно использовать природные минеральные адсорбенты, свойства которых позволяют применять их для улучшения окружающей среды. В одних случаях они участвуют непосредственно в очистке воздушной, водной и твёрдой среды, в других – влияют на неё косвенно. В зависимости от характера использования объектов (адсорбент, мелиорант, катализатор и т.д.) и области применения (водоснабжение, земледелие, скотоводство и др.) формируются особые методы их исследования помимо тех, которые присущи общей минералогии.

Экологическая минералогия изучает полезные свойства минералов, например способность сорбировать ядохимикаты, поглощать радиоактивные изотопы, улучшать структуру почв, снижать слеживаемость, активизировать полезную микрофлору, уничтожать неприятные запахи и т.д.

Почему мы обращаем свой взор на природные очистители, т.е. на минеральное сырьё? Ведь существуют прекрасные искусственные адсорбенты – очистители окружающей среды. Их возможности не хуже, чем возможности природных объектов. Дело в том, что они дороги и дефицитны. Например, стоимость ионообменных смол больше стоимости природных цеолитов или глауконитов в 150–200 раз при приблизительно равной эффективности.

К адсорбентам предъявляют самые разнообразные требования: адсорбция, хорошая избирательность, достаточная прочность гранул, лёгкая регенерация, каталитическая активность, способность активизироваться самим и др. (табл. 4).

Самыми эффективными адсорбентами среди минерального сырья являются цеолиты. Мировая добыча природных цеолитов превысила 7 млн тонн. Эта группа минералов представлена водными алюмосиликатами щелочных или щелочноземельных металлов, каркас кристаллической решётки которых построен из кремнекислотных тетраэдров, связанных в цепочки и кольца. При этом часть атомов кремния замещена алюминием. В результате такого



строения во внутрикристаллическом пространстве цеолитов образуется система соединенных между собой микрополостей, в которых располагаются молекулы воды и обменные катионы.

**Таблица 4**

**Классификация природных сорбентов по внутреннему строению и характеру адсорбции (по Дастанову и Михайлову)**

Группы	Подгруппы	Характер преобладающей адсорбции	Вид сырья
Кристаллические	Каркасные	Молекулярная адсорбция, катионный обмен	Цеолит
	Ленточные	Ионный обмен	Полигорскит
	Слоистые разбухающие	Ионный обмен	Монтмориллонит
	Слоистые неразбухающие	Катионный обмен	Глауконит, вермикулит
Аморфные	Силикатные	Молекулярная адсорбция	Опаловые породы: трепел, опока, диатомит, перлит
	Алюмо-силикатные	То же	Аллофан

Пористая открытая микроструктура цеолитов определяет их полезные свойства: адсорбционные, молекулярно-ситовые, ионообменные и каталитические. Цеолиты, обезвоженные путем нагревания, приобретают способность адсорбировать из газовой фазы молекулы, которые по своим размерам не превышают размеров каналов, соединяющих внутрикристаллические микрополости. В водной среде цеолиты легко обменивают свои катионы на другие, находящиеся в растворе, причем делают это избирательно. При определенных условиях адсорбированные молекулы могут быть удалены, а обменные катионы заменены другими, что приводит к регенерации цеолитов. Обработкой растворами солей, щелочей и кислот можно целенаправленно изменять их свойства применительно к поставленным задачам.

Цеолиты имеют широкий спектр практического использования в народном хозяйстве. В промышленности они находят применение как молекулярные сита для фильтрации молекул и в качестве катионитов в производственных процессах ионного обмена.

на. В области охраны окружающей среды используют в следующих целях:

- очистка городских промышленных сточных вод от аммонийного азота, токсических ионов тяжелых металлов, меди, свинца, кадмия, от нефтепродуктов;
- очистка газов от оксидов серы и азота, от паров ртути;
- очистка от радионуклидов в очагах радиоактивного заражения;
- в животноводческих помещениях внесение цеолита в подстилку снижает % аммиака и устраняет запах;
- в рыбоводстве удаляет аммоний – яд для рыб.

Бентониты – это тонкодисперсные пластичные глины, главной составной частью которых является минерал монтмориллонит, который относится к алюмосиликатам слоистой структуры. Кроме того, обычной примесью являются аморфный кремнезем и цеолиты. У монтмориллонита строение кристаллической решетки таково, что между трехслойными пакетами, состоящими из двух тетраэдрических слоев и одного октаэдрического, находятся Na, Ca, Mg в межпакетном пространстве. Там же располагаются и молекулы воды, могущие расширять решетку – разбухание. Благодаря такому строению, монтмориллониты (смектиты), а следовательно, и бентониты в целом, обладают хорошей ионообменной способностью и адсорбцией.

Наиболее чистые разности монтмориллонитовых глин не уступают по полезным свойствам лучшим синтетическим адсорбентам и они, также как и последние, дефицитны и дороги. Бентонит с острова Понца (Италия) стоит в 7 раз дороже, чем самая лучшая железная руда. Многие страны, и мы в том числе, импортируют итальянскую глину. 60 % добываемых бентонитов использует черная металлургия, литейное производство и буровая техника (промывка скважин).

Как природные сорбенты бентониты используются:

- в химической промышленности – очистка продуктов органического синтеза;
- в нефтехимической – очистка нефтепродуктов и как осушители;
- в пищевой – осветление вин, соков, сиропов;
- в масложировой – рафинирование масел;

- в очистке лекарств и медпрепаратов;
- в качестве катализаторов – в синтезе каучука, спиртов, в крекинге нефти;
- для очистки сточных вод;
- для очистки радиоактивных отходов.

Бентониты являются важным источником повышения продуктивности земледелия и животноводства: добавка в песчаные почвы, аккумуляторы минеральных удобрений, суспенгаторы жидких удобрений, биостимуляторы роста животных и птиц.

Монмориллонит описан под № 16.

Перлит. В настоящее время очень актуальной проблемой является очистка водных акваторий от плавающей нефти. При этом не все даже хорошие сорбенты могут быть использованы, так как возникает опасность потопления частиц адсорбента вместе с поглощенной нефтью. Во избежание этого применяют перлит – стекловатые вулканические породы кислого состава. При нагреве до 500° перлит вспучивается и становится очень легким – плавает в воде. 1 г перлита поглощает 5–7 г нефти.

Помимо этого перлит используют как фильтры для очистки питьевой воды, соков, сиропов, антибиотиков, растительных масел.

Глаукониты. Глауконит – это минерал из класса алюмосиликатов, относится к группе гидрослюд. Он имеет переменный химический состав, встречается в виде землистых округлых комочков – микроконкреций. Его много в Саратовской и Ростовской областях. Это – природный сорбент и нетрадиционное полезное ископаемое многоцелевого назначения, т.е. такое, на которое пока нет установленных государственных стандартов и технических условий. Вот примеры эффективности его применения:

- повышение урожайности овощных культур – 30 %;
- повышение продуктивности в рыбоводных прудах – 70 %;
- уменьшение радиоактивности (стронций, цезий) – в 50–200 раз;
- очистка сточных вод от ядохимикатов и пестицидов – в 10–12 раз.

Глаукониты можно рассматривать как постепенно действующее естественное комплексное минеральное удобрение при выращивании ряда сельскохозяйственных культур, как химический

и структурный мелиорант для повышения плодородия почв, а также как компонент улучшения биохимических условий и увеличения продуктивности рыбохозяйственных водоемов.

Применение глауконитов экологически оправдано. Обеспечивая растения необходимыми элементами питания и оказывая на почву разностороннее мелиоративное воздействие, глаукониты стимулируют жизнедеятельность и численность полезной микрофлоры, а также способны поглощать различные вредные вещества. Питательные элементы в сколь-нибудь значительных количествах не подвергаются вымыванию из глауконитов и не смываются с полей дождевыми и талыми водами, что не вызывает накопления токсикантов в грунтовых и поверхностных водах и не приводит к нарушению природных экосистем.

**Поглощение катионов металлов из дренажной воды, %**

Металл	Глауконит аютинский	Активированный уголь	Бентонит тарасовский
Ni	100	100	100
Co	100	100	100
Ag	100	100	96,4
Cu	88,2	68,2	77,3
V	95,6	94,0	88,0
Mo	87,8	86,1	33,3
Sn	95,6	93,5	98,9
Li	83,9	74,2	—
Ti	81,3	78,1	91,3
Fe	—	54,6	87,2
Bi	90,5	83,3	97,1
Mn	84,8	69,4	82,8
Pb	100	100	100
	pH = 6,4	pH = 6,5	pH = 6,6

Опоки, трепел, диатомиты представляют собой кремнистые породы, в которых главной составной частью является аморфный кремнезем, т.е. минералоид опал  $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ . Он составляет основную массу породы и остатки скелетов микроорганизмов и водорослей. В диатомитах их больше всего. Они пористы, плавают в воде. Опока содержит минимум органических остатков, а трепел промежуточное и по удельному весу и по количеству скелетов организмов.

Трепел, опоки и диатомиты являются адсорбентами и используются в пищевой и нефтяной промышленности для очистки сахара, сиропа, масел и самой нефти.

Трепел и особенно диатомит используют в качестве добавки к портланд-цементу для придания антикоррозионных свойств в соленой воде.

Низкая звуко- и теплопроводность, малый объемный вес и огнеупорность побуждает использовать их в строительном деле. Кроме того, кремниевые абразивные пасты применяют для полировки.

Трепел используется в производстве динамита.

Опал описан под № 9.

## Цеолииты

Это алюмосиликаты кальция и натрия, в меньшей мере калия или бария. Кривые нагревания приведены на рис. 11.

45. **Морденит** (птилолит) -  $(\text{Na}_2, \text{K}_2, \text{Ca})\text{Al}_2\text{Si}_{10}\text{O}_{24} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ .

Ромбич. с.  $a = 18,29$ ,  $b = 20,39$ ,  $c = 7,52$ .

*Химия.*  $\text{Na}_2\text{O} = 2,39\text{--}3,86\%$ ,  $\text{K}_2\text{O} = 0\text{--}0,50\%$ ,  $\text{CaO} = 3,02\text{--}3,72\%$ ,  $\text{MgO} = 0,28\text{--}0,98\%$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 0\text{--}1,12\%$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 11,07\text{--}13,21\%$ ,  $\text{SiO}_2 = 64,62\text{--}67,22\%$ ,  $\text{H}_2\text{O} = 13,87\text{--}14,33\%$ .

*Физические свойства.* Белый, сероватый, буроватый. Блеск стеклянный. Тв. 4–5. Уд. в. = 2,15.  $N_g = 1,475\text{--}1,489$ .  $N_m = 1,472\text{--}1,485$ ,  $N_p = 1,471\text{--}1,483$ . Главные линии на рентгенограммах: 8,83(10)–6,54(8)–4,48(8)–3,50(10)–3,37(7)–3,20(10). Хрупок.

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Игольчатые, тонковолокнистые агрегаты, лучистые сферолиты. Ватообразные.

*Диагностика.* От других похожих минералов отличается по оптическим и рентгенометрическим данным.

*Генезис.* Образуется при температуре 230–150° в лавах, а также в морских осадках при взаимодействии чловых вод с терригенным материалом.

*Спутники.* Другие цеолиты.

*Полезные свойства.* Очистка питьевой и сточной воды, молекулярное сито. Катализатор при получении бензина из нефти.

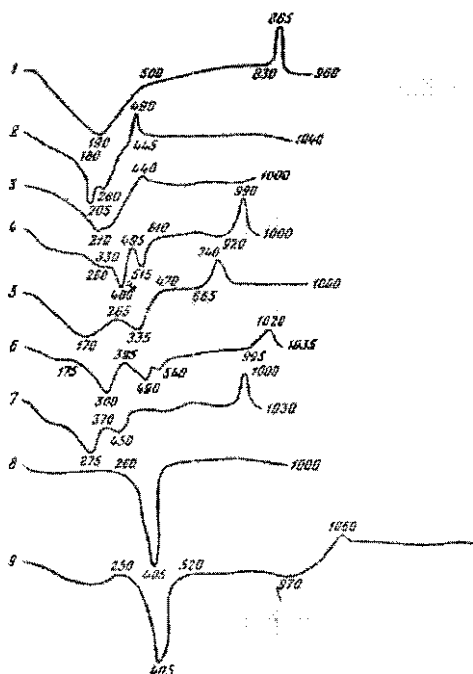


Рис. 11. Дифференциальные кривые нагревания цеолитов [5]:  
1 – шабазит, 2 – гейландит, 3 – десмин, 4 – томсонит, 5 – гармотом,  
6 – мезолит № 2, 7 – мезолит № 1, 8 – натролит, 9 – продукт нагрева  
натролита до 730° повторно (после экзотермического пика 1060° – кривая  
охлаждения до 580°)

#### 46. Гейландит (клиноптилолит) – $\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_7\text{O}_{18}) \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ .

Монокл. с.  $a = 17,71$ ,  $b = 17,84$ ,  $c = 7,46$ .

Химия.  $\text{Na}_2\text{O} = 0,75\text{--}2,95\%$ ,  $\text{K}_2\text{O} = 0\text{--}2,74\%$ ,  $\text{CaO} = 5,51\text{--}7,18\%$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 0\text{--}2,55\%$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 12,44\text{--}17,76\%$ ,  $\text{SiO}_2 = 56,8\text{--}61,8\%$ ,  $\text{H}_2\text{O} = 15,42\text{--}15,78\%$ .

Физические свойства. Цвет белый, желтый, кирпично-красный. Тв. 3,5–4. Уд. в. = 2,2.  $N_g = 1,500\text{--}1,512$ ,  $N_m = 1,493\text{--}1,503$ ,  $N_p = 1,491\text{--}1,505$ . Хрупок. Спайность совершенная. Главные линии на рентгенограммах: 8,81(8)–5,11(7)–4,67(6)–3,969(10)–3,425(5)–2,963(9), для клиноптилолита: 9,40(8)–8,67(10)–7,93(4)–5,11(4)–4,67(4)–3,95(10)

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Табличатые, изометричные, псевдотетрагональные кристаллы, для клиноптилолита — плотные сплошные микрокристаллические массы.

*Диагностика.* Форма кристаллов, рентгеновский спектр линий.

*Генезис.* В пустотах базальта, эффузивный.

*Спутники.* Десмин.

*Полезные свойства.* Способность клиноптилолита служить катионным ситом с селективным извлечением цезия из растворов. Ионообменные свойства.

**47. Хабазит** (шабазит) —  $\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_6)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ .

Тригон. с.  $a = 13,78$ ,  $c = 15,0$ .

*Химия.*  $\text{Na}_2\text{O} = 6,1 \%$ ,  $\text{CaO} = 5,5 \%$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 20,0 \%$ ,  $\text{SiO}_2 = 47,2 \%$ ,  $\text{H}_2\text{O} = 21,2 \%$ .

*Физические свойства.* Белый, реже мясокрасный. Тв. 4–5. Уд. в. = 2,125.  $N_g = 1,48$ –1,49,  $N_m = 1,48$ .

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Кристаллы изометричные, псевдокубические в форме ромбоэдров.

*Диагностика.* Ромбоэдрическая форма кристаллов.

*Генезис.* В пустотах базальтов и других эффузавов.

*Спутники.* Филипсит и другие цеолиты.

*Полезные свойства.* Адсорбция.

**48. Анальцим** —  $\text{Na}(\text{AlSi}_2\text{O}_6) \cdot \text{H}_2\text{O}$ .

Кубич. с.  $a = 13,7\text{\AA}$ .

*Химия.*  $\text{Na}_2\text{O} = 14,09 \%$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 23,2 \%$ ,  $\text{SiO}_2 = 54,5 \%$ ,  $\text{H}_2\text{O} = 8,2 \%$ .

*Физические свойства.* Бесцветный, прозрачный, белый с оттенками. Блеск стеклянный. Тв. 5–5,5. Уд. в. = 2,3.  $N = 1,48$ –1,49. Главные линии на рентгенограммах: 5,61(8)–3,43(10)–2,925(8).

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Обычно встречается в виде кристаллов, похожих на лейцит.

*Диагностика.* Форма кристаллов, но от лейцита отличается по оптическим свойствам. Хрупок. Нет спайности.

*Генезис.* Высокотемпературный цеолит, но может образовываться и в экзогенном процессе.

*Спутники.* Натролит и другие цеолиты.

*Полезные свойства.* Обмен катионами.

49. **Фоязит** (фожазит) —  $\text{Na}_2\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12}]_2 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$ .

Куб. с.  $a = 24,65 \text{ \AA}$ .

*Химия.*  $\text{Na}_2\text{O} = 4,8 \%$ ,  $\text{CaO} = 4,4 \%$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 15,9 \%$ ,  
 $\text{SiO}_2 = 46,8 \%$ ,  $\text{H}_2\text{O} = 28,1 \%$ .

*Физические свойства.* Бесцветный. Тв. 5. Уд. в. = 1,92.  
 $N = 1,43$ . Главные линии на рентгенограммах: 15,02(10)-5,68(8)-  
4,35(8)3,75(9).

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Кристаллы в форме октаэдров.

*Диагностика.* Форма кристаллов, рентгеновский спектр линий.

*Генезис.* Эвфузивный. Встречается в базальтах.

*Спутники.* Авгит, оливин.

*Полезные свойства.* Важное молекулярное сито.

50. **Гармотом** —  $(\text{K}_2\text{Ba})\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{16} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ .

Монокл. с.  $a = 9,82$ ,  $b = 14,13$ ,  $c = 8,68$ .

*Химия.*  $\text{BaO} = 20,6 \%$ ,  $\text{K}_2\text{O} = 2,1 \%$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 16,0 \%$ ,  
 $\text{SiO}_2 = 47,1 \%$ ,  $\text{H}_2\text{O} = 14,1 \%$ .

*Физические свойства.* Цвет белый, бесцветный. Тв. 4,5.  
Уд. в. = 2,50.  $N_g = 1,508-1,514$ ,  $N_m = 1,505-1,509$ ,  $N_p = 1,503-1,506$ . Главные линии на рентгенограммах: 8,11(10)-7,18(10)-  
6,25(10)-4,07(10)-3,18(10)

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Часто в виде взаимно прорастающих двойников и радиально-лучистых агрегатов.

*Диагностика.* Двойники, оптические свойства.

*Генезис.* В пустотах базальта и в гидротермальных грилах.

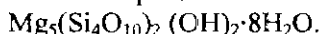
*Спутники.* Кальцит, галенит, кварц, др. цеолиты.

*Полезные свойства.* Адсорбент.

## Другие силикаты

Кривые нагревания приведены на рис. 12.

51. **Пальгорскит.** Минерал переменного состава и недостаточно изучен. Считается промежуточным типом между ленточными и слоистыми силикатами. Формула по последним данным может быть написана таким образом:





Сингония ромбическая или моноклонная

$a = 13,4$ ,  $b = 18,0$ ,  $c = 5,2$ .

При описании его называли горная кожа, горная пробка, горное дерево, горное мясо. Высоко порист, плавает в воде. Сухой поглощает много воды. При нагревании до  $220^\circ\text{C}$  постепенно теряет до 15 % воды, затем обезвоживание прекращается и вновь наступает при  $370\text{--}410^\circ\text{C}$  — 5–6 %  $\text{H}_2\text{O}$ . Перед паяльной трубкой плавится в пузырчатое молочное стекло.

*Химия.*  $\text{SiO}_2 = 49,72\text{--}56,52\%$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 7,12\text{--}17,01\%$ ,  $\text{MgO} = 4,6\text{--}16,86\%$ ,  $\text{H}_2\text{O} = 19,42\text{--}26,14\%$ .

*Физические свойства.* Цвет белый с желтоватым, буроватым или серым оттенком. Тв. 2–2,5. Уд. в. = 2–2,3.  $N_g = 1,512\text{--}1,555$ ,  $N_p = 1,504\text{--}1,520$ ,  $N_g\text{--}N_p = 0,007\text{--}0,025$ . Главные линии на рентгенограммах: 10,2(10)–4,3(10)–3,25(10)–2,55(10)–1,49(4)–1,25(4)

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Сплошные глиноподобные массы, при увлажнении сметанообразные, но не разбухающие, после высыхания фарфоровидные, часто спутановолокнистые, войлокоподобные агрегаты. Под микроскопом ясное волокнистое строение.

*Диагностика.* Войлочное строение, растворяется в  $\text{H}_2\text{SO}_4$  с выделением  $\text{SiO}_2$ , в отличие от асбеста легко плавится, на термических кривых 3 эффекта: эндотермический максимум при  $160^\circ\text{C}$  — выделение адсорбционной воды, при максимуме  $270^\circ$  — выделение цеолитной воды и при максимуме  $495^\circ$  — выделение гидроксильной воды, а при  $800^\circ$  образуется энстатит.

*Генезис.* Образуется при гидролизе серпентинитов, при взаимодействии карбонатных растворов с кремнеземом при  $\text{pH} = 7,5\text{--}8$ . Встречается в гидротермальных жилах и на дне Атлантического океана на глубине 4000 м.

*Спутники.* Опал, доломит, монтмориллонит, серпентин, магнезит.

*Полезные свойства.* Хороший адсорбент. Применяется как звуконепроницаемый материал, теплоизолятор, очиститель масел и нефти.

**52. Сепиолит** (морская пенка, мыльный камень).

Синг. ромбич.  $\text{Mg}_8(\text{Si}_6\text{O}_{15})_2(\text{OH})_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ .

$a = 13,4$ ,  $b = 26,8$ ,  $c = 5,28$ .

*Химия.*  $\text{MgO} = 27,1\%$ ,  $\text{SiO}_2 = 60,8\%$ ,  $\text{H}_2\text{O} = 12,1\%$ .

**Физические свойства.** Цвет белый с желтоватым оттенком. Блеск матовый. Тв. 2–2,5. Уд. в. = 2, но вследствие большой пористости плавает на воде. Жирный на ощупь. Прилипает к языку. Разлагается HCl.  $N_g = 1,525$ – $1,529$ ,  $N_p = 1,515$ – $1,520$ ,  $N_g - N_p = 0,009$ . Главные линии на рентгенограммах: 12,3(10)–4,29(10)–3,97(6)–3,75(7)–3,35(6)–3,18(6)

На кривой нагревания 3 эндотермических эффекта – выделение воды трех типов.

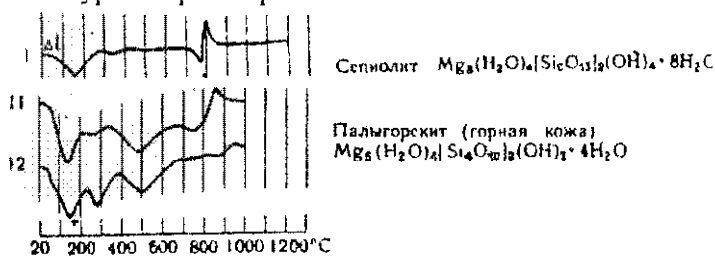
**Морфология кристаллов и агрегатов.** Встречается в виде желваков, состоящих из спутанноволокнистых масс в смеси с аморфным веществом.

**Диагностика.** Разлагается HCl с выделением кремнезема. Спектр рентгеновских линий. Легкость.

**Генезис.** При экзогенном разложении серпентинитов.

**Спутники.** Доломит, опал, магнезит.

**Полезные свойства.** Адсорбция. Очистка нефти, масел. Специальные буровые растворы.



Сепиолиты и палыгорскиты.

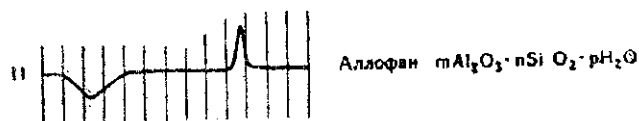


Рис. 12. Кривые нагревания [9]

53. **Вермикулит** –  $Mg_x(H_2O)_4Mg_{3-x}[AlSi_3O_{10}](OH)_2/$

Монокл. с.  $a = 5,3$ ,  $b = 9,2$ ,  $c = 28,9$ .

**Химия**  $MgO = 18$ – $27$  %,  $Al_2O_3 = 12$ – $17$  %,  $SiO_2 = 34$ – $39$  %,  $H_2O = 15$ – $20$  %, кроме того обычны примеси  $Fe_2O_3$ ,  $CaO$ ,  $K_2O$ .

*Физические свойства.* Цвет коричневый, зеленовато-бурый, золотисто-желтый. Блеск перламутровый. Тв. 1–1,5. Уд. в. = 2,3.  $N_g = N_{\text{т}} = 1,545\text{--}1,580$ ,  $N_p = 1,525\text{--}1,561$ . Главные линии на рентгенограммах: 13,7(10)–2,65(4)–2,55(6)–2,39(8)–1,533(9)

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Чешуйки по биотиту слабо гибки. При выветривании образует землистые массы.

*Диагностика.* При нагревании вспучивается, увеличиваясь в объеме в 25 раз, образуя червеподобные волокна.

*Генезис.* Образуется за счет биотита и флогопита при выветривании и под воздействием гидротермальных растворов.

*Спутники.* Биотит, роговая обманка, апатит, полевые шпаты.

*Полезные свойства.* Вспучивание. Термостойкость. Звукопоглощение. Адсорбция.

#### 54. **Аллофан.** $m\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{SiO}_2 \cdot p\text{H}_2\text{O}$ .

Минералонд, представляющий тонкую коллоидальную аморфную смесь.

*Химия.*  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 23,5\text{--}41,6\%$ ,  $\text{SiO}_2 = 21,4\text{--}39,1\%$ ,  $\text{H}_2\text{O} = 39,0\text{--}43,9\%$ . Часто присутствуют  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  и др.

*Физические свойства.* Бледно-голубой, зеленовато-желтый, иногда бесцветный или бурый. Блеск стеклянный, жирный. Тв. 3. Уд. в. = 1,85–1,89. Очень хрупкий.  $N = 1,47\text{--}1,51$ .

Рентгеноаморфный. На кривых нагревания отмечены два эффекта: эндотермический при 110–150° и экзотермический при 920–1100 °С. Первый соответствует выделению адсорбционной воды, второй – кристаллизации муллита.

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Образует типичные стеклоподобные с раковистым изломом корки, натечные формы, порошкообразные массы.

*Диагностика.* Стекловидность, низкая твердость. Кривые нагревания.

*Генезис.* Гипергенный. Типичный продукт выветривания.

*Спутники.* Галлуазит, каолинит, лимонит.

*Полезные свойства.* Адсорбция.

## Глава 5. МИНЕРАЛЫ ГРУНТОВ

Мы уже знаем о породообразующих минералах и трех типах пород — магматических, метаморфических и осадочных. Что же происходит с ними, когда они попадают на то место, где мы живем, где мы строим дома и другие объекты, где мы пашем, сеем и совершаем другие действия, необходимые для нашей жизнедеятельности.

Ранее существовавшие горные породы и минералы попадают в совершенно другие условия, где иные температура и давление, где есть зима и лето, где с ними контактирует воздух и вода — и все это не остается постоянным, а меняется каждый день и каждый год. Происходит физическое и химическое выветривание. Магматические и метаморфические породы под действием вышеупомянутых факторов разрушаются и образуют так называемые осадочные породы. А самая верхняя часть выветривающихся пород, т.е. современная кора выветривания мощностью до 100 м, выделяется в особую зону из рыхлых продуктов разрушения прежних пород и называется грунтовым слоем, а его составные части — грунтами.

Минеральный состав грунтов несет в себе следы ранее господствующих минералов и появление новых образований, приспособившихся к новым условиям. И нам приходится изучать грунты, в которых проявлена разная степень изменения прежних и разная приспособленность новых минералов. Частично и с теми и с другими мы уже знакомились в предыдущих главах. А теперь рассмотрим остальные породообразующие минералы (табл. 5).

Таблица 5

**Породообразующие минералы**

№ п/п	Минералы	В магматических породах	В осадочных породах	В метаморфических породах
1	Полевые шпаты	+	+	+
2	Кварц	+	+	+
3	Пироксены	+		+
4	Амфиболы	+		+
5	Слюды	+	+	+
6	Оливин	+		
7	Нефелин	+		
8	Глинистые минералы		+	

№ п/п	Минералы	В магматиче- ских породах	В осадочных породах	В метаморфи- ческих породах
9	Кальцит		+	+
10	Доломит		+	+
11	Сидерит		+	
12	Пирит		+	+
13	Гематит		+	+
14	Гетит		+	
15	Шамозит		+	
16	Гидраргиллит		+	
17	Апатит		+	
18	Сульфаты		+	
19	Галит		+	
20	Серпентин			+
21	Хлорит			+
22	Дистен			+
23	Ставролит			+
24	Кордиерит			+
25	Гранат			+
26	Везувиан			+
27	Волластонит			+
28	Тальк			+
29	Эпидот			+
30	Опал		+	

### Тип III. Класс 4. Силикаты

Минералы, относящиеся к этому классу, играют огромную роль в земной коре, 90 % которой они составляют. Их насчитывается около 500, что составляет 1/4 всех известных минералов. Главным элементом в составе силикатов является кремний. Он преобладает в литосфере, составляя в среднем 27,5 % веса всех изверженных пород. Разнообразие состава силикатов магматогенных условий образования обуславливается замещением в некоторой степени ионов кремния алюминием.

Внутреннее строение, или иногда говорят конституция минералов, обуславливается закономерным расположением в пространстве составляющих элементарных частиц (атомов, ионов, молекул).

Рентгенометрические исследования силикатов показали, что в них каждый ион  $\text{Si}^{4+}$  находится в окружении четырех ионов  $\text{O}^{2-}$ , располагающихся в углах тетраэдра. Именно группа  $[\text{SiO}_4]^{4-}$ , т.е.

кремнекислородный тетраэдр, является основной структурной единицей всех силикатов. В кристаллических решетках они могут находиться либо в виде изолированных друг от друга структурных единиц, либо могут сочетаться друг с другом разными способами, образуя сложные комплексные анионные радикалы (рис. 9). На этом рисунке хорошо видны все варианты:

– один кремнекислородный тетраэдр, анионный радикал  $[\text{SiO}_4]$  имеет заряд  $(-4)$ :

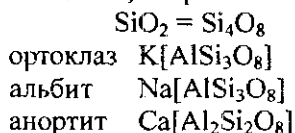
– два тетраэдра с одной общей вершиной  $[\text{Si}_2\text{O}_7]^{6-}$ ;

– три, четыре или шесть тетраэдров образуют кольца, их анионные радикалы  $[\text{Si}_3\text{O}_9]^{6-}$ ,  $[\text{Si}_4\text{O}_{12}]^{8-}$ ,  $[\text{Si}_6\text{O}_{18}]^{12-}$ .

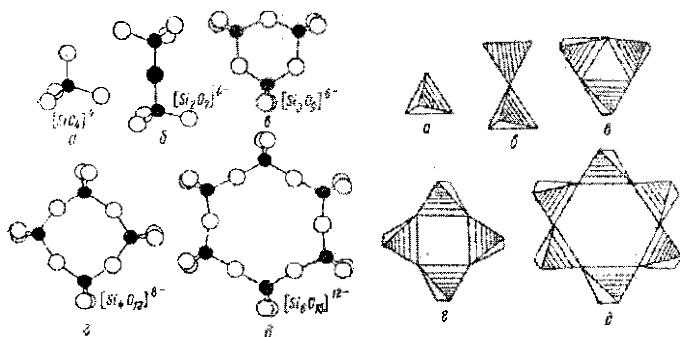
Комплексный анион может быть представлен одномерными непрерывными цепочками связанных друг с другом кремнекислородных тетраэдров (пример – пироксены) или двойными цепочками (лента, пояс) непрерывно связанных тетраэдров (пример – амфиболы).

У слюд и хлоритов комплексные анионы представлены двумерными слоями кремнекислородных тетраэдров, причем тетраэдры соединяют друг с другом тремя общими вершинами, а четвертые вершины направлены все в одну сторону.

И, наконец, бывают случаи, когда каждая из четырех вершин тетраэдра принадлежит одновременно двум тетраэдрам – образуется трехмерный каркас. Примером таких каркасов является кварц, полевые шпаты и их заместители. Однако, в случае полевых шпатов один или два кремния замещены алюминием  $\text{Si}^{4+} \rightarrow \text{Al}^{3+}$ , а в результате возникает отрицательный заряд, который компенсируется калием, натрием или кальцием:

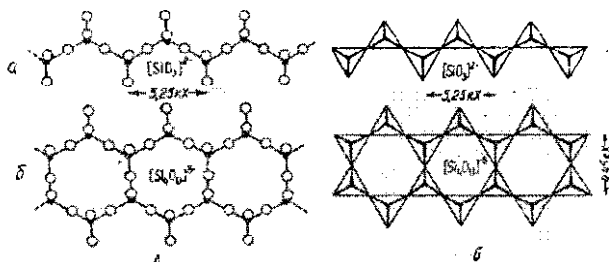


Вышеприведенные замещения одних элементов другими в кристаллических решетках относятся к явлению, которое получило название изоморфизма. Различают изовалентный и гетеровалентный (разновалентный) изоморфизм. Примерами могут служить сидерит  $(\text{Fe}, \text{Mg})\text{CO}_3$  и вышеприведенные полевые шпаты. В скобках через запятую пишут химические элементы,



Типы отдельных групп кремнекислородных тетраэдров (в двух изображениях):

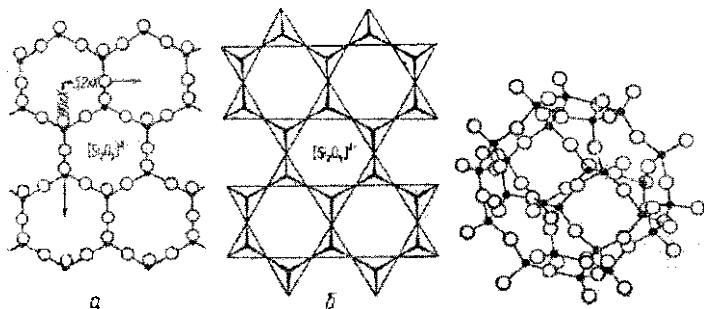
а — одиночный неагрегированный тетраэдр  $[\text{SiO}_4]^{4-}$ , б — группа из двух тетраэдров, связанных в кольцо  $[\text{Si}_2\text{O}_7]^{6-}$ , в — группа из трех тетраэдров, связанных в кольцо  $[\text{Si}_3\text{O}_9]^{6-}$ , г — группа из четырех тетраэдров, связанных в кольцо  $[\text{Si}_4\text{O}_{12}]^{12-}$ , д — группа из шести тетраэдров, связанных в кольцо  $[\text{Si}_6\text{O}_{18}]^{12-}$



Типы одномерных непрерывных кремнекислородных цепочек.

А — разреженная модель, Б — модель в тетраэдрах:

а — одиночные цепочки, б — двойные цепочки (лепта). Вершины тетраэдров, направленные к наблюдателю, утолщены (Б)



Кремнекислородный лист:

а — разреженная модель, б — в тетраэдрах

Алюмосиликатный каркас и структура известна

Рис. 13. Типы кремнекислородных структур силикатов [4]

которые могут замещать в решетках друг друга в любых соотношениях – совершенный изоморфизм. А в полевых шпатах кремний на алюминий замещается не более чем на 50 % – это пример несовершенного изоморфизма.

### Тип III. Класс 4. Силикаты.

#### Подкласс 1. Островные структуры

**55. Оливин** –  $(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{SiO}_4$  ( $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$  – форстерит;  $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$  – фаялит).

Ромбич. с.  $a = 4,76\text{--}4,82$ ,  $b = 10,2\text{--}10,48$ ,  $c = 5,98\text{--}6,11$ .

*Химия.* Форстерит –  $\text{MgO} = 57,11\%$ ,  $\text{SiO}_2 = 42,89\%$ , фаялит –  $\text{FeO} = 70,57\%$ ,  $\text{SiO}_2 = 29,43\%$

*Физические свойства.* Цвет желто-зеленый. Блеск стеклянный. Тв. 6,5–7. Уд. в. = 3,2–4,4.  $N_g = 1,67\text{--}1,88$ ,  $N_m = 1,65\text{--}1,68$ ,  $N_p = 1,637\text{--}1,835$ . Главные линии на рентгенограммах: 2,49(10)–2,41(8)–2,24(7)–1,734(8)

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Зернистые агрегаты.

*Диагностика.* Цвет. Отсутствие кварца. Парагенезис.

*Генезис.* Магматический.

*Спутники.* Хромит, пироксины, серпентин.

*Полезные свойства.* Огнеупорность форстерита. Ювелирность хризолита – прозрачного и нежно окрашенного.

**56. Ставролит** –  $\text{FeAl}_4(\text{SiO}_4)_2\text{O}_2(\text{OH})_2$ .

Ромбич. с.  $a = 7,83$ ,  $b = 16,62$ ,  $c = 5,65$ .

*Химия.*  $\text{FeO} = 15,8\%$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 55,9\%$ ,  $\text{SiO}_2 = 25,3\%$ ,  $\text{H}_2\text{O} = 2,0\%$ .

*Физические свойства.* Цвет коричневый. Блеск стеклянный. Тв. 7–7,5. Уд. в. = 3,6–3,7. Излом неровный.  $N_g = 1,746$ ,  $N_m = 1,741$ ,  $N_p = 1,736$ . Главные линии на рентгенограммах: 3,01(8)–2,38(10)–1,974(9)–1,396(10).

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Характерные крестообразные двойники.

*Диагностика.* Двойники, твердость, парагенезис.

*Генезис.* Типичный минерал регионального метаморфизма при средних температуре и давлении в гнейсах сланцах.

*Спутники.* Гранат, дистен, хлорит.

*Полезные свойства.*



**57. Эпидот** —  $\text{Ca}_2(\text{Al}_2\text{Fe})[\text{Si}_2\text{O}_7][\text{SiO}_4]\text{O}(\text{OH})$ .

Монокл. с.  $a = 8,91-8,95$ ,  $b = 5,63-5,75$ ,  $c = 10,22-10,25$ .

*Химия.*  $\text{CaO} = 23,5\%$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 24,1\%$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 12,6\%$ ,  $\text{SiO}_2 = 37,9\%$ ,  $\text{H}_2\text{O} = 1,9\%$ .

*Физические свойства.* Цвет фисташково-зеленый. Блеск стеклянный. Тв. 6,5. Уд. в. = 3,37.  $N_g = 1,74-1,78$ ,  $N_{\text{пл}} = 1,73-1,77$ ,  $N_p = 1,72-1,73$ ,  $N_g - N_p = 0,018-0,051$ . Главные линии на рентгенограммах: 2,90(10)-2,40(8)-1,88(7)-1,64(8). Спайность совершенная.

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Призматические кристаллы и сплошные массы.

*Диагностика.* Цвет. Рентгеновский спектр линий.

*Генезис.* Контактково-метасоматический и гидротермальный.

*Спутники.* Гранаты, актинолит, хлорит, альбит.

*Полезные свойства.* Некоторые разновидности используют как дешевый самоцвет.

**58. Везувиан** —  $\text{Ca}_{19}\text{Al}_{15}\text{Mg}_3(\text{SiO}_4)_{10}(\text{Si}_2\text{O}_7)_4(\text{OH})_{10}$

Тетрагон. с.  $a = 15,66$ ,  $c = 11,85$ .

*Химия.*  $\text{CaO} = 33-37\%$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 13-16\%$ ,  $\text{SiO}_2 = 35-39\%$ ,  $\text{H}_2\text{O} = 2-3\%$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 0-9\%$ ,  $\text{MgO} = 0-6\%$

*Физические свойства.* Цвет желтовато-зеленый. Блеск стеклянный. Тв. 6,5. Хрупкий. Уд. в. = 3,4.  $N_g = 1,705-1,732$ ,  $N_p = 1,701-1,726$ . Главные линии на рентгенограммах: 2,75(10)-2,60(9)-2,46(8)-1,625(8)

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Короткопризматические кристаллы и зернистые массы.

*Диагностика.* Форма кристаллов и рентгеновский спектр линий.

*Генезис.* Типичный минерал скарнов.

*Спутники.* Кальцит, гранаты, доломит, хлорит, эпидот.

*Полезные свойства.* Некоторые разновидности используются как поделочный камень

**59. Пироп** (гранат) —  $\text{Mg}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$ .

Кубич. с.  $a = 11,44-11,46$

*Химия.*  $\text{MgO} = 29,8\%$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 25,4\%$ ,  $\text{SiO}_2 = 44,8\%$ .

*Физические свойства.* Цвет красный. Блеск стеклянный. Тв. 7. Уд. в. = 3,51.  $N = 1,705$ . Главные линии на рентгенограммах: 2,886(8)-2,583(9)-1,598(9)-1,542(10)

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Обычно хорошо образованные кристаллы в форме ромбододекаэдров и тетрагонтриоктаэдров, иногда огромные, весом до 700 кг. Реже – зернистые массы.

*Диагностика.* Габитус кристаллов чаще в виде тетрагонтриоктаэдров.

*Генезис.* Магматический в ультраосновных породах и реже метаморфический.

*Спутники.* Алмаз, оливин, пироксены, серпентин

*Полезные свойства.* Прозрачные и чисто окрашенные являются полудрагоценными.

**60. Альмандин** (гранат) –  $\text{Fe}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$ .

Кубич. с.  $a = 11,49\text{--}11,52$

*Химия.*  $\text{FeO} = 43,3 \%$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 20,5 \%$ ,  $\text{SiO}_2 = 36,2 \%$ .

*Физические свойства.* Цвет темно-красный. Блеск стеклянный. Тв. 7,5. Уд. в. = 4,2.  $N = 1,830$ . Главные линии на рентгенограммах: 2,589(10)–1,595(9)–1,539(10)–1,259(9)

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Кристаллы в форме ромбододекаэдров и тетрагонтриоктаэдров. Реже – зернистые массы.

*Диагностика.* Форма кристаллов чаще всего в виде тетрагонтриоктаэдров.

*Генезис.* Метаморфический в сланцах и магматический.

*Спутники.* Хлорит, ставролит, слюда.

*Полезные свойства.* Абразив.

### **Тип III. Класс 4. Силикаты.** **Подкласс 3. Цепочечные структуры**

#### **Группа пироксенов**

**61. Авгит.**  $\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al})[(\text{Si}, \text{Al})_2\text{O}_6]$ .

Монокл. с.  $a = 9,72$ ,  $b = 8,92$ ,  $c = 5,24$ .

*Химия.*  $\text{CaO} = 22,18\text{--}25,93 \%$ ,  $\text{MgO} = 0\text{--}18,52 \%$ ,  $\text{FeO} = 0\text{--}29,43 \%$ ,  $\text{SiO}_2 = 48,39\text{--}55,55 \%$ .

*Физические свойства.* Цвет темно-зеленый до черного. Черта светлая. Блеск стеклянный. Тв. 6,0. Излом раковистый. Уд. в. = 3,3–3,6.  $N_g = 1,710\text{--}1,724$ ,  $N_m = 1,692\text{--}1,706$ ,  $N_p = 1,685\text{--}1,700$ . Главные линии на рентгенограммах: 2,98(10)–2,522(10)–1,619(10)–1,412(10)

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Сплошные зернистые массы, реже короткопризматические кристаллы.

*Диагностика.* От амфиболов отличается углом спайности, равным  $93^\circ$  (у амфибол  $124^\circ$ ).

*Генезис.* Магматический эффузивный.

*Спутники.* Магнетит, нефелин, оливин, амфиболы, хлорит, эпидот.

*Полезные свойства.* Породообразующий минерал.

## 62. **Диопсид.** $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ .

Монокл. с.  $a = 9,73$ ,  $b = 8,91$ ,  $c = 5,25$ .

*Химия.*  $\text{CaO} = 25,9\%$ ,  $\text{MgO} = 18,5\%$ ,  $\text{SiO}_2 = 55,6\%$ .

*Физические свойства.* Цвет белый, зеленоватый. Тв. 6,0. Уд. в. = 3,2–3,4. Показатели преломления  $N_g = 1,694$ ,  $N_m = 1,671$ ,  $N_p = 1,664$ . Главные линии на рентгенограммах: 3,00(10)-2,523(10)-1,616(10)-1,418(9)

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Сплошные зернистые массы, реже короткопризматические кристаллы.

*Диагностика.* От амфиболов отличается углом спайности, равным  $93^\circ$ .

*Генезис.* Контактково-метаморфический.

*Спутники.* Кальцит, тремолит, форстерит, гранат, хлорит.

*Полезные свойства.* Породообразующий минерал.

## 63. **Гиперстен.** $(\text{Mg,Fe})_2\text{Si}_2\text{O}_6$ .

Ромбич. с.  $a = 18,24$ ,  $b = 8,88$ ,  $c = 5,21$ .

*Химия.*  $\text{MgO} = 11,2\text{--}33,6\%$ ,  $\text{FeO} = 4\text{--}27,7\%$ ,  $\text{SiO}_2 = 48,2\text{--}58,0\%$ .

*Физические свойства.* Цвет темно-коричневый, зеленоватый. Блеск стеклянный до металлического. Тв. 6,0. Уд. в. = 3,4–3,5.  $N_g = 1,69\text{--}1,73$ ,  $N_p = 1,68\text{--}1,71$ . Главные линии на рентгенограммах: 3,20(10)-2,89(8)-1,599(6)-1,486(8)

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Сплошные зернистые массы, реже в виде короткопризматических форм.

*Диагностика.* От амфиболов отличается углом между двумя направлениями спайности –  $90^\circ$ .

*Генезис.* Магматический.

*Спутники.* Оливин, серпентин, тальк, магнетит

*Полезные свойства.* Породообразующий минерал.

## Тип III. Класс 4. Силикаты.

### Подкласс 4. Ленточные структуры

#### Группа амфиболов

##### 64. Роговая обманка —



Монокл. с.  $a = 9,79-9,96$ ,  $b = 17,9-18,42$ ,  $c = 5,28-5,37$ .

*Химия.* (по 38 анализам, Дир и др., 1965)  $\text{SiO}_2 = 35-50\%$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 4-14\%$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 1-9\%$ ,  $\text{FeO} = 1-22\%$ ,  $\text{MgO} = 2,8-25,4\%$ ,  $\text{CaO} = 9,8-12,8\%$ ,  $\text{Na}_2\text{O} = 0,5-2,3\%$ . Кроме того возможны K, Cl, Mn, Ti.

*Физические свойства.* Цвет от светло-зеленого до зелено-черного. Блеск стеклянный. Тв. 5,5. Уд. в. = 3,2.  $N_g = 1,65-1,69$ ,  $N_m = 1,64-1,67$ ,  $N_p = 1,63-1,66$ ,  $N_g-N_p = 0,020$ . Главные линии на рентгенограммах: 3,15(9)-2,71(10)-2,155(8)-1,645(8)-1,504(9).

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Призматические кристаллы и сплошные зернистые массы

*Диагностика.* Цвет. Угол между двумя направлениями спайности равен  $124^\circ$ .

*Генезис.* Магматический и метаморфический.

*Спутники.* Пироксин, полевые шпаты, магнетит.

*Полезные свойства.* Породообразующий минерал.

##### 65. Актинолит — $\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe})_5[\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2(\text{OH})_2$

Монокл. с.  $a = 9,89$ ,  $b = 17,9-18,1$ ,  $c = 5,31$

*Химия.*  $\text{SiO}_2 = 51,4-55,0\%$ ,  $\text{MgO} = 11,2-20,4\%$ ,  $\text{CaO} = 10,2-12,8\%$ .  $\text{FeO} = 5,1-15,2\%$ . Кроме того возможны Al,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , Na.

*Физические свойства.* Цвет зеленый. Тв. 5,5-6. Уд. в. = 3,17.  $N_g = 1,64$ ,  $N_m = 1,63$ ,  $N_p = 1,61$ . Главные линии на рентгенограммах: 3,14(9)-2,705(10)-2,541(8)-2,155(8)-1,642(8).

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Игольчатые, тонко волокнистые агрегаты.

*Диагностика.* Форма кристаллов и агрегатов, цвет.

*Генезис.* Контактково-метасоматический и регионально-метаморфический.

*Спутники.* Хлорит, эпидот, пирит.

*Полезные свойства.* Плотные разности известны как нефрит — поделочный камень.

**66. Тремолит** —  $\text{Ca}_2\text{Mg}_5[\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2(\text{OH})_2$

Монокл. с.  $a = 9,80$ ,  $b = 17,8$ ,  $c = 5,27$

*Химия.*  $\text{SiO}_2 = 58,6\%$ ,  $\text{MgO} = 24,8\%$ ,  $\text{CaO} = 13,9\%$ ,  
 $\text{H}_2\text{O} = 2,3\%$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 0,10\%$ ,  $\text{Na}_2\text{O} = 0,12\%$ ,  $\text{K}_2\text{O} = 0,10\%$ .

*Физические свойства.* Цвет белый. Блеск стеклянный.  
Тв. 5,5–6. Уд. в. = 2,9–3,0.  $N_g = 1,624$ ,  $N_m = 1,613$ ,  $N_p = 1,599$ .  
Главные линии на рентгенограммах: 3,12(6)–2,71(8)–1,582(5)–  
1,503(8)–1,438(10).

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Игольчатые тонково-  
локнистые и радиально-лучистые агрегаты.

*Диагностика.* Форма агрегатов. Цвет.

*Генезис.* Низкотемпературные метаморфические минералы в  
сланцах и на контактах магмы с известняками.

*Спутники.* Диопсид, серпентинит, кальцит, эпидот.

*Полезные свойства.* Огнеупорность и волокнистость, исполь-  
зуют как асбест.

**Тип III. Класс 4. Силикаты.**  
**Подкласс 5. Слонстые структуры**

**Группа слюд**

**67. Мусковит** —  $\text{KAl}_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH})_2$

Монокл. с.  $a = 5,19$ ,  $b = 9,04$ ,  $c = 20,08$ . Известны политипы  
2М<sub>1</sub>, 1М, 1М<sub>д</sub> и 3Т.

*Химия.*  $\text{SiO}_2 = 45,2\%$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 38,5\%$ ,  $\text{K}_2\text{O} = 11,8\%$ ,  
 $\text{H}_2\text{O} = 4,5\%$ .

*Физические свойства.* Белый, прозрачный. Блеск стеклянный.  
Тв. 2–3. Уд. в. = 2,76–3,10.  $N_g = 1,588$ –1,615,  $N_m = 1,582$ –1,611,  
 $N_p = 1,552$ –1,572,  $N_g$ – $N_p = 0,040$ . Главные линии на рентгено-  
граммах:

10,04(10)–5,02(5)–4,48(6)–4,46(5)–3,35(10)–2,56(8) — для 2М<sub>1</sub>;

10,08(10)–4,49(8)–3,36(10)–3,07(5)–2,58(5)–2,56(8) — для 1М;

9,99(10)–4,99(8)–3,33(10)–2,56(5) — для 3Т.

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Чешуйчатые и листова-  
тые агрегаты.

*Диагностика.* Весьма соверш. спайность, листоватая форма.

*Генезис.* В гранитах и пегматитах в виде кристаллов, в гидротермальных образованиях мелкочешуйчатый — образуется за счет метасоматоза полевых шпатов.

*Спутники.* Полевые шпаты, кварц, цеолиты.

*Полезные свойства.* Электроизолятор. Применяется в электро- и радиопромышленности.

**68. Биотит<sup>1</sup>** —  $K(Mg,Fe)_3[AlSi_3O_{10}](OH,F)_2$

Монокл. с.  $a = 5,30$ ,  $b = 9,21$ ,  $c = 20,32$ .

*Химия.*  $SiO_2 = 32,83-44,94\%$ ,  $Al_2O_3 = 9,43-31,69\%$ ,  $Fe_2O_3 = 1,13-20,65\%$ ,  $FeO = 2,74-27,60\%$ ,  $MgO = 0,28-28,34\%$ ,  $K_2O = 6,18-11,43\%$ ,  $F = 0-4,23\%$ ,  $H_2O = 0,89-4,23\%$ .

*Физические свойства.* Цвет темный: Mg — бурый, Fe — черный. Блеск стеклянный до полуметаллического. Тв. 2–3. Уд. в. = 3,02–3,12.  $N_g = 1,66$ ,  $N_m = 1,60$ ,  $N_p = 1,56$ ,  $N_g - N_p = 0,040-0,060$ . Главные линии на рентгенограммах: 10,0(10)-3,34(10)-2,63(8)-2,44(6)-1,672(6)-1,541(8)

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Листоватые агрегаты.

*Диагностика.* Хорошая спайность, цвет. Гибкость листочков.

*Генезис.* Эндогенный в магматических породах и в метаморфических гнейсах и сланцах.

*Спутники.* Полевые шпаты, кварц, роговая обманка.

*Полезные свойства.* Изолятор. Применяется в электропромышленности.

**69. Флогопит** —  $KMg_3[AlSi_3O_{10}](OH,F)_2$

Монокл. с.  $a = 5,32$ ,  $b = 9,21$ ,  $c = 20,48$ .

*Химия.*  $SiO_2 = 38,7-45\%$ ,  $Al_2O_3 = 10,8-17,0\%$ ,  $MgO = 21,4-29,4\%$ ,  $K_2O = 7-10,3\%$ ,  $H_2O = 0,3-5,4\%$ .  $F = 0-6\%$ .

*Физические свойства.* Коричневатый с желтоватым или зеленоватым оттенком. Тв. 2–3. Уд. в. = 2,7–2,85. Спайность совершенная  $N_g = N_m = 1,565-1,606$ ,  $N_p = 1,535-1,562$ . Главные линии на рентгенограммах: 10,0(10)-3,35(10)-2,62(8)-2,435(8)-2,175(8).

---

<sup>1</sup> Подкомитет по слодам комиссии по новым минералам и названиям предлагает за биопитом оставить название серии темных триоктаэдрических слод, не содержащих лития, но не самостоятельного минерала. Однако, если согласиться с этим, то в силу изоморфизма придется отказаться от сотен хорошо известных минералов.

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Листоватые агрегаты псевдогексагонального облика.

*Диагностика.* Спайность, цвет, рентгеновский спектр линий.

*Генезис.* Типичный минерал контактового метасоматоза, но встречается в магматических породах.

*Спутники.* Диопсид, полевые шпаты, амфиболы, кальцит.

*Полезные свойства.* Электрический изолятор. Применяется в радио- и электропромышленности.

## Группа серпентинов

Под общим названием серпентинов объединяется ряд минералов, которые имеют свои названия: антигорит, лизердит, хризотил, имеющие одну и ту же формулу и по последним данным синонию. Следовательно, мы будем их называть единым словом — серпентин.

**70. Серпентин.**  $\text{Mg}_6[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8$

Монокл. с.  $a = 5,3$ ,  $b = 9,2$ ,  $c = 7,3$ .

*Химия.*  $\text{SiO}_2 = 41,25\text{--}44,70\%$ ,  $\text{MgO} = 40,43\text{--}42,82\%$ ,  $\text{H}_2\text{O}^+ = 12,18\text{--}14,04\%$ .

*Физические свойства.* Цвет желтый, белый, серый, зеленый. Тв. 2,5–3,5. Уд. в. = 2,5–2,7.  $N_g = 1,545\text{--}1,574$ ,  $N_m = 1,565$ ,  $N_p = 1,532\text{--}1,567$ ,  $N_g\text{--}N_p = 0,011\text{--}0,021$ . Линии на рентгенограмме антигорита: 7,36(9)–3,641(9)–2,558(10)–2,186(7)–1,583(8).

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Чаще всего наблюдаются спутано-волокнистые агрегаты, реже в виде листовых агрегатов.

*Диагностика.* Цвет, волокнистость, огнестойкость. Парагенезис.

*Генезис.* Гидротермальный метасоматоз ультраосновных пород.

*Спутники.* Оливин, пироксены, доломит.

*Полезные свойства.* Огнестойкость. Хризотил-асбест используют для изготовления тканей и теплоизоляторов. Красиво окрашенные разности идут как облицовочный материал.

### Тип III. Класс 4. Силикаты.

#### Подкласс 6. Каркасные структуры

##### 71. Группа кварца. Кварц — $\text{SiO}_2$

Тригон. с.  $a = 4,91$ ,  $c = 5,40$ .

Гексагон. с.  $a = 5,00$ ,  $c = 5,47$

*Химия.*  $\text{SiO}_2 = 100\%$ .

*Физические свойства.* Цвет, как показано ниже, самый различный, но в основном белый и светло-серый. Блеск стеклянный. Тв. 7. Уд. в. = 2,7. Излом раковистый  $N_g = 1,544$ ,  $N_p = 1,553$ , у халцедона  $N_g = 1,536$  и  $N_p = 1,530$ .

При  $573^\circ$  переход низкотемпературного тригонального в высокотемпературный гексагональный.

Линии на рентгенограммах: 4,25(8)-3,343(10)-2,456(6)-2,281(6)2,236(5)-2,127(6)-1,976(5)-1,818(8).

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Кристаллы в виде комбинации шестигранной призмы с дипирамидой, а также сплошные зернистые массы. Часто образует друзы.

*Диагностика.* Форма кристаллов, твердость, отсутствие спайности.

*Генезис.* Полигенез, может быть любой по происхождению: магматический, пегматитовый, гидротермальный, экзогенный, биогенный и т.д.

*Спутники.* Разнообразные, но лучше запомнить запрещенный парагенез — с оливином и нефелином кварц не встречается.

*Полезные свойства.* Пьезоэлектрические свойства. Красота некоторых разновидностей позволяет их использовать в ювелирном деле. Обычный кварц применим в стекольной, керамической и металлургической промышленности.

*Разновидности.* Прозрачный — горный хрусталь, фиолетовый — аметист, желтый — цитрин; кроме того, дымчатый кварц, молочный кварц, халцедон — скрытокристаллический кварц, черный — морион, буро-красный, мерцающий — авантюрин, зеленый — празем, кошачий глаз — зеленоватый с шелковистым отливом ввиду включения асбеста, тигровый глаз — темно-бурый с золотистым отливом, соколиный глаз — синеватый с включением крокидолита, агат — пестроокрашенный халцедон, оникс — чередование белых и черных полос, сардоникс — чередование белых и



красных полос, карнеол – яркоокрашенный халцедон, хризопраз – яблочно-зеленый.

## Группа полевых шпатов

Полевые шпаты являются самыми распространенными минералами, на долю которых приходится 50 % всей массы земной коры.

### 72. **Ортоклаз** – $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$

Монокл. с.  $a = 8,60$ ,  $b = 13,06$ ,  $c = 7,19$ .

*Химия.*  $\text{SiO}_2 = 64,7\text{--}65,7\%$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 18,4\text{--}18,7\%$ ,  $\text{K}_2\text{O} = 12,7\text{--}16,9\%$ . Примеси  $\text{Na}_2\text{O}$  до 2,5 %,  $\text{BaO}$  до 5 %.

*Физические свойства.* Цвет бледный разных оттенков, но преимущественно розоватый. Блеск стеклянный. Тв. 6–6,5. Уд. в. = 2,55–2,58. Спайность совершенная  $N_g = 1,526$ .  $N_m = 1,524$ ,  $N_p = 1,519$ ,  $2V = 60^\circ$ . Главные линии на рентгенограммах: 4,25(7)–3,29(10)–2,98(7)–2,90(7)–2,16(7)–1,81(9)

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Сплошные крупнозернистые массы, призматические кристаллы.

*Диагностика.* Хорошая спайность, твердость, цвет, оптические свойства.

*Генезис.* В основном эндогенные в магматических кислых и средних породах, в пегматитах.

*Спутники.* Кварц, другие полевые шпаты, слюды, нефелин.

*Полезные свойства.* Применяется при изготовлении фарфора, фаянса, глазури и эмали. Важнейший породообразующий минерал.

### 73. **Микроклин** – $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$

Трикл. с.  $a = 8,44$ ,  $b = 13,0$ ,  $c = 7,21$ .

*Химия.*  $\text{SiO}_2 = 64,7\text{--}65,7\%$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 18,4\text{--}18,7\%$ ,  $\text{K}_2\text{O} = 12,7\text{--}16,9\%$ . Примеси  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{BaO}$  и  $\text{FeO}$ .

*Физические свойства.* Белый, серый, красноватый, зеленый (амазонский камень). Блеск стеклянный. Тв. 6. Уд. в. = 2,54–2,57.  $N_g = 1,529$ .  $N_m = 1,526$ ,  $N_p = 1,522$ . Главные линии на рентгенограммах: 4,18(6)–3,22(10)–2,16(7)–1,99(6)–1,80(8)

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Крупнозернистые массы и призматические кристаллы.

*Диагностика.* От ортоклаза отличается под микроскопом по «двойниковой решетке» и по рентгенограмме.

*Генезис.* Магматический.

*Спутники.* Кварц, альбит, слюды, берилл, турмалин.

*Полезные свойства.* Способность к керамике, изготовление фарфора; амазонский камень в ювелирном деле.

## Плаггиоклазы

Плаггиоклазы представляют собой непрерывный изоморфный ряд от альбита до анортита.

		% анортита	Уд. в.	$N_m$	% $SiO_2$
альбит	$NaAlSi_3O_8$	0-10	2,624	1,528	68,81
олигоклаз		10-30	2,64	1,539	62,45
андезин		30-50	2,67	1,549	59,45
лабрадор		50-70	2,69	1,559	56,05
битовнит		70-90	2,72	1,564	49,67
анортит	$CaAl_2Si_2O_8$	90-100	2,758	1,576	43,28

74. **Альбит** —  $NaAlSi_3O_8$  — крайний член ряда плаггиоклазов.

Трилин. с.  $a = 8,135$ ,  $b = 12,788$ ,  $c = 7,154$ .

*Химия.*  $SiO_2 = 68,81\%$ ,  $Al_2O_3 = 19,40\%$ ,  $Na_2O = 10,79\%$ .

*Физические свойства.* Цвет белый, сероватый. Блеск стеклянный. Тв. 6-6,5. Уд. в. = 2,62.  $N_g = 1,536$ .  $N_m = 1,529$ ,  $N_p = 1,525$ . Главные линии на рентгенограммах: 4,016(7)-3,767(6)-3,660(7)-3,206(7)-3,179(10)-2,952(6)-2,561(5)

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Зернистые агрегаты, таблитчатые кристаллы.

*Диагностика.* Хор. спайность, твердость, оптические свойства.

*Генезис.* Магматический.

*Спутники.* Кварц, мусковит, ортоклаз, берилл, турмалин.

*Полезные свойства.* Один из плаггиоклазов (лабрадор) широко используется как облицовочный камень. Нежные оттенки цвета: лунный камень, солнечный камень — в ювелирном деле.

75. **Анортит** —  $CaAl_2Si_2O_8$

Трилин. с.  $a = 8,177$ ,  $b = 12,877$ ,  $c = 14,169$ .

*Химия.*  $SiO_2 = 43,28\%$ ,  $Al_2O_3 = 36,62\%$ ,  $CaO = 20,10\%$ .

*Физические свойства.* Цвет белый. Блеск стеклянный. Тв. 6–6,5. Уд. в. = 2,758.  $N_g = 1,589$ .  $N_m = 1,584$ ,  $N_p = 1,576$ . Спайность совершенная. Главные линии на рентгенограммах: 4,033(6)–3,740(4)–3,611(6)–3,249(7)–3,197(10)–3,164(7)

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Обычно зернистые массы, иногда друзы и таблитчато-призматические кристаллы.

*Диагностика.* Оптические и рентгенометрические константы.

*Генезис.* Магматический.

*Спутники.* Пироксин, амфиболы, магнетит.

*Полезные свойства.* Игра цветов – иризация у лабрадора позволяет его использовать как облицовочный камень.

#### 76. **Нефелин** – $\text{Na}_3\text{K}(\text{AlSiO}_4)_4$

Гексагонал. с.  $a = 10,01$ ,  $c = 8,41$ .

*Химия.*  $\text{SiO}_2 = 44,0\%$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 33,0\%$ ,  $\text{Na}_2\text{O} = 16\%$ ,  $\text{K}_2\text{O} = 5\%$ . Примеси Са и Mg.

*Физические свойства.* Серовато-белый с оттенками, иногда цвет не свежего мяса. Блеск жирный. Спайность отсутствует Тв. 5–6. Уд. в. = 2,6.  $N_m = 1,532$ –1,547,  $N_p = 1,529$ –1,542. Главные линии на рентгенограммах: 4,20(8)–3,86(9)–3,28(8)–3,02(10)–2,35(7).

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Кристаллы редки, обычно сплошные зернистые массы.

*Диагностика.* Сероватая окраска, жирный блеск, нет спайности.

*Генезис.* Магматический.

*Спутники.* Альбит, амфиболы с натрием, с кварцем никогда не встречается.

*Полезные свойства.* Содержание натрия и алюминия используют для выплавки Al, для получения соды, а также в стекольной и фарфоровой промышленности.

### Тип III. Класс 9. Карбонаты

Кривые нагревания карбонатов грунтов приведены на рис. 14.

#### 77. **Кальцит** – $\text{CaCO}_3$ . Тригон. с. $a = 4,99$ , $c = 17,06$

*Химия.*  $\text{CaO} = 56,03\%$ ,  $\text{CO}_2 = 43,97\%$ .

*Физические свойства.* Бесцветный, молочно-белый. Хор. спайность по ромбоздру. Тв. 3. Уд. в. = 2,7.  $N_m = 1,658$ ,  $N_p = 1,486$ . Главные линии на рентгенограммах: 3,03(10)–2,28(7)–2,09(7)–1,910(9)

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Сталактиты в пещерах. Друзы. Сплошные массы (мрамор, известняки). Землистые массы (мел).

*Диагностика.* Большое двупреломление. Спайность по ромбоэдру. Кипит с  $\text{HCl}$ .

*Генезис.* Гидротермальный. Водноосадочный. Биогенный. Метаморфический.

*Спутники.* Очень разнообразны в зависимости от генезиса.

*Полезные свойства.* Прозрачность – применение в оптике. Декоративность – мраморы для облицовки. Флюс в металлургии.

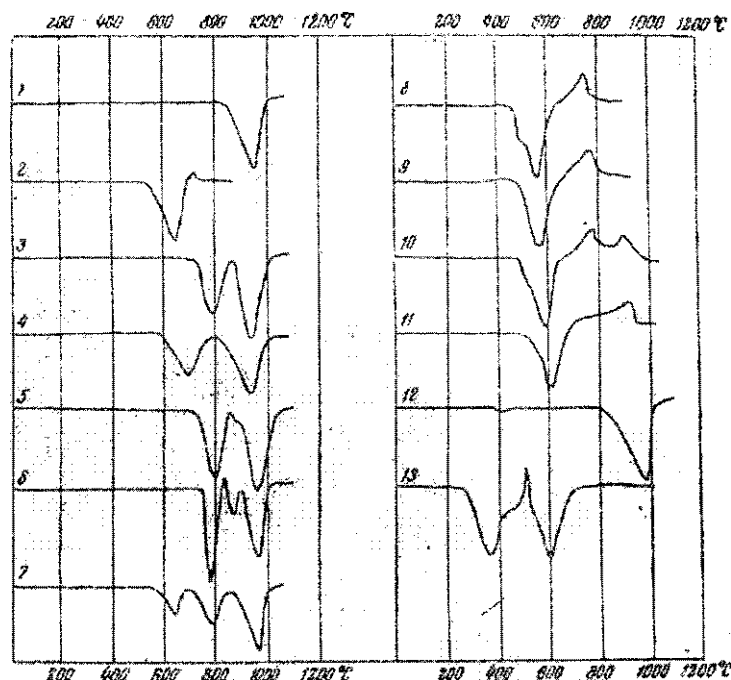


Рис. 14. Дифференциальные кривые нагревания карбонатов – безводных, водных, основных [10]: 1 – кальцит, 2 – магнезит, 3 – доломит, 4 – доломит+1 %  $\text{NaCl}$ , 5 – анкеритизированный доломит, 6 – анкерит, 7 – доломит с магнезитом, 8, 9 – сидерит кристаллический+сидерит пелитоморфный, 10 – брейнегит, 11 – родохрозит, 12 – арагонит, 13 – гидромагнезит

**78. Магнезит** –  $\text{MgCO}_3$ . Тригон. с.  $a = 4,59$ ,  $c = 14,93$ .

*Химия.*  $\text{MgO} = 47,6\%$ ,  $\text{CO}_2 = 52,4$ .

*Физические свойства.* Цвет белый с желтоватым или сероватым оттенком. Блеск стеклянный. Спайность по ромбоэдру. Тв. 4–4,5. Уд. в. = 3,0.  $N_m = 1,700$ ,  $N_p = 1,509$ . Главные линии на рентгенограммах: 2,737(10)–2,101(9)–1,935(6)–1,697(10)

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Обычно в виде плотных фарфоровидных масс, редко в кристаллах и спайность по ромбоэдру.

*Диагностика.* С  $\text{HCl}$  не вскипает на холоде. Фарфоровидность. Под микроскопом хор. спайность. Рентгенограмма.

*Генезис.* Гипергенное выветривание магнезиальных силикатов, метаморфизм основных изверженных пород.

*Спутники.* Опал, серпентин, тальк, доломит.

*Полезные свойства.* Огнеупорность – применение в металлургической промышленности.

**79. Доломит** –  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ . Тригон. с.  $a = 4,81$ ,  $c = 16,01$ .

*Химия.*  $\text{CaO} = 30,4\%$ ,  $\text{MgO} = 21,7\%$ ,  $\text{CO}_2 = 47,9\%$ .

*Физические свойства.* Серовато-белый. Блеск стеклянный. Спайность по ромбоэдру. С  $\text{HCl}$  реагирует замедленно. Тв. 4. Уд. в. = 2,85.  $N_m = 1,68$ –1,69,  $N_p = 1,500$ –1,513. Главные линии на рентгенограммах: 2,883(10)–2,19(5)–2,01(4)–1,785(6)

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Сплошные зернистые массы, реже – кристаллы с ромбоэдрической спайностью.

*Диагностика.* Замедленность реакции с соляной кислотой. Рентгенограмма.

*Генезис.* Мезотермальный и при метаморфизме основных изверженных пород.

*Спутники.* Сидерит, серпентин, тальк, брусит.

*Полезные свойства.* Огнеупорность. Шлакообразование в металлургии.

**80. Сидерит** –  $\text{FeCO}_3$ . Тригон. с.  $a = 4,71$ ,  $c = 15,43$ .

*Химия.*  $\text{FeO} = 62,1\%$ ,  $\text{CO}_2 = 37,9\%$ .

*Физические свойства.* Цвет желтовато-серый. Блеск стеклянный. Хорошая спайность по ромбоэдру. Тв. 4. Уд. в. = 3,9.  $N_m = 1,875$ ,  $N_p = 1,633$ ,  $N_m - N_p = 0,242$ . Главные линии на рентгенограммах: 3,59(6)–2,781(10)–2,348(6)–2,135(7)–1,966(6)–1,733(9)

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Часто образует конкреции в глинистых породах. Сплошные зернистые массы.

*Диагностика.* Ромбоэдрическая спайность и кривые нагревания — экзотермический пик при 600°.

*Генезис.* Гидротермальный и диагенетический.

*Спутники.* Пирит, галенит, лимонит.

*Полезные свойства.* Содержание железа — используется как важная руда.

### Тип III. Класс 5. Фосфаты

81. **Гидроксилapatит** —  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{Cl}, \text{F}, \text{OH})$

Гексаг. сингония.	(Cl)	a = 9,52,	c = 6,85.
	(F)	a = 9,36,	c = 6,88
	(OH)	a = 9,40,	c = 6,93

*Химия.* CaO = 55,38 %,  $\text{P}_2\text{O}_5$  = 42,06 %, F = 1,25 %, Cl = 2,33 %,  $\text{H}_2\text{O}$  = 0,56 %..

*Физические свойства.* Светло-зеленый, голубовато-зеленый. Тв. 5. Уд. в. = 3,18–3,22. Показатели преломления: для хлорапатита  $N_m = 1,667$ ,  $N_p = 1,664$ ; для фторапатита  $N_m = 1,633$ ,  $N_p = 1,629$ .

Главные линии на рентгенограммах:

для хлорапатита	– 2,764(10)-2,308(4)-1,954(6)-1,840(6);
для фторапатита	– 2,798(10)-2,769(4)-2,702(6)-1,838(6);
для гидроксилapatита	– 2,789(10)-2,694(6)-2,622(4)-1,931(3)

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Встречается в виде сплошных зернистых масс, друз и призм, иногда в осадочных породах в виде землистых причудливо-округлых форм, называемых фосфоритами.

*Диагностика.* Форма кристаллов, линии на рентгенограммах, низкое двупреломление.

*Генезис.* Магматический.

*Спутники.* Полевой шпат, магнетит, кальцит, флогопит, диопсид.

*Полезные свойства.* Удобрение в сельском хозяйстве — суперфосфат, в химической промышленности для получения фосфора и фосфорной кислоты.

---

## Глава 6.

# РУДНЫЕ МИНЕРАЛЫ

---

В этой последней главе мы познакомимся с минералами, которые геологи ищут, а горняки добывают, извлекая из горных выработок, и отправляют их для дальнейшей обработки на обогащательные фабрики. При этом всем специалистам этих предприятий надлежит знать объекты своей деятельности. На каждом руднике есть гидрогеолог. Его дело – вода, но такая вода, которая общается с рудными минералами. Лишнюю воду надо удалить из горных выработок, чтобы можно было шахтеру работать, а также понять, что происходит с водой при контакте с породами и минералами. Значит всем, кто имеет дело с рудой желательно знать минералы в мордочку и понимать что к чему.

Вот с этих позиций мы познакомимся с главнейшими рудными минералами, из которых извлекают медь, свинец, цинк, молибден, железо и др. металлы.

### Тип I. Класс I. Металлы

**82. Медь** – Cu. Кубич. с.  $a = 3,608$ .

*Химия.* Содержит примеси серебра, золота и железа.

*Физические свойства.* Цвет медно-красный. Блеск металлический. Тв. 2,5–3. Уд. в.=8,5–8,9. Ковкая. Спайности нет.  $t_{пл} = 1083^{\circ}\text{C}$ . На рентгенограммах: 2,085(9)-1,806(8)-1,276(10).

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Ветвистые сростки кристаллов – дендриты, желваки, самородки до 1000 кг.

*Диагностика.* Цвет, ковкость, уд. вес, спутники.

*Генезис.* Гидротермальный и экзогенный.

*Спутники.* Малахит, пирит, галенит, халькопирит.

*Полезные свойства.* Ковкость. Электропроводность. Используется в машиностроении, электротехнике, в чеканке монет.

**83. Золото** – Au. Кубич с.  $a = 4,070$ .

*Химия.* Примеси серебра до 50 %, меди и железа.

*Физические свойства.* Цвет золотисто-желтый. Блеск металлический. Тв. 2,5–3. Уд. в.=15,6–18,3. Ковкое. Спайности нет. Главные линии на рентгенограммах: 2,35(10)-02,03(9)-1,437(8)-1,226(9)

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Кристаллы редки. Обычно вкрапленность мелких зерен в кварцевых жилах. В россыпях встречаются самородки весом до 100 кг. «Приятный незнакомец» — вес 59,67 кг и «Желанный гость» найдены в Австралии.

*Диагностика.* Цвет; ковкость, уд. вес, спутники.

*Генезис.* Гидротермальный.

*Спутники.* Пирит, сульфиды меди и серебра, киноварь, барит, кварц.

*Полезные свойства.* Устойчивость против коррозии, нерастворимость в кислотах. Используется как валютный металл, а также в ювелирном деле, стоматологии и приборостроении.

## Тип I. Класс 3. Неметаллы

### 84. Алмаз — С. $a = 3,56$

*Химия.* Незначительная примесь кремния и железа.

*Физические свойства.* Бесцветный, а также голубой, синий, желтый, зеленый, бурый и черный. Блеск сильный, алмазный. Тв. 10. Уд. в. = 3,50–3,53. Главные линии на рентгенограммах: 2,05(10)–1,26(8)–1,07(7)

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Обычно в виде кристаллов — кривогранные октаэдры, кубы и ромбододекаэдры в эффузивных кимберлитах.

*Диагностика.* Очень высокий показатель преломления  $N = 2,40$ – $2,46$ . Твердость.

*Генезис.* Магматический.

*Спутники.* Пироп, оливин.

*Полезные свойства.* Высокая твердость. Абразив. Красиво окрашенные используются в ювелирном деле — бриллианты. Знаменитые алмазы: «Кулинан» — 3106 карат (1 карат равен 0,2 г) найден в южной Африке, «Регент» — 140 карат и «Орлов» — 199 карат найдены в Индии.

### 85. Графит — С. Гексаг. с. $a = 2,47$ , $c = 6,79$ .

*Химия.* Обычная примесь до 10–20 %  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$ , битумы.

*Физические свойства.* Цвет стально-серый. Блеск металлический. Тв. 1. Уд. в. = 2,09–2,23. Черта на фарфоре черная. Главные линии на рентгенограммах: 3,35(10)–1,675(8)–1,544(6)–1,230(9).



*Морфология кристаллов и агрегатов.* Листоватые и чешуйчатые, землистые агрегаты.

*Диагностика.* Пишет по бумаге. От молибденита отличается цветом черты, у молибденита – голубоватая.

*Генезис.* Магматический, пневматолитовый и метаморфический.

*Спутники.* Диопсид, полевой шпат, кварц, биотит.

*Полезные свойства.* Огнеупорность: тигли. Мягкость – карандаши и смазка.

**86. Сера** – S. Ромбич. с.  $a = 10,48$ ,  $b = 12,92$ ,  $c = 24,55$ .

*Химия.* Присеми мышьяка, селена, железа.

*Физические свойства.* Цвет желтый. Блеск жирный. Тв. 2. Хрупок. Спайности нет. Уд. в. = 2,05. Горит от спички с запахом. Главные линии на рентгенограммах: 3,85(10)-3,21(7)-3,10(6)ю

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Сплошные зернистые и землистые массы. Корочки. Налеты. Друзы.

*Диагностика.* Запах при горении, скрип при сверлении. Цвет.

*Генезис.* При вулканических извержениях, при химическом выветривании сульфидов и сульфатов, при разложении органических веществ.

*Спутники.* Гипс, кальцит, битумы, сульфаты.

*Полезные свойства.* Получение серной кислоты. Применяется в резиновой промышленности и в сельском хозяйстве.

## **Тип II. Класс I. Простые сульфиды**

**87. Пирит** –  $\text{FeS}_2$ . Кубич. с.  $a = 5,41$ .

*Химия.* Fe = 46,6 %, S = 53,4 %.

*Физические свойства.* Соломенно-желтый. Черта зеленовато-черная. Спайности нет. Тв. 6,5. Уд. в. = 4,9–5,2. Главные линии на рентгенограммах: 2,696(8)-2,417(8)-2,206(7)-1,908(6)-1,629(10)-1,040(9)

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Сплошные зернистые массы, кристаллы в форме кубов, октаэдров и пентагонтриоктаэдров. Конкреции.

*Диагностика.* Форма кристаллов, твердость, штриховатость кубов.

*Генезис.* Гидротермальный, гипергенный и магматический.

*Спутники.* Золото, халькопирит, галенит, сфалерит, лимонит.

*Полезные свойства.* Содержание серы для получения серной кислоты.

**88. Халькопирит** —  $\text{CuFeS}_2$ . Тетраг. с.  $a = 5,24$ ;  $c = 10,32$ .

*Химия.*  $\text{Cu} = 34,5 \%$ ,  $\text{Fe} = 30,5 \%$ ,  $\text{S} = 35,0 \%$ .

*Физические свойства.* Цвет лимонно-желтый. Черта зеленовато-черная. Блеск металлический. Хрупок. Спайности нет. Тв. 3,5–4. Уд. в. = 4,2. Главные линии на рентгенограммах: 3,03(10)-1,855(10)-1,586(10)

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Зернистые массы. В виде кристаллов встречается редко.

*Диагностика* Цвет, твердость, спутники.

*Генезис.* Гидротермальный.

*Спутники.* Пирит, галенит, сфалерит, кварц, медь.

*Полезные свойства.* Содержание меди — важная медная руда.

**89. Галенит** —  $\text{PbS}$ . Кубич. с.  $a = 5,936$ .

*Химия.*  $\text{Pb} = 86,6 \%$ ,  $\text{S} = 13,4 \%$ . Часто содержит серебро.

*Физические свойства.* Цвет свинцово-серый. Блеск металлический. Спайность совершенная по кубу. Тв. 2,5. Уд. в. = 7,5. Главные линии на рентгенограммах: 3,44(9)-2,965(10)-2,093(10)-1,780(9)

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Зернистые массы.

*Диагностика.* Тяжелый, спутники, спайность.

*Генезис.* Гидротермальный.

*Спутники.* Сфаленит, пирит, халькопирит, кварц.

*Полезные свойства.* Содержит свинец — важная свинцовая руда.

**90. Сфалерит** —  $\text{ZnS}$ . Кубич. с.  $a = 5,40$ .

*Химия.*  $\text{Zn} = 67,0 \%$ ,  $\text{S} = 33,0 \%$ . Примесь Fe и Cd.

*Физические свойства.* Цвет от почти бесцветного, желтоватого до темно-бурого и черного. Черта белая. Блеск алмазный. Спайность совершенная. Тв. 3,5–4. Уд. в. = 3,9–4,1. Главные линии на рентгенограммах: 3,116(10)-1,908(9)-1,630(8)

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Зернистые массы.

*Диагностика.* Алмазный блеск, черта, цвет, спутники.

*Генезис.* Гидротермальный.

*Спутники.* Галенит, кварц, кальцит.

*Полезные свойства.* Содержание цинка — руда на цинк.

91. **Киноварь** –  $\text{HgS}$ . Тригон. с.  $a = 4,146$ ;  $c = 9,497$ .

*Химия.*  $\text{Hg} = 86,2 \%$ ,  $\text{S} = 13,8 \%$ .

*Физические свойства.* Цвет красный. Блеск алмазный. Черта красная. Спайность совершенная. Тв. 2–2,5. Уд. в. = 8–8,2. Главные линии на рентгенограммах: 3,37(10)-3,16(8)-2,869(10)-2,074(8)

$N_g = 3,27$ ,  $N_m = 2,91$ .

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Вкрапленность, налеты, примазки.

*Диагностика.* Цвет, блеск, твердость, вес.

*Генезис.* Гидротермальный при низких температурах.

*Спутники.* Галенит, кварц, кальцит.

*Полезные свойства.* Содержание ртути – важная руда на ртуть. Краска.

92. **Молибденит** –  $\text{MoS}_2$ . Гексаг. с.  $a = 3,16$ ;  $c = 12,32$ .

*Химия.*  $\text{Mo} = 60,0 \%$ ,  $\text{S} = 40,0 \%$ . Содержит рений.

*Физические свойства.* Цвет стально-серый, черта голубоватая, спайность весьма совершенная. Тв. 1. Уд. в. = 4,7–5. Пишет по бумаге. Блеск металлический. Главные линии на рентгенограммах: 6,01(10)-2,27(8)-1,82(5)

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Чешуйчатые и листоватые агрегаты.

*Диагностика.* Твердость, блеск, черта, парагенезис.

*Генезис.* Гидротермальный высокотемпературный.

*Спутники.* Вольфрамит, касситерит, кварц, пирит.

*Полезные свойства.* Содержит молибден – важная руда на молибден.

### Тип. III. Класс I. Простые оксиды

93. **Гематит** –  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Тригон. с.  $a = 5,029$ ;  $c = 13,73$ .

*Химия.*  $\text{Fe} = 70,0 \%$ ,  $\text{O} = 30,0 \%$ .

*Физические свойства.* Буровато-черный, черта вишнево-красная. Блеск полуметаллический. Спайности нет. Тв. 5,5–6,0. Уд. в. = 5,0–5,2. Главные линии на рентгенограммах: 3,67(7)-2,689(10)-2,508(8)-2,197(7)

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Сплошные плотные скрытокристаллические массы, листоватые агрегаты, натечные формы.

*Диагностика.* Черта, твердость и линии на рентгенограммах.

*Генезис.* Магматический, метаморфический.

*Спутники.* Кварц и карбонаты, магнетит.

*Полезные свойства.* Содержание железа – важная руда.

94. **Корунд** –  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Тригон. с.  $a = 4,751$ ;  $c = 12,97$ .

*Химия.*  $\text{Al} = 52,9 \%$ ,  $\text{O} = 47,1 \%$ .

*Физические свойства.* Серый, синий (сапфир), красный (рубин). Блеск стеклянный. Спайности нет. Тв. 9. Уд. в. = 4.  $N_g = 1,768$ ,  $N_m = 1,760$ . Главные линии на рентгенограммах: 2,543(6)-2,081(9)-1,738(5)-1,599(10)

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Боченкообразные кристаллы.

*Диагностика.* Твердость

*Генезис.* Контактного-метаморфического.

*Спутники.* Магнетит, диаспор, слюда, пирит.

*Полезные свойства.* Абразивность. Используется как абразивный материал, а красивые разновидности в ювелирном деле.

95. **Касситерит** –  $\text{SnO}_2$ . Тетрагон. с.  $a = 4,72$ ,  $c = 3,17$ .

*Химия.*  $\text{Sn} = 78,8 \%$ ,  $\text{O} = 21,2 \%$ .

*Физические свойства.* Цвет желтоватый, коричневатый. Черта коричневая. Тв. 6–7. Уд. в. = 6,9.  $N_g = 2,09$ .  $N_m = 1,99$ . Спайности нет. Главные линии на рентгенограммах: 3,333(5)-2,631(6)-1,758(8)-1,213(6)

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Кристаллы бипирамидальные. Сплошные зернистые массы.

*Диагностика.* Твердость. Черта. Линии на рентгенограммах.

*Генезис.* Пегматитовый и гидротермальный.

*Спутники.* Молибденит, арсенопирит, турмалин, флюорит.

*Полезные свойства.* Содержание олова, поэтому является важной рудой на олово.

96. **Пирролюзит** –  $\text{MnO}_2$ . Тетрагон. с.  $a = 4,38$ ,  $c = 2,85$ .

*Химия.*  $\text{Mn} = 63,1 \%$ ,  $\text{O} = 36,9 \%$ . Примеси до 2 %  $\text{H}_2\text{O}$ .

*Физические свойства.* Цвет железно-черный. Блеск металлический. Тв. 5 у кристаллов, а землистые массы пачкают руки.. Уд. в. = 4,8. Черта черная. Хрупкий. Главные линии на рентгенограммах: 3,096(10)-2,396(6)-2,108(4)-1,964(4)-1,618(8)

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Радиально-лучистые агрегаты. Оолиты и землистые массы.

*Диагностика.* Черная черта. Линии на рентгенограммах.

*Генезис.* Экзогенный.

*Спутники.* Псилометан и др. окислы марганца.

*Полезные свойства.* Содержание марганца – используется как важная руда на марганец.

97. **Магнетит** –  $\text{FeFe}_2\text{O}_4$ . Кубич. с.  $a = 8,374$ .

*Химия.*  $\text{FeO} = 31,03 \%$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 68,97 \%$ .

*Физические свойства.* Цвет черный. Блеск металлический. Спайности нет. Тв. 6. Уд. в. = 5,17. Главные линии на рентгенограммах: 2,99(6)-2,541(10)-2,098(7)-1,612(9)

*Морфология кристаллов и агрегатов.* Обычно сплошные массы, реже кристаллы в форме октаэдров.

*Диагностика.* Черта, магнитность.

*Генезис.* Магматический, контактово-метаморфический.

*Спутники.* Гематит, гранат, апатит, пирит, хромит, серпентин.

*Полезные свойства.* Содержание железа – важная руда.

## ОПИСАНИЕ МИНЕРАЛОВ

<i>N</i>	<i>стр.</i>		
Авгит (61) .....	73	Глауконит (14) .....	35
Актинолит (65) .....	75	Графит (85) .....	87
Аллофан (54) .....	66	Диаспор (1) .....	24
Алмаз (84) .....	87	Диопсид (62) .....	74
Альбит (74) .....	81	Доломит (79) .....	84
Альмандин (60) .....	73	Золото (83) .....	86
Анальцит (48) .....	62	Каинит (22) .....	43
Ангидрит (25) .....	45	Кальцит (77) .....	82
Анортит (75) .....	81	Каолинит (15) .....	35
Астраханит (20) .....	42	Карналит (36) .....	50
Бемит (2) .....	25	Касситерит (95) .....	91
Биотит (68) .....	77	Кварц (71) .....	79
Бишофит (33) .....	49	Кизерит (23) .....	43
Брусит (4) .....	26	Киноварь (91) .....	90
Бура (41) .....	53	Клинохлор (17) .....	36
Буркеит (26) .....	45	Корунд (94) .....	91
Везувиан (58) .....	72	Лёд (9) .....	29
Вермикулит (53) .....	65	Лепидокроксит (6) .....	27
Галенит (89) .....	89	Магнесит (78) .....	84
Галит (34) .....	49	Магнетит (97) .....	92
Гармотом (50) .....	63	Медь (82) .....	86
Гейландит (46) .....	61	Микроклин (73) .....	80
Гейлюссит (40) .....	52	Мирабилит (30) .....	47
Гексагидрит (21) .....	42	Молибденит (92) .....	90
Гематит (93) .....	90	Монтмориллонит (16) .....	36
Гётит (5) .....	27	Морденит (45) .....	60
Гидраргиллит (3) .....	26	Мусковит (67) .....	76
Гидроксилapatит (81) .....	85	Натрон (сода) (38) .....	51
Гидробиотит (13) .....	34	Нефелин (76) .....	82
Гидроборацит (42) .....	53	Нортупит (37) .....	51
Гидромусковит (12) .....	32	Оливин (55) .....	71
Гиперстен (63) .....	74	Опал (8) .....	28
Гипс (29) .....	47	Ортоклаз (72) .....	72
Глазерит (27) .....	46	Пальгорскит (51) .....	63
Глауберит (28) .....	46	Пеннин (18) .....	37

Пирит (87).....	88	Ставролит (56).....	71
Пиролозит (96) .....	91	Сфалерит (90) .....	89
Пироп (59).....	72	Тальк (10).....	30
Пирофиллит (11) .....	31	Тенардит (32).....	48
Полигалит (31).....	48	Тремолит (66) .....	76
Псилометан (7).....	28	Термонарит (39).....	52
Роговая обманка (64).....	75	Флогопит (69) .....	77
Селитра калиевая (44).....	54	Фосфат (49) .....	63
Селитра натриевая (43).....	54	Халькопирит (88).....	89
Сепиолит (52) .....	64	Шабазит (47).....	62
Сера (86) .....	88	Шамозит (19).....	38
Серпентин (70) .....	78	Эпидот (57) .....	72
Сидерит (80) .....	84	Эпсомит (24).....	45
Сильвин (35) .....	50		

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бетехтин А.Г. Курс минералогии.— М.: Госгеолиздат, 1961.— 539 с.
2. Буллах А.Г. Общая минералогия.— СПб: СПб ун-т, 1999.— 356 с.
3. Костое И. Минералогия.— М.: МИР, 1971.— 584 с.
4. Лазаренко Е.К. Курс минералогии.— М.: Высш. шк., 1971.— 607 с.
5. Нырков А.А., Кобилев А.Г. Термоаналитическое изучение цеолитов / Тр. 6-го совещ. по экспер. и техн. минералогии и петрографии.— М.: АН СССР, 1962.— С. 152–158.
6. Нырков А.А. Гидрослюды в осадочной оболочке Земли. Дисс. д-ра геол.-мин. наук.— Новосибирск: Ин-т геол. и геофизики РАН, 1989.— 393 с.
7. Попов Г.М., Шафрановский И.И. Кристаллография.— М.: Высш. шк., 1964.— 352 с.
8. Поваренных А.С. Кристаллохимическая классификация минеральных видов.— Киев: Наукова думка, 1966.— 547 с.
9. Термический анализ минералов и горных пород.— Л.: Недра, 1974.— 399 с.
10. Цветков А.И. Диагностика и количественные определения минералов осадочных пород с помощью термического анализа / Методы изучения осадочных пород. Т. 1.— М.: Гос. науч.-техн. изд-во, 1957.— С. 421–442.



*Учебное издание*

**Нырков** Анатолий Алексеевич  
**Нырков** Евгений Анатольевич

**МИНЕРАЛОГИЯ  
ДЛЯ ГИДРОГЕОЛОГОВ**

Компьютерная верстка *О.В. Сиукова*

Подписано в печать 10.07.2008.  
Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная. Ризография.  
Усл. печ. л. 5,58. Тир. 100 экз. Заказ № 510.

Издательство ЮРГТУ (НПИ)  
346428, Новочеркасск, ул. Просвещения, 132  
Тел., факс (863-52) 5-53-03



Первое издание этого пособия быстро разошлось и показало, что имеется невыполненный спрос. Поэтому, учтя замечания и пожелания читателей, мы решили повторить публикацию «Минералогии для гидрогеологов».