

**ИТОГИ  
НАУКИ  
И ТЕХНИКИ**

**КРИСТАЛЛОХИМИЯ**

Том 32

**ИТОГИ  
НАУКИ  
И ТЕХНИКИ**

**КРИСТАЛЛОХИМИЯ**

**Том 32**

# 1. ВВЕДЕНИЕ

Во второй половине XX века появились три новых науки: генетика, кибернетика и теория классификации. Хорошо известно, как были приняты в СССР первые две. Появление же третьей - просто не заметили. Исключением, может быть, было только то, что при сдаче очередной статьи в редакцию журнала, авторам пришлось писать кроме названия статьи еще и № по УДК (Универсальная десятичная классификация). Практически никто из авторов в существо УДК не вникал. Номер ставился по аналогии с предыдущими статьями, своими или чужими, уже напечатанными на близкую тему. Появление этой науки оставалось незамеченным, вероятно, из-за того, что людям приходилось всегда что-то в своей жизни классифицировать, чуть ли не с каменного века (например, явления природы или повседневные объекты). Поэтому этот процесс воспринимался как интуитивный. Между тем теория классификации продолжала развиваться, и в частности, появился новый раздел математики «Теория множеств». Эти вопросы достаточно подробно изложены в книге [6].

В развитых странах стали появляться национальные общества по классификации, стали проводиться соответствующие совещания: национальные и международные. Начали издаваться два международных журнала: *International Classification* (выходит с 1974 г. Сейчас называется *Knowledge Organization*) и *Journal of Classification*, выходящий с 1984 г. После внедрения классификации УДК в практику повседневной жизни научных работников, особенно остро возник вопрос о проблеме естественности классификации. Ни у кого не возникало сомнений, что УДК - чисто искусственная классификация. Каковы же должны быть критерии степени естественности или искусственности классификаций?

Дискуссии, возникшей на обсуждении этой проблемы за круглым столом на Первой всесоюзной школе-семинаре по теории классификации (Борок, 1979), была посвящена специальная статья В.Ю. Забродина «О критериях естественности классификации» [11]. Она опубликована в журнале «Научно-техническая информация». Серия 2, № 8, стр. 22-24. На этой дискуссии мною высказана мысль, что естественная классификация (ЕК) одновременно является и законом природы (например, Периодическая система химических элементов или симметрия кристаллов). Искусственные классификации (ИК) могут в какой-то степени приближаться к естественным (например, биологические классификации), т.е. быть промежуточными (ПК) или же быть чисто искусственными (например, алфавитные списки). У последних единст-

венной целью является поисковая система. Против такой трактовки практически никто не возражал [11].

Вторая идея, высказанная мною там же, заключается в том, что для создания классификации химических соединений (и в частности минералов) надо использовать периодический закон (систему) химических элементов (ПСХЭ). Каждая классификация должна строиться на существенных свойствах (признаках). Это принимается всеми. Но идея выбирать в качестве (свойств) признаков классификации какие-либо подходящие законы природы, т.к. они будут давать заведомо существенные признаки, общего признания не нашла. Может быть, это произошло из-за того, что конкретная классификация минералов мало кого интересовала из участников этого собрания. Между тем, хорошо известно, как иногда бывает трудно из двух возможных признаков выбрать более существенный. (Например, для класса млекопитающих считать факт питания детенышей более существенным, чем наличие в скелете животных этого класса семи шейных позвонков). Как известно, более чем через 100 лет после К. Линнея был найден вид млекопитающих с 9-ю шейными позвонками, и он до сих пор остается единственным. На многих классификациях можно проследить, как со временем менее существенные признаки заменялись более существенными. См. китайскую классификацию животных V в. до Р.Х. В первоначальном виде в ней не было использовано ни одного существенного признака.

### **1.1. Общие вопросы классификации минералов. Идеи Берцелиуса**

Общие вопросы классификации были нами рассмотрены в книге [3] стр.5, которая посвящена систематике природных силикатов, повторять их не будем и коснемся только некоторых добавлений и уточнений, специфических для класса оксидов. Как там было сказано, основным достижением классификации минералов являются работы Я. Берцелиуса [19] (1814-1824), в результате которых всем минералам были приписаны определенные химические формулы. Химический состав явился тем существенным признаком, который был положен в основу новой систематики минералов. Его идея, что минералы являются природными химическими соединениями, постепенно получила всеобщее признание. В качестве примера можно привести широко известный учебник минералогии Дана, в первом издании которого (1837 г.) нет ни одной химической формулы минералов, а во втором - (1844 г.) формулы минералов уже указаны. Развивая электрохимическую теорию и атомное строение химических соединений, Берцелиус писал «...Два тела, обладающие сродством друг к другу и вступающие во взаимный контакт, находятся в противоположных электрических состояниях», т.е. другими словами

он поделил все химические вещества (и в частности минералы) на две части: положительную и отрицательную, т.е. на катионы и анионы. Эту идею позже более четко сформулировал Жерар (1848) «... мы будем называть солями или двойными телами все химические соединения, состоящие из двух частей, одна из которых - металлическая, другая - неметаллическая...». Второе предложение Берцелиуса о классификации минералов по электроотрицательным элементам (т.е. по неметаллам) минералогами не было принято. Он слишком опередил свое время. Еще не был открыт периодический закон (система) химических элементов ПСХЭ (Д.И. Менделеев, 1869 г.).

## 1.2. Деление химических элементов на металлы и неметаллы

Обычно считается, что подавляющее количество неорганических химических соединений состоит из металлов и неметаллов. Эти термины используются для крайних (предельных) значений, а для промежуточных понятий в литературе используется целая серия терминов: неметаллы, полуметаллы, хрупкие металлы, квазиметаллы, полупроводники, металлоиды, метаоксиды, изоляторы и т.д. Границы между этими понятиями, как правило, не оговариваются, простые вещества или соединения, относящиеся к этим понятиям, не перечисляются, поэтому в этом вопросе существует полный хаос.

В XX веке в связи с развитием теории химической связи, началом которой можно считать работы Косселя и Льюиса (1916 г.), появился термин «тип химической связи». В 1926 г. была разработана квантово-механическая теория атома, которая привела к созданию квантовой теории валентности. Постепенно было выяснено, что основных типов химической связи четыре: ионная, ковалентная, металлическая и вандервальсовская. Все эти типы подробно исследовались на атомных структурах кристаллов. Одновременно были изучены и промежуточные случаи, в особенности между ионной и ковалентной связями. Появились такие понятия как «электроотрицательность» (т.е. способность одних атомов химических элементов присоединять электроны от других), которую можно было определять количественно. Эти работы связаны, в частности, с именами Л. Полинга, Е. Музера (1964) и В.Б. Пирсона (1965) и многих других авторов. См. например Э. Партэ [14,31] и С.С. Бацанов [1]. Развитие этого нового направления привело, в частности, к тому, что упомянутые выше многочисленные термины для «неметаллов» почти перестали фигурировать в научной литературе. Однако чтобы осуществить идею Берцелиуса о создании классификации минералов по неметаллам, необходимо все химические элементы четко разделить на металлы и неметаллы. Мы предлагаем для этого использовать ПСХЭ.

### 1.2.1. Выбор таблицы периодической системы химических элементов (ПСХЭ)

Чтобы поделить химические элементы в таблице ПСХЭ на металлы и неметаллы и использовать это деление для классификации минералов, надо, прежде всего, выбрать подходящую таблицу. В книге Д.Н. Трифонова «Периодическая система химических элементов. История в таблицах» [20] (Москва, 1992) говорится о существовании сотен таблиц ПСХЭ. На рис. 1 представлен выбранный вариант таблицы, который, кстати говоря, является сейчас наиболее распространенной формой ПСХЭ, фигурирующей в учебной литературе.

Как же провести на таблице четкую границу между металлами и неметаллами? В выбранной нами таблице (рис. 1) в левой части располагаются металлы. Они занимают все а-подгруппы и часть первых b-подгрупп. Последние b-подгруппы заняты неметаллами, так что граница между металлами и неметаллами проходит где-то в середине b-подгрупп. В физическом энциклопедическом словаре [21] (т. 3, стр. 196) так определяется понятие «металлы». «Металлы - тела, обладающие большой величиной электропроводности, характерным блеском, а также пластичностью (ковкостью). Удельная электропроводность при комнатной температуре  $10^6$ -  $10^4$  ом<sup>-1</sup> см<sup>-1</sup>, тогда как у типичных неметаллов  $\sim 10^{-17}$  ом<sup>-1</sup> см<sup>-1</sup> (у серы)». «В химии металлы отличаются от прочих элементов по характеру их химического сродства, понимая под металлом элементы, легко отдающие электроны при вступлении в химические соединения. Большинство металлических элементов являются металлами и в указанном выше смысле».

Из этих цитат ясно, что термин «металл» используется как для простых веществ, так и для химических элементов. Как простые вещества, металлы при обычных условиях (Р и Т) (или не сильно от них отличающихся), являются твердыми кристаллическими веществами, поэтому в их характеристике целесообразно использовать те свойства, которые всегда используются для этой цели. В первую очередь это будут особенности их атомных структур. Единственным исключением по Р, Т условиям будет ртуть, которая плавится при  $t^0 = -39^{\circ}\text{C}$ .

Структуры кристаллов металлов достаточно однообразны. Подавляющее их количество кристаллизуется в одном из трех типов структур: 1) объемно-центрированной кубической с координационным числом 8; 2) кубической плотнейшей упаковки с к.ч. 12 и 3) гексагональной плотнейшей - тоже с к.ч. 12. Некоторые металлы имеют модификации, структуры которых лишь приближаются к одному из этих типов, т.е. их структуры эти типы немного искажают.

Под термином «неметалл» (или неметаллический элемент) будем подразумевать те простые вещества или химические элементы, у которых хотя бы одно свойство отличается от какого-либо из 4-х основных свойств металлов: электропроводность, блеск, пластичность и атомная структура с большими координационными числами (в подавляющем большинстве случаев - 8 и больше).

	Ia	IIa	IIIa	IVa	Va	VIa	VIIa	VIIIa	Ib	IIb	IIIb	IVb	Vb	VIb	VIIb	VIIIb					
1															H	He					
2	Li	Be									B	C	N	O	F	Ne					
3	Na	Mg									Al	Si	P	S	Cl	Ar					
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr				
								Ni													
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe				
								Pd													
6	Os	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn				
								Pt													
7	Fr	Ra	Ac	Ku	Ns																
								Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
								Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

Рис. 1. Z-граница в периодической системе химических элементов, отделяющая металлы от неметаллов

На рис. 1 сплошными линиями проведена граница (которую в дальнейшем будем называть Z-границей), отделяющая металлы от неметаллов.

Как сказано в первой цитате из Физического энциклопедического словаря, металлы противопоставляются одному типичному неметаллу, а сам термин «неметалл» в словаре отсутствует. Действительно, неметаллы отличаются друг от друга резче и разнообразнее, чем одни металлы от других. Для элементов, стоящих правее Z-границы, для противопоставления их металлам в литературе используются разнообразные термины, упомянутые выше. Все эти термины часто характеризуют какую-то часть из этих элементов. Для всех этих элементов и соответствующих им простых веществ мы будем ис-

пользовать один термин - неметаллы и не делить их на типичные и нетипичные и т. п.

### 1.2.2. Кристаллическая структура простых веществ. Определение Z-границы в ПСХЭ, делящей все химические элементы на металлы и неметаллы

Все неметаллы помимо отличия от металлов по первым трем свойствам, отличаются от них и по атомным структурам. Для классификации минералов в качестве свойств ПСХЭ целесообразнее использовать свойства соответствующих простых веществ, а не самих химических элементов (см. соответствующие определения в [3, 26] стр.25), т. к. многие простые вещества в обычных условиях сами являются, как и все минералы, кристаллическими веществами (медь, железо, серебро, золото, сера, мышьяк, графит, алмаз и др.). Структуры большинства неметаллов подчиняются правилу Юма-Розери. В их атомных структурах координационное число равно  $8-N$ , где  $N$  - номер группы в ПСХЭ. Это объясняется тем, что атомы в этих структурах образуют соответствующее число ковалентных связей. Так у трех элементов IV- b группы - алмаза, кремния и германия структуры действительно имеют к.ч. 4. Углерод, как известно, имеет еще модификацию графита, кристаллическая структура которого имеет к.ч. 3. Структура олова имеет к.ч. 6, а соседний с углеродом бор вместо к.ч. 5 имеет структуру с координационными числами 4 и 6. В структурах простых веществ элементов V- b группы к.ч. 3 кроме азота, в структуре которого расположены двухатомные молекулы, аналогичная структура у кристаллов кислорода. Более тяжелые элементы IV-b группы имеют к.ч. 2. Их структуры построены из кольцевых молекул или из бесконечных цепочек. У элементов VII группы к.ч. 1, т. к. все они, включая и водород, построены из двухатомных молекул. Благородные газы имеют структуры плотнейших упаковок. Формально можно считать, что они тоже подчиняются правилу Юма-Розери, т. к. на ковалентном расстоянии у них нет ни одного атома  $8-8=0$ . Связи между атомами во всех этих структурах только ван-дер-ваальсовские.

Итак, Z-граница в ПСХЭ делит все элементы на две части: металлы, которые имеют кристаллические структуры с к.ч. 8 и больше, и неметаллы, у которых структуры имеют к.ч. 6 и меньше.

### 1.2.3. Реализация 2-ой идеи Берцелиуса о классификации минералов по неметаллам

Вторая идея Берцелиуса о том, что минералы надо классифицировать по электроотрицательным элементам могла быть полностью реализована только в наше время. Не все химические элементы встречаются в природе (например, искусственные элементы, находящиеся в ПСХЭ за ураном). Часть элементов не встречается в качестве существенной части химического состава минералов. Они присутствуют в минералах только в виде очень небольших изоморфных примесей. Подобные случаи в разделе металлов мы рассматривать не будем, т. к. всю классификацию ведем по неметаллам. Среди неметаллов часть элементов в минералах не встречаются (например, благородные газы). Поэтому эти элементы не фигурируют в минералогических классификациях. На рис. 1 в разделе неметаллов они отделены пунктирными линиями.

Резюмируя все, сказанное выше, можно констатировать, что все начальные таксоны предлагаемой классификации минералов основываются на 19 неметаллических химических элементах, а вся классификация на ПСХЭ. Ниже все эти 19 элементов переписаны в ряд слева-направо сверху-вниз по ПСХЭ:

V, C, Si, Ge, Sn, N, P, As, Sb, Bi, O, S, Se, Te, (H)OH, F, Cl, Br, I.

Водород, в отличие от всех других элементов VII-b подгруппы, в качестве аниона  $H^-$  в минералах не встречается, но химические соединения такого состава хорошо известны, например  $LiH$ ,  $NaN$  и др. В составе же гидроксильного иона  $OH^-$  водород чрезвычайно распространен в минералах. И в этом виде кристаллохимически он очень сходен как с ионом фтора и другими галогенами, так и с ионом кислорода -  $O^{2-}$ , поэтому в ряду неметаллов гидроксил целесообразно помещать первым в VII-b подгруппе.

Говоря о неметаллической части состава минералов, будем использовать три термина: соответствующий химический элемент в составе минерала единственный, преобладающий или предпочитаемый. Первый термин ясен без объяснений. Преобладать элемент может, находясь в комплексном ионе (например, в составе кальцита -  $CaCO_3$ , кислород преобладает над углеродом), но оба неметаллических элемента могут быть и свободными (см. дамараит -  $Pb_4O_3Cl_2$ ).

Приведенный выше ряд неметаллов можно назвать рядом предпочтения. В том случае, когда два неметалла присутствуют в составе минерала в равном количестве, а нам надо отнести в соответствующее место классификации по одному из них, то всегда предпочитается тот элемент, который стоит в упомянутом ряду раньше. Так если выбор предполагается между O и Cl,

выбирается O; если между O и OH, тоже выбирается O [терлингвайт -  $\text{Hg}_2\text{OCl}$ , диаспор  $\text{AlO}(\text{OH})$ ). Оба относятся к классу оксидов, (6100)]. (Числовые индексы см. ниже). Могут быть случаи, когда соответствующий выбор должен быть сделан независимо от относительного числа того или иного элемента. В этом случае предпочтение специально оговаривается.

При разработке классификации надо иметь в виду, что атомы неметаллов могут быть в составе минерала не только одиночными анионами, но и образовывать комплексные анионы типа  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  и т.п. Кроме того, некоторые тяжелые неметаллы могут играть роль металла. В химии хорошо известны, например, соединения олова  $\text{Mg}_2\text{Sn}$  и  $\text{SnO}_2$ . Эти случаи чаще всего приводят к недоразумениям в классификации. При сочетании в составе минералов одновременно легких наиболее электроотрицательных (O, S и др.) и тяжелых атомов неметаллов (например, Sb, Te, Sn и др.) тяжелые неметаллы являются катионами. По той же причине подобные минералы в подавляющем числе учебников минералогии рассматриваются в одном разделе (оксидов) (цинкит -  $\text{ZnO}$  и ромаркит -  $\text{SnO}$ , рутил -  $\text{TiO}_2$  и теллурид -  $\text{TeO}_2$ , корунд -  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и валентинит -  $\text{Sb}_2\text{O}_3$ ). Иногда даже тяжелые неметаллы в составе минералов изоморфно замещаются обычными металлами. См. например бисмутостибиконит -  $\text{Bi}(\text{Sb}^{5+}, \text{Fe}^{3+})_2\text{O}_7$ .

### 1.3. Современное состояние классификации минералов

Посмотрим, как называются первые два таксона, на которые делится «царство минералов» в современной минералогической литературе.

*Таблица 1. Первые два деления (таксоны) в классификации минералов по данным разных авторов*

<i>Автор, ф.и.о. (год)</i>	<i>Первое деление</i>	<i>Второе деление</i>	<i>Лит. ссылка</i>
А.А.Годовиков(1979)	2 подцарства	6 типов	[7]
А.С.Поваренных (1966)	4 типа	22 класса	[15]
А.Г.Булах и др.(1995)	4 типа	20 классов	[27]
А.А.Годовиков (1975)	5 типов	16 классов	[8]
А.Г.Бетехтин (1950)	6 разделов	18 классов	[2]
Е.С.Дана (1937)	8 без названия	24 без названия	[9]
А.Г. Булах (1999)	9 типов	29 классов	*)
Г.Штрунц (1978)	9 классов	39 отрядов	[32]
Е.И.Семенов (1991)	9 классов	57 подклассов	[17]

А.Н.Винчелл, Х.Винчелл (1953)	10 без названия	19 без названия	[5]
И.Костов (1971)	12 классов	23 А,Б,В...	[12]
К.Херлбат, К.Клейи (1982)	13 без названия	24 без названия	[23]
И.Костов (1993)	13 классов	37 без названия	[13]
Е.И.Семенов (1981)	18 классов	118 подклассов	[16]
Новая минералогия Дана. 8-е изд. (1997)	22 без названия	78 классов	[29]
А.М.Кларк (1993)	32 без названия		[28]
Предложено	7 подцарств	21 тип	[3]

\*<sup>1</sup> А.Г. Булах "Общая минералогия". Из-во С. Петербургского Университета. с. 353, 1999.

(К сожалению, на странице 23 [3], где впервые приведена эта таблица, имеется опечатка в названии подцарства: вместо «подцарств» напечатано «подкласс». В английском издании [26] этой опечатки нет. Нет ее и в дальнейшем тексте).

В последних двух ссылках: у Дана [29] (после 78 классов) и у Кларка [28] (после 32 разделов без названия) приведены подразделения из 4 чисел у первого и 2-х или 3-х у второго. Таксоны этих числовых подразделений никак не называются.

Поражает полнейший хаос, который существует в этом вопросе в современной минералогической литературе. Даже в том случае, когда авторы два раза в разное время публикуют свои работы, в которых фигурируют системы классификации, то они обязательно оказываются разными. При этом никогда ничего не сказано, почему произошла замена. Возникает вопрос: на сколько же лет отстала минералогическая классификация, скажем, от зоологической? Что же есть общего во всех этих классификациях? Оказывается, что все же один момент является общим! В основу всех упомянутых выше классификаций положен химический состав. Эта идея, как говорилось выше, принадлежала Берцелиусу (1824 г.) и постепенно она была принята всеми минералогами.

Из таблицы 1 ясно, что в современной минералогии вопрос о классификации минералов так и остался на уровне работ Берцелиуса 1824, т.е. что он отстал от биологических классификаций более чем на 170 лет. Своей задачей мы видим ликвидацию этого отставания.

#### 1.4. Первые два таксона в классификации царства минералов

Разделение таблицы периодической системы химических элементов на металлы и неметаллы и использование идеи Берцелиуса, что в основе классификации химических соединений (и в частности минералов) должны быть

положены неметаллические элементы, позволяет выделить первые два таксона этой классификации. Воспользуемся для этой цели соответствующими терминами из биологических классификаций. Там первые два таксона, на которые делится соответствующее «царство» (например, царство животных) называют «подцарства» и «типы».

Использование первых двух таксонов для современной классификации минералов изложено [3] на стр. 27. Их 7 и 21. Действительно большинство минералов принадлежит соединениям, в составе которых есть металлы и неметаллы (назовем их основными). Их можно разделить на 5 подцарств, в состав которых включаются неметаллы по группам ПСХЭ с Ш-b по VII-b и любые металлы. Но начать классификацию на подцарства надо с двух дополнительных подцарств, в которых состав минералов состоит из одних металлов, затем во втором подцарстве из одних неметаллов, т.е. подцарств будет 7. Один из них (бориды) будет пустым. Второй таксон «типы» получается, если у дополнительных двух подцарств посчитать по одному типу и добавить к ним 19 типов соответственно всем 19-ти неметаллам (точнее 18 и ОН), которые выделены нами выше в таблице ПСХЭ. Два из них будут пустыми см. табл. 2. В ряде соединений водород, теряя свой единственный электрон, играет роль катиона, и в этом случае он становится аналогом щелочных металлов. По этой причине в ряде таблиц ПСХЭ он и помещается в I-a подгруппе. Однако в качестве существенного признака для классификации минералов мы выбрали не свойства самих химических элементов, а свойства их простых веществ и в первую очередь типы их кристаллических структур. Структура кристаллического водорода состоит из двухатомных молекул и является полным аналогом кристаллических структур галогенов: F, Cl и др.

### 1.5. Десятичная классификация

Поскольку разрабатываемая нами классификация минералов базируется на ПСХЭ, а в ней 8 групп и не более 6-ти элементов в каждой подгруппе, постольку для характеристики ее таксонов целесообразно использовать десятичную систему.

Все подцарства будут характеризоваться первой цифрой десятичного символа (от 1 до 7), а типы - двумя (см. табл. 2).

Таблица 2. Десятичные символы для подцарств и типов в классификации минералов

Под- царство	1	2	3*	4	5	6	7
Тип	11	21	31*	41 42 43* 44	51 52 53 54 55	61 62 63 64	71 72 73 74 75
Неметалл	нет	любой	B	C Si Ge Sn	N P As Sb Bi	O S Se Te	OH F Cl Br I

• минералов нет

Третий и четвертый индексы в классах также определяются номером группы ПСХЭ и положением второго элемента в этой группе сверху вниз. Так, например кальцит -  $\text{CaCO}_3$  относится к классу карбонатов 6141/. Первые два индекса символа относятся к преобладающему химическому элементу, третий и четвертый - ко второму. Если же класс определяется одним единственным неметаллом, то третий и четвертый индексы у него будут нулями (например, класс оксидов будет 6100/). Наклонной чертой отделяется индекс класса от более низких таксонов.

## 1.6. Деление минералов на классы

Термин "класс", как видно из Табл. 1, является самым распространенным термином, фигурирующим в современных классификациях минералов. Обычно он используется для первого или второго таксона.

Таксон «класс» для минералов по аналогии с зоологической классификацией мы поместили на четвертое место, см. табл. 3 [3] стр. 37-38. Основанием для этой аналогии, как сказано выше, служит то обстоятельство, что для обеих классификаций, в отличие от многочисленных технических классификаций, объектами служат индивиды, существующие независимо от человеческой деятельности. В зоологии класс млекопитающих входит в подтип позвоночных, тип хордовых и подцарство многоклеточных.

В указанной таблице 3 перечислены реально существующие в минералогии 47 классов (и еще 5 пустых, которые в первой графе этой таблицы помечены звездочками). Эта таблица предварительная. Она может быть уточнена только после окончательной разработки всей систематики минералов. Классы можно поделить на классы, определяющиеся одним или двумя неметаллами. В первом случае в их символе третье и четвертое место будет занято двумя нулями. Таких классов будет 21 соответственно 18 химическим элементам из неметаллов, классу с гидроксильными ионами (7100) и двумя классами с одними металлами (1100) и с одними неметаллами (2100). В группу с одним неметаллом попадет также класс оксидов (6100), которому

посвящена настоящая работа, т. к. он определяется атомом кислорода, расположенным первым в VI-b подгруппе ПСХЭ. Остальные классы характеризуются двумя неметаллами, образующими комплексные ионы. В них, в частности, входят те классы, в которых одним из атомов неметаллов в преобладающем количестве будет кислород. Таких реально существующих классов еще 13 (6131 - бораты, 6141 - карбонаты и т.д.). К ним также примыкают еще 2 класса с гидроксиллами (один был упомянут выше 7100, а также класс германатов - 6143). Имеется также много минералов, содержащих кислород, в классе 2100, т.е. состоящих из одних неметаллов (см. ниже).

Таким образом, во многих классах минералов содержится кислород. Поскольку в этих классах обычно много минеральных видов, постольку именно среди них в различных учебниках и монографиях по минералогии авторами и выделяются специальные классы: бораты, карбонаты, сульфаты, силикаты и т. п.

Таксон класс является очень важным из-за того, что отнесение к тому или иному классу конкретного минерала в большинстве случаев возможно на основании только химического анализа. Все более низкие таксоны требуют уже знания атомных структур.

*Таблица 3. Классы минеральных видов*

<b>Индекс</b>	<b>Название и характеристика</b>	<b>Пример</b>
1100	Металлы	Cu, Cu <sub>7</sub> Au
2100	Неметаллы	S, AsS
3100*	Бориды	TiB
4100	Карбиды	Fe <sub>3</sub> C
4141	Соединения металлов с анионами, содержащи-ми С-С связь	Fe(C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O
4151	Соединения металлов с анионами, содержащи-ми С-N связь	K <sub>4</sub> Fe(CN) <sub>6</sub> ·H <sub>2</sub> O
4200	Силициды	Fe <sub>3</sub> Si
4300*	Германиды	Mg <sub>2</sub> Ge
4400	Станниды	Pd <sub>7</sub> Sn <sub>2</sub> P
5100	Нитриды	Fe <sub>3</sub> N <sub>2</sub>
5200	Фосфиды	(Fe,Ni) <sub>3</sub> P
5300	Арсениды	Cu <sub>7</sub> As
5400	Стнибиды	Ag <sub>3</sub> Sb
5500	Висмутиды	Au <sub>2</sub> Bi
6100	Оксиды	MgO
6131	Бораты	Mg <sub>3</sub> (BO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
6141	Карбонаты	Ca(CO <sub>3</sub> )
6142	Силикаты	Mg <sub>2</sub> (SiO <sub>4</sub> )
6143*	Германаты	Sr(GeO <sub>4</sub> )
6144	Станнаты	Ta <sub>2</sub> (SnO <sub>4</sub> )O <sub>3</sub>

6151	Нитраты	$\text{NaNO}_3$
6152	Фосфаты	$\text{Mg}_2(\text{PO}_4)\text{F}$
6153	Арсенаты	$\text{Zn}_2(\text{AsO}_4)\text{OH}$
6154	Стибаты	$\text{Ta}(\text{SbO}_4)$
6155	Висмутаты	$\text{V}_2(\text{BiO}_4)$
6162	Сульфаты	$\text{K}_2(\text{SO}_4)$
6163	Селенаты	$\text{Cu}(\text{SeO}_3) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
6164	Теляураты	$\text{Fe}_2(\text{TeO}_3) \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
6173*	Хлораты	$\text{Na}(\text{ClO}_3)$
6174*	Броматы	$\text{K}(\text{BrO}_3)$
6175	Иодаты	$\text{Ca}(\text{IO}_3)$
6200	Сульфиды	$\text{ZnS}$
6243	Тиогерманаты	$\text{Ag}_8(\text{GeSe}_6)$
6244	Тностаннаты	$\text{Cu}_2\text{Fe}(\text{SnS}_4)$
6253	Тноарсенаты	$\text{Ag}_3(\text{AsS}_3)$
6254	Тноантимонаты	$\text{Cu}_3(\text{SbS}_4)$
6255	Тновисмутаты	$\text{Pb}(\text{BiS}_4)$
6300	Селениды	$\text{Cu}_2\text{Se}$
6353	Селеноарсенаты	$(\text{Cu}, \text{Zn}, \text{Ag})_{12}(\text{As}, \text{Sb})_4(\text{Se}, \text{S})_{13}$
6354	Селеноантимонаты	$\text{Cu}_3(\text{SbSe}_4)$
6355	Селеновисмутаты	$\text{AgBiSe}_2$
6400	Теллуриды	$\text{Ag}_2\text{Te}$
6454	Теллуриантимонаты	$\text{Pb}_1(\text{SbTe}_4)$
6455	Теллуровисмутаты	$\text{AgBiTe}_7$
7100	Гидроксиды	$\text{Mg}(\text{OH})_2$
7143	Гидроксогерманаты	$\text{FeGe}(\text{OH})_6$
7200	Фториды	$\text{CaF}_2$
7231	Фторобораты	$\text{Na}_2(\text{BF}_4)$
7242	Фторосиликаты	$\text{Na}_2(\text{SiF}_6)$
7300	Хлориды	$\text{NaCl}$
7400	Бромиды	$\text{AgBr}$
7500	Иодиды	$\text{AgI}$

Всего: подцарств  $7(-1)=6$ , типов  $21(-2)=19$ , подтипов  $35(-2)=33$ , классов  $52(-5)=47$ . В первой графе таблицы стоят числа первых четырех индексов классов в царстве минералов. После разработки всей системы классификации минералов число классов уточнится.

## 1.7. Определение понятия низшего таксона – вида

Очень важным вопросом всякой систематики является определение низшего таксона - вида. Даже для самых развитых в мире классификаций, каковыми являются биологические классификации, этот вопрос дискутируется до сих пор. Проблема вида тесно связана с общей проблемой более низких таксонов, чем вид. К ним относятся такие понятия, как различные разновидности. Для вида *homo sapiens* давно дискутировался вопрос о таксоне раса,

национальность и т.п., хотя упомянутые только что понятия всеми сейчас признаются более низкими таксонами, чем вид. В некоторых случаях, например для домашних животных, такой, заведомо более низкий таксон, чем вид, - порода не всегда по внешним признакам выглядит разновидностью вида. Например, некоторые породы собак: таксы, овчарки и сенбернары отличаются одна от другой резче чем, скажем, отличаются вид шакалов от вида волков. Аналогичные вопросы иногда возникают и при классификации растений.

В минералогии вопрос о виде не менее актуален, чем в биологических науках. В 1974 г. [4] мною было предложено определение. Минеральным видом называется простое вещество или его химическое соединение, выкристаллизовавшееся в результате гео- или космохимического процесса из природной физико-химической системы. Состав минерального вида соответствует компоненту или промежуточному химическому соединению этой системы. (После принятия международной рекомендации об условных границах вида в природных физико-химических системах с непрерывными твердыми растворами это определение стало совершенно строгим). За границы вида в случае образования непрерывных твердых растворов между двумя предельными видами принимается их середина, т.е. 50%, в случае трех видов - 33% и т. д.

В это определение входит слово «выкристаллизовавшееся», т.е. этим подчеркивается то обстоятельство, что минеральные виды являются кристаллическими веществами. Но среди природных минеральных веществ есть и некристаллические: капельки ртути, аморфные (например, янтарь) и метамиктные образования. Как быть с ними? Мы предлагаем их называть не минералами, а минералоидами. В принципе, их не надо включать в тезаурус или включать с соответствующими оговорками. Их очень немного, порядка 1%, но, конечно же, они являются объектами минералогии. Для них должен быть создан другой, специальный тезаурус. В 1985 г., в рамках семинаров по классификации, было организовано специальное совещание для обсуждения понятия «Минеральный вид». Однако никакой реакции у минералогов это начинание не вызвало.

### **1.8. Таксоны, расположенные ниже вида**

После принятия положения о пятидесяти процентном пределе состава изоморфных смесей для разграничения минеральных видов, о котором говорилось в предыдущем параграфе, казалось, что этот вопрос окончательно решен. Однако однозначность решения годится только для простейших случаев.

Если изоморфная смесь расположена в анионной части структуры, то подобные минералы должны быть отнесены к разным классам (т.к. принятая нами классификация основывается на неметаллах) и тем более минеральные виды будут у них различны. Речь, следовательно, идет только об изоморфных смесях в катионной части состава. Если симметрия кристаллов достаточно высока (т.е. они принадлежат к кубической или гексагональной сингонии) и катионы состоят из двух химических элементов, занимающих в атомной структуре одну правильную систему точек - п. с. т. (позиций Вайкова), то рациональность 50%-ного предела не вызывает сомнений. Например, в структурах типа  $\text{NaCl}$ ,  $\text{CaF}_2$  и т.п.

Однако если структура кристалла принадлежит к одной из низших сингоний, а химический состав минерала достаточно сложный, и, следовательно, катионы занимают несколько п. с. т. и, скажем, два химических элемента изоморфно занимают одну из них, а остальные расположены по другим п. с. т., то использование для подобного случая 50% предела становится более сомнительным; лучше, может быть, в таких случаях не разделять подобные изоморфные смеси на два вида, а один из них считать разновидностью второго. См. например [2] Бетехтин, стр. 583 или [33] Штрунц, стр. 204. Оба автора считают ферберит -  $\text{FeWO}_4$ , гюбнерит -  $\text{MnWO}_4$ , и вольфрамит -  $(\text{Mn}, \text{Fe})\text{WO}_4$  тремя самостоятельными минеральными видами. Однако последний логичнее считать разновидностью гюбнерита даже в том случае, если бы было доказано, что в какой-либо одной правильной системе точек, занимаемых металлами, преобладало бы содержание Fe над Mn. В подобных случаях можно удовлетвориться данными химического анализа.

Мне кажется, конкретное обсуждение этого вопроса заслуживает международного внимания. В соответствующих разделах нашей книги в аналогичных случаях мы использовали термин "разновидность" минерального вида.

Остается нерешенным вопрос о таксонах, расположенных ниже вида и, в частности, о политипных модификациях. Считать ли каждую модификацию минеральным видом или разновидностью. Другими словами давать ли каждой политипной модификации свой индивидуальный десятичный символ или объединять всю их совокупность в один символ. Минералогов крайне редко может интересовать какая-либо одна политипная модификация. Поэтому информацию целесообразно давать одновременно для всех модификаций. Для минералогов, вряд ли, интересна какая-либо конкретная политипная модификация, а если таковая все же его заинтересует, то ничего не произойдет, если из какой-либо информационной системы он получит избыточную для него информацию по всем политипным модификациям данного минерала. Гораздо опаснее для исследователя не получить нужной информации, чем получить ее избыток. Однако отдельные модификации могут при-

надлежать к разным сингониям, а это уже заставляет относить их к разным родам, а не только видам. По-видимому, выделять хотя бы иногда кубическую модификацию целесообразно см. например сфалерит и вюрцит, т.к. она будет одна, а тригональных и гексагональных может быть несколько.

Этот вопрос требует, вероятно, специального международного обсуждения. В этой работе мы не принимали определенного решения, а поступали по установившейся в минералогии традиции или же использовали точку зрения авторов соответствующих исследований. Во всяком случае, всегда указывали на наличие политипных модификаций, если авторы их упоминали.

Аналогичные вопросы по другим понятиям, используемым в теории классификации, весьма основательно обсуждаются в работе Партэ [14, 31], к которой мы и отсылаем читателей. Само же понятие «политипной модификации», вероятно, целесообразнее всего считать разновидностью минерального вида и не давать каждой из них своего десятичного индекса. По этой причине мы не будем здесь обсуждать и тем более предлагать варианты решения вопросов, касающихся таксонов ниже вида, вариантов разновидностей и т. д. Необходимо, чтобы разные точки зрения публиковались в печати. Только после их публичного обсуждения можно какой-то вариант рекомендовать для использования (именно рекомендовать, а не требовать). Предлагаемая нами схема классификации минералов и в особенности десятичная система отнюдь не претендует на универсальность. Совершенно ясно, что она не может быть применена к классификации искусственных химических соединений, которых существует уже десятки миллионов (и ежегодно прибавляется их на сотни тысяч), в то время как число известных минералов не достигает, а лишь приближается к 4000 и прибавляется ежегодно максимум на 30-50. Хотя бы по этой причине предлагаемая система может претендовать на большую степень естественности. Уровень ее естественности такого же порядка как у существующих биологических классификаций. Поэтому мы не предлагаем ее сразу использовать, а предлагаем только принять к обсуждению. Это особенно важно потому, что используемые ныне в научной литературе классификации минералов не только не используют принципы естественности (см. [11]), но и лишены основных правил, принятых в мире для всех, в том числе и для чисто искусственных, классификаций. Надо принимать решения по поводу всевозможных последовательностей: в размещении видов, родов и т.д. Даже в последовательности перечисления элементов в химических формулах. Ведь принято только в формуле вначале писать металлы, а потом неметаллы. Ведь галит всегда пишут  $\text{NaCl}$ , а не  $\text{ClNa}$ . Если же в формуле несколько металлов или несколько неметал-

лов, то никакого порядка в их написании уже не существует. Даже, например, ион аммония пишется всегда  $\text{NH}_4^+$ , а ион оксония  $\text{H}_3\text{O}^+$ .

Нет однозначной последовательности в перечислении симметрии. Даже при перечислении сингоний тригональная сингония то фигурирует вместе с гексагональной, то отдельно. В этом случае она располагается то после гексагональной сингонии, то после тетрагональной. Особый произвол существует в перечислении видов симметрии или пространственных групп.

Все аналогичные вопросы, конечно, надо решать, но совершенно обязательно их решать в процессе разработки классификации минералов.

Важен вопрос и с понятием “индивид”. В биологических классификациях он решается просто: одно животное, одно растение. В минералогии этот вопрос совсем не решен. Часто под понятием “минеральный вид” в литературе подразумевается кристалл. Однако это неверно, т.к. разбив какой-то кристалл кварца, мы в каждом куске будем иметь минерал кварц. Этот вопрос достаточно подробно обсуждался нами [3], стр. 41-49. Термин “минерал” тоже в литературе используется по-разному, то это индивид, то агрегат, то минеральный вид. В этой работе мы термин “минерал” всегда будем использовать как синоним термина “минеральный вид”.

## 2. СИСТЕМАТИКА МИНЕРАЛЬНЫХ ВИДОВ В КЛАССЕ ОКСИДОВ, 6100/

В этом классе в составе минералов число свободных атомов кислорода превышает или равно числу других атомов неметаллов, независимо от того, входят ли эти дополнительные атомы неметаллов в комплексные ионы или они являются изолированными. Так, например, корунд -  $Al_2O_3$ , кассит -  $CaTi_2O_4(OH)_2$  будут относиться к классу оксидов, а хеггит -  $V_2O_2(OH)_3$  попадает уже в класс гидроксидов 7100/.

При равенстве числа атомов разных неметаллов в формуле минерала в класс оксидов будут отнесены те минералы, в составе которых кислород будет предпочитаться другим неметаллам, например диаспор -  $AlO(OH)$ . Эти правила, как и используемые ниже, аналогичны и для других классов.

Класс оксидов делится на подклассы по наличию или отсутствию в их составе других (кроме кислорода) неметаллов. Теоретически возможны дополнительные неметаллы из всех подгруппы ПСХЭ, содержащих неметаллы. Однако в III-b подгруппе из неметаллов имеется только бор и во всех соединениях, содержащих бор и кислород, эти два элемента обычно связаны друг с другом в комплексные анионы. В редких случаях имеется еще минимальное число свободных атомов кислорода. Все минералы, содержащие в своем составе металлы, бор и кислород, будем относить к классу боратов - 6131/, а не оксидов.

Кроме неметаллов, входящих в состав анионов в этом классе (как и в некоторых других классах) имеется большая группа минералов, в состав которых входят нейтральные молекулы воды. Такие минералы (гидраты) также целесообразно объединить в один подкласс.

Из сказанного следует, что класс оксидов делится на 6 подклассов:

1) 6100/1 подкласс, в котором в качестве неметаллов присутствуют только атомы кислорода;

2) 6100/4 подкласс, в котором кроме атомов кислорода присутствуют неметаллы из IV-b подгруппы. Могут присутствовать и другие неметаллы, но в количестве меньшем, чем число атомов элементов IV-b подгруппы, или в равном количестве, но когда элементы IV-b подгруппы предпочитают.

3) 6100/5, 4) 6100/6 и 5) 6100/7 подклассы. Те же соображения, что были высказаны в пункте 2), но для подгрупп V-b, VI-b и VII-b ПСХЭ;

6) 6100/9 - гидраты, независимо от их остального состава. Этот признак предпочитается остальным.

После подкласса необходимо определить следующий таксон - отряд. Естественно, что он должен основываться на составе.

Если в классах, которые определяются двумя неметаллическими атомами (например, в классе силикатов отряды определяются отношением числа атомов кислорода к числу атомов кремния, т.е. O:Si), то в классах, определяющихся одним неметаллическим атомом логично этот таксон определять отношением  $\Sigma X$  к  $\Sigma Me$ .

В классе оксидов отношение X:Me колеблется в пределах от 0.50 до 4.00. Эти отношения предложено делить на 9 отрядов (см. табл. 4).

Табл. 4. Наличие отрядов в подклассах класса 6100/

Отряды, подотряды	1	2	3	4	5	6	7	8	9
X:Me	0.5- 1.00	1.01- 1.33	1.34- 1.50	1.51- 1.75	1.76- 2.00	2.01- 2.25	2.26- 2.50	2.51- 3.00	3.01- 4.00
X:Me	1:1	4:3	3:2	7:4	2:1	9:4	5:2	3:1	4:1
/1	+	+	+	+	+	+	+	+	-
/4	-	-	-	+	+	-	+	-	-
/5	-	+	-	-	+	-	+	-	-
/6	-	-	+	+	-	+	-	-	-
/7	+	+	+	+	+	+	+	+	-
/9	-	+	+	+	+	+	+	+	-

знак + указывает на наличие минералов в соответствующем отряде подкласса 6100/1

В строке X:Me отношение  $\Sigma X:\Sigma Me$  отвечает последнему составу минерала в соответствующем отряде.

Каждый отряд характеризуется определенными пределами отношений X:Me. Все минералы, состав которых лежит в этих пределах, принадлежит к соответствующему отряду. Его цифра будет вторым (после символа класса) индексом его десятичного символа. Промежутки отношений X:Me, характеризующие тот или иной отряд, не всегда одинаковы. Они выбраны так, чтобы в большинстве случаев конечное значение отвечало бы распространенному структурному типу, характеризующему род, в котором кристаллизуется много минеральных видов. Равные же промежутки сделаны у отрядов 5, 6 и 7 из-за того, что в последних двух известно много семейств. Подотряды (третья цифра символа) определяются отношениями X:Me конкретных минеральных видов, принадлежащих к данному отряду. В тех редких случаях, когда в качестве дополнительного аниона (т.е. не определяющего высший таксон), в составе минерала присутствует комплексный анион типа  $NO_3^-$ ,

$\text{SO}_4^{2-}$  и т. п., учитываются только атомы кислорода (соответственно 3 или 4). Комплексообразующие атомы в них формально несут положительный заряд (соответственно  $5^+$  или  $6^+$ ), но находятся в анионной части их формул, поэтому их логичнее не учитывать. Та часть объема структуры, которая ими определяется, зависит, главным образом, только от трех или четырех атомов кислорода, а не от размера центрального атома. Так, например, если необходимо рассчитать для определения отряда отношение  $X:\text{Me}$  в минерале четвертого подкласса [нелтнерит -  $\text{CaMn}_6^{3+}\text{O}_8(\text{SiO}_4)$ ], то таким отношением будет  $12:7=1.71$  т.е. он относится к отряду 4, и эта часть его символа будет 6100/44.

В этот подкласс включены минералы, у которых в анионной части их химических формул преобладают ионы кислорода, а дополнительные атомы из IV-в подгруппы ПСХЭ. Наклонной чертой после символа класса отделяются подклассы, отряды и далее более низкие таксоны. Все отряды и пределы подотрядов перечислены в таблице 4.

В комплексных катионах (например,  $\text{UO}_2^{2+}$ ) необходимо учитывать как число анионов  $-\text{O}$ , так и число катионов  $-\text{U}$ . Например, протасит -  $\text{Ba}(\text{UO}_2)_3\text{O}_3(\text{OH})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  будет относиться к отряду 8 ( $11:4=2.75$ ) девятого подкласса. Аммонийный ион, конечно, учитывается как одновалентный катион. Другие детали по этому вопросу будут излагаться в соответствующих местах текста.

**2.1. Подкласс 6100/1. Минералы, у которых в анионной части их химического состава присутствуют только атомы кислорода**

### **2.1.1. Отряд /11. Отношение $X:\text{Me} = 0.50 - 1.00$**

К первому отряду подкласса оксидов, 6100/11 (табл. 5) будут принадлежать следующие минеральные виды: куприт -  $\text{Cu}_2\text{O}$ , парамелаконит -  $\text{Cu}^{1+}_2\text{Cu}^{2+}_2\text{O}_3$ , периклаз -  $\text{MgO}$  и др., соответственно со следующими отношениями  $X:\text{Me}$  0.50, 0.75 и 1.00. Каждое из этих отношений характеризует определенный подотряд, т.е. третью цифру символа. Только первая и последняя цифра у подотряда определяется однозначно 1 и 9, потому что они характеризуют первый и последний подотряд соответствующего отряда. Минералам с промежуточным отношением  $X:\text{Me}$  дается индекс подотряда приблизительно пропорционально этим крайним значениям. Кстати говоря, и начальное значение отношений  $X:\text{Me}$  отряда у реально существующих минеральных видов встречается крайне редко, поэтому цифра 1 дается в тех

случаях, когда действительный состав минерала только приближается к начальному составу отряда.

Итак, подотряды упомянутых выше трех минералов будут следующими: /111, /114 и /119. Цифра в индексе подотряда сохраняется и тогда, когда отношение X:Me кратное исходному. Например, индекс подотряда /119 будет не только у MgO(1:1), но и у делафосита -  $\text{Cu}^{1+}\text{Fe}^{3+}\text{O}_2$  (2:2). Символы в таких случаях будут различаться уже в четвертом знаке (в семействах). У MgO это будет /1191, а у делафосита - /1192. Семейство, как правило, определяется одним типом химической формулы.

Семейство делится на роды, в подавляющем числе случаев это структурные типы, или просто минеральные виды, объединенные одинаковой симметрией, например, принадлежащие к одной и той же сингонии. В тех крайне редких случаях, когда число того или иного более низкого таксона при соблюдении этих правил оказалось бы более десяти, используются какие-либо особенности химического состава объектов, позволяющие объединить некоторые из них и соответственно уменьшить это число. Например, считать принадлежащими к одному подотряду два минерала с очень близкими отношениями X:Me. Все подобные случаи специально оговариваются в тексте по ходу изложения конкретных объектов излагаемой систематики. При определении отношения X:Me учитывается только число атомов (независимо от их валентности). Так, например, корунд -  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , будет относиться к отряду 3 (3:2=1,5), поярковит -  $\text{Hg}_3\text{OCl}$  - к отряду 1 (2:3=0,67), диаспор -  $\text{AlO}(\text{OH})$  к отряду 5 (2:1=2).

В строке X:Me в табл. 4 отношение выписано по последнему подотряду этого отряда. Ему приписывается третий индекс 9, т.к. он заведомо будет последним подотрядом соответствующего отряда.

Отряд /11 характеризуется отношениями X:Me от 0,50 до 1,00.

В таблице 5 собраны минералы этого отряда.

Таблица 5. Минералы отряда /11.

X:Me	Подотряд	Семейство	Род	Вид	Название и состав	Симметрия	Прим
0,50 1:2	/111	/1111	/11111	/111111	куприт - $\text{Cu}_2\text{O}$	куб. $Pn\bar{3}m$	
			/11112	/111121	лед - $\text{H}_2\text{O}$	гекс. $P6_3/mmc$	см. табл.35
0,75 3:4	/114	/1141	/11411	/114111	Парамелаконит - $\text{Cu}^{1+}_2\text{Cu}^{2+}_2\text{O}_3$	тетр. $I4_1/amd$	
1,00 1:1	/119	/1191	/11911	/119111	перниклаз - $\text{MgO}$	куб. $Fm\bar{3}m$	

		/119112	известь (lime) - CaO	«	«	
		/119113	хонгквитт (hongquité) - TiO	«	«	
		/119114	манганозит - MnO	«	«	
		/119115	вюстит - FeO	«	«	
		/119116	бунзеит - NiO	«	«	
		/119117	монтепонит - CdO	«	«	
		/11912	/119121	бромеллит - BeO	гекс. $P6_3mc$	
		/11913	/119131	шикиит - ZnO	« $C6mc$	
		/11914	/119141	глет (litharge) - $\gamma$ -PbO	тетр. $P4/nmm$	
		/11915	/119151	массикот - $\beta$ - PbO	ромб. $Pbcm$	
		/11916	/119161	монтронидит - HgO	ромб. $Pnma$	
		/11917	/119171	тенорит - CuO	мои. $C2/c$	
2:2	/1192	/11921	/119211	делафоссит - $Cu^{1+}Fe^{3+}O_2$	триг. $R3m$	
		/119212	макконелит - $CuCrO_2$	«	«	
		/11922	/119221	креднерит - $CuMnO_2$	мон. $C2/m$	
6:6	/1196	/11961	/119611	ваттерсит - $Hg_2^{2+}Cr^{6+}O_6$	мон. $C2/c$	
8:8	/1198	/11981	/119811	мердочитт - $(Cu_6Pb^{II})O_8$	куб. $Fm3m$	I

Примечание:

1. В подлиннике [30] (Acta Cryst. C. 39, 1143-46) формула мердочита написана  $Cu_6PbO_8$ . Однако, поскольку этот минерал кристаллизуется в структурном типе NaCl, писать его формулу лучше так, как она приведена в таблице 5.

Основным структурным типом для минералов, собранных в табл. 5, является NaCl (в частности для MgO) рис. 2. При этом безразлично, какой атом из этих двух химических элементов поставить на рисунке в начало координат - Mg или O.

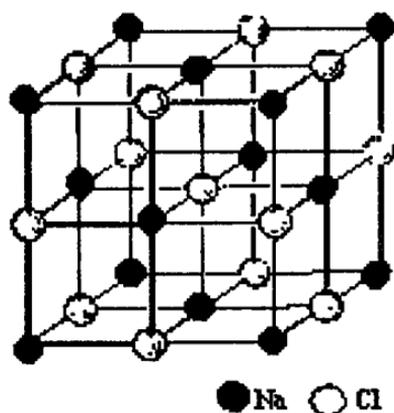


Рис. 2. Структурный тип NaCl(MgO)

### 2.1.2. Отряд /12. Отношение X:Me = 1.01-1.33

В таблице 6 собраны минералы этого отряда. Семейства в нем выделены по сингониям и по кратным отношениям X:Me. Роды в кубических кристаллах семейства /1291 определяются преобладающими атомами металлов, располагающимися в октаэдрических позициях плотнейшей кубической упаковки структуры типа шпинели (это Mg, Al, V, Cr и Fe). В других семействах роды определяются пространственными группами соответствующих сингоний.

Таблица 6. Минералы отряда /12

X:Me	Под-отряд	Семейство	Род	Вид	Название и состав	Симметрия	Прим
1.25 5:4	/125	/1251	/12511	/125111	браунмиллерит - $\text{Ca}_2(\text{Al,Fe})_2\text{O}_3$	ромб. <i>Ibm2</i>	
			/12512	/125121	сребродольскит - $\text{Ca}_2\text{Fe}^{3+}_2\text{O}_3$ $\tau - \text{Ca}_2\text{Mn}_2\text{O}_5$	ромб. <i>Pnma</i> мон. <i>C2/m</i>	
1.27 33:26	/127	/1271	/12711	/127111	майенит - $\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$	куб. <i>I43d</i>	
1.33 4:3	/129	/1291	/12911	/129111	кандилит (Ti, Fe,Al)(Mg,Fe) <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	куб. <i>Fd3m</i>	

/12912	/129121	шпниель - $MgAl_2O_4$	«	«	
	/129122	галаксит - $(Mn,Fe)Al_2O_4$	«	«	
	/129123	герцинит - $FeAl_2O_4$	«	«	
	/129124	гаит - $ZnAl_2O_4$	«	«	
/12913	/129131	магнезиокулсонит - $MgV_2O_4$	«	«	
	/129132	вуорелайненит - $(Mn,Fe)(V,Cr)_2O_4$	«	«	
	/129133	кулсонит (coulsomite) - $FeV_2O_4$	«	«	
/12914	/129141	магнезихромит - $(Mg,Fe)Cr_2O_4$	«	«	
	/129142	мангаохромит - $(Mn,Fe)(Cr,V)_2O_4$	«	«	
	/129143	хромит - $FeCr_2O_4$	«	«	
	-	алюмохромит - $(Fe,Mg)(Cr,Al)_2O_4$	«	«	
	/129144	разновидность кохромит - $(Co,Ni)(Cr,Al)_2O_4$	«	«	
	/129145	нихромит - $(Ni,Co)(Cr,Fe^{3+})O_4$	«	«	
	/129146	цикохромит - $ZnCr_2O_4$	«	«	
/12915	/129151	магнезиоферрит - $MgFe_2O_4$	«	«	
	/129152	ульвошпинель - $TiFe_2O_4$	«	«	
	/129153	якобсит - $MnFe_2O_4$	«	«	
	/129154	магнетит - $FeFe_2O_4$	«	«	
	/129155	треворит - $NiFe_2O_4$	«	«	
	/129156	купрошпинель - $CuFe_2O_4$	«	«	
	/129157	франклинит - $(Zn,Mn)Fe_2O_4$	«	«	
	/129158	бруногайерит - $(Ge^{2+},Fe^{2+})Fe_2^{2+}O_4$	«	«	2
/1292	/12921	/129211	гетеролит - $ZnMn_2O_4$	тетр.14/amd	
	/129212	гаусманнит - $Mn^{2+}Mn_2^{3+}O_4$	«	«	
	/129213	ивакнит- $Mn^{2+}$ $(Fe^{3+},Mn^{3+})_2O_4$	«	«	

	/12922	/129221	сурник (minium) - $Pb^{4+}Pb_2^{2+}O_4$	тетр. $P4_3/mbc$		
		/129222	трипкеит - $CuAs_2O_4$	« «	1	
		/129223	шафаршикит - $Fe^{2+}Sb_2O_4$	« «	1	
	/12923	/129231	доиатит- ( $Fe^{2+}, Mg$ ) ( $Cr, Fe$ ) $_2O_4$	тетр. $P4/nm$		
	/12924	/129241	кузахит - $CuBi_2O_4$	тетр. $P4/ncc$	1	
	/1293	/12931	/129311	хризоберилл - $BeAl_2O_4$	ромб. $Pbnm$	
		/12932	/129321	марокит - $CaMn_2O_4$	ромб. $Pmab$	
		/12933	/129331	тарапакаит - $K_2CrO_4$	ромб. $Pmcm$	
	/1294	/12941	/129411	лейтеит - $ZnAs_2^{3+}O_4$	мои. $P2_1/c$	
8:6	/1296	/12961	/129611	сезаролит - $PbH_2Mn_3O_8$	гекс. $P6_322$	
12:9	/1297	/12971	/129711	мусгравит - $Be(Mg, Fe, Zn)_2Al_6O_{12}$	триг. $R3m$	
		/129712	перманит - $Be(Fe, Zn, Mg)_2Al_6O_{12}$	« «	1	
16:12	/1298	/12981	/129811	таафеит - $BeMg_3Al_6O_{16}$	гекс. $P6_3mc$	
		/12982	/129821	сантанаит - $CrPb_2^{4+}Pb_9^{2+}O_{16}$	гекс. $P6_322$	

#### Примечания:

1. Тяжелые неметаллы: As, Sb и Bi в атомных структурах этих минералов играют роль металлов т. к. имеют к.ч. 6;

2. В структуре бруногайерита Ge имеет к.ч. 4, поэтому его формулу можно писать  $Fe_2^{3+}[(Ge^{2+}, Fe^{2+})O_4]$  и считать его единственным минералом, относящимся к классу «германатов», а не оксидов. Однако у Кларка [29] (стр. 798), он фигурирует среди оксидов, что возможно связано с тем, что Ge в этом минерале имеет изоморфную примесь Fe. Если же посчитать бруногайерит германатом, то его символ будет 4300/111111.

Как видно из таблицы 6, основным типом структуры для соединений  $AB_2O_4$  является шпинель -  $MgAl_2O_4$  (см. рис. 3). В ее основе, также как в структуре  $MgO$ , лежит плотнейшая кубическая упаковка ионов кислорода. Однако пространственные группы у них разные -  $Fm3m$  у  $MgO$  и  $Fd3m$  у шпинели. Объясняется это тем, что в структуре шпинели плотнейшая упаковка немного искажена. Если изобразить структуру шпинели так, чтобы в

начале координат оказался бы ион Mg (рис. 3б), то ионы O расположились бы на диагоналях кубической ячейки с координатами xxx. В случае идеальной плотнейшей упаковки  $x = 0,375$ , а в структуре шпинели  $x = 0,38839$  [24]. Эти данные позволяют понять тот кажущийся парадокс, на который обращали внимания многие авторы, что в структуре шпинели более крупный катион  $Mg^{2+}(r=0,74)$  расположен в меньшей, т.е. в тетраэдрической пустоте, а менее крупный - в октаэдрической  $Al^{3+}(r = 0,57)$ . Однако по мере увеличения параметра  $x$  тетраэдрическая пустота будет увеличиваться, а октаэдрическая - уменьшаться. Поэтому в реальной структуре шпинели расстояние Mg-O = 1.938, а Al-O = 1.919 и, следовательно, никакого парадокса в структуре шпинели в действительности нет. На рис. 3а показана та же структура шпинели, но на этом рисунке легче видеть детали пространственного расположения атомов и связь катионных полиэдров.

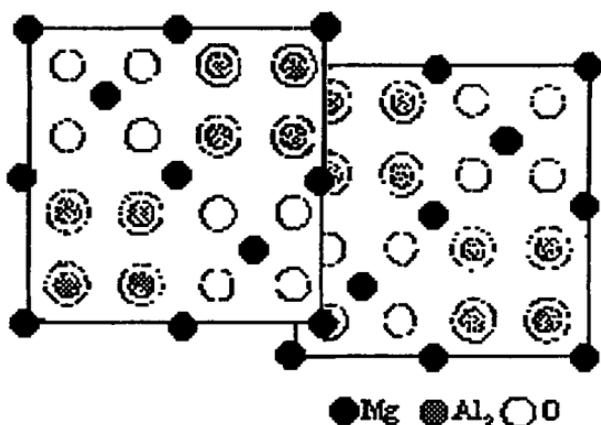


Рис. 3а. Структурный тип шпинели. Ячейка разрезана пополам, и нижняя половина смещена.

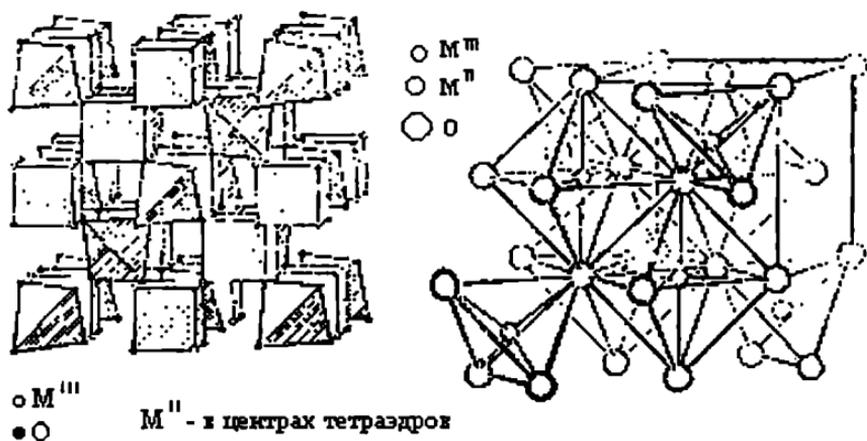


Рис. 3б и 3в. Структурный тип шпиннели: а - общий вид; б - координация атомов и связи полнэдров.

### 2.1.3. Отряд /13. Отношение X:Me = 1.34 - 1.50

В таблице 7 собраны минералы этого отряда.

Табл. 7. Минералы отряда /13

X:Me	Под-отряд	Семейство	Род	Вид	Название и составы	Симметрия	Прим
1.40 7:5	/132	/1321	/13211	/132111	гроссит - $CaAl_4O_7$	мон. $C2/c$	
			/13311	/133111	плюмбоферрит - $PbFe^{2+}_4O_7$ $Pb_6Fe_{32}^{3+}Mn^{2+}O_{55}$	гекс. $P6/mmc$	1
1.42 17:12 27:19	/134	/1341	/13411	/134111	диаюдаоит - $NaAl_{11}O_{17}$	гекс. $P6/mmc$	
		/1342	/13421	/134211	лнндквнстит - $Pb_2(Mn^{2+}, Mg)Fe_{16}^{3+}O_{27}$	гекс. $P6/mmc$	
1.43 10:7	/135	/1351	/13511	/135111	стойберит - $Ca_3V_2^{3+}O_{10}$	мон. $P2/n$	
		/1352	/13521	/135211	хёгбомит - $(Mg, Fe^{2+})_2(Al, Ti)_3O_{10}$	триг. $R3m$	2
		/1353	/13531	/135311	сапфирни - $(Mg, Al)_4(Al, Si)_3O_{10}$	мон. $P2_1/a$	3
1.44 13:9	/136	/1361	/13661	/136611	шнйдерхонит - $Fe^{2+}Fe_3^{3+}As_5^{3+}O_{13}$	трикл. $P1$	

1.46 19:13	/137	/1371	/13711	/137111	нмэнгит-К (yimen- gite) (Cr,Ti,Fe <sup>3+</sup> ,Mg) <sub>12</sub> O <sub>19</sub>	гекс. <i>P63/mmc</i>	
				/137112	хибонит - (Ca,Ce)(Al,Ti,Mg) <sub>12</sub> O <sub>19</sub>	«	«
				/137113	хавторисит-Ва (Ti <sub>3</sub> Cr <sub>4</sub> Fe <sub>2</sub> <sup>2+</sup> Fe <sub>2</sub> <sup>3+</sup> Mg) O <sub>19</sub> (hawthornite)	«	«
				/137114	магнестоплюмбит - Pb(Fe,Mn) <sub>12</sub> O <sub>19</sub>	«	«
1.47 22:15	/138	/1381	/13811	/138111	лудлокит - PbFe <sub>4</sub> <sup>3+</sup> As <sub>10</sub> O <sub>22</sub>	трикл. <i>P1</i>	
1.50 3:2	/139	/1391	/13911	/139111	маггемит-γ-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	куб. <i>P4<sub>3</sub>2</i>	
			/13912	/139121	партрнджеит - Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	«	«
			-	-	биксбиит - (Mn,Fe)O <sub>3</sub> разнов	«	«
			-	-	курнакит - (Mn,Fe)O <sub>3</sub> разнов	«	«
			/139122	/139122	авицениит- Ti <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	«	«
		/13913	/139131	/139131	арсенолит - As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	куб. <i>Fd3m</i>	см.т.36
			/139132	/139132	сенармонтит - Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	«	«
			/139133	/139133	силленит - γ-Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	куб. -	см.т.36
		/13914	/139141	/139141	корунд - Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	триг. <i>R3c</i>	
			/139142	/139142	карелнит - V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	«	«
			/139143	/139143	эсколаит - Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	«	«
			/139144	/139144	гематит - Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	«	«
		/13915	/139151	/139151	валентинит-Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ромб. <i>Pccn</i>	см.т.36
		/13916	/139161	/139161	клауденит-As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	мон. <i>P2<sub>1</sub>/n</i>	см.т.36
		/13917	/139171	/139171	бисмит-γ-Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	мои. <i>P2<sub>1</sub>/c</i>	см.т.36
		/13918	/139181	/139181	русселит-(Bi <sub>2</sub> ,W)O <sub>3</sub>	тетр. -	см.т.36
	/1392	/13921	/139211	/139211	таусонит - SrTiO <sub>3</sub>	куб. <i>Pm3m</i>	
			/139212	/139212	лопарит - (Ce,Na)(Ti,Nb)O <sub>3</sub>	«	«
		/13922	/139221	/139221	македонит - PbTiO <sub>3</sub>	тетр. <i>P4mm</i>	
		/13923	/139231	/139231	гейкнит - MgTiO <sub>3</sub>	триг. <i>R3</i>	
			/139232	/139232	пирофанит-MnTiO <sub>3</sub>	«	«
			/139233	/139233	ильменит - FeTiO <sub>3</sub>	«	«
			/139234	/139234	экандрюсит- (Zn,Fe,Mn)TiO <sub>3</sub>	«	«
			/139235	/139235	меланостибит - Mn <sup>2+</sup> (Fe <sup>3+</sup> ,Sb <sup>5+</sup> )O <sub>3</sub>	«	«
		/13924	/139241	/139241	луешит - β - NaNbO <sub>3</sub>	ромб. <i>Pbma</i>	
		/13925	/139251	/139251	перовскит - CaTiO <sub>3</sub>	ромб. <i>Pnma</i>	

		/139252	метамунирит -β - NaVO <sub>3</sub>	« «	
		/13926	/139261 таусонит - SrTiO <sub>3</sub>	ромб. <i>Pm3m</i>	
		/139262	лопарит-Ce - (Ce,Na,Ca)(Ti,Nb) O <sub>3</sub>	« «	
		/13927	/139271 латраппит - (Ca,Na)(Nb,Ti)O <sub>3</sub>	ромб. <i>Pcm</i>	
		/13928	/139281 натроннобит - NaNbO <sub>3</sub>	мои. <i>P2<sub>1</sub>/c</i>	
6:4	/1393	/13931	/139311 намибит - CuBi <sub>2</sub> VO <sub>6</sub>	мон. -	4
12:8	/1394	/13941	/139411 яфсоанит - Ca <sub>3</sub> Te <sub>2</sub> Zn <sub>3</sub> O <sub>12</sub>	куб. <i>Ia3d</i>	
		/13942	/139421 старнигит—(Fe,Mn) (Ta,Nb)Sn <sub>6</sub> O <sub>12</sub>	тетр. -	
15:10	/1395	/13951	/139511 ценцеиит - Pb <sub>3</sub> (Fe <sup>3+</sup> ,Mn <sup>3+</sup> ) <sub>4</sub> Mn <sup>4+</sup> O <sub>15</sub>	гекс. <i>P6<sub>3</sub>/mcm</i>	
18:12	/1396	/13961	/139611 паниит - CaSrBaAl <sub>9</sub> O <sub>18</sub>	гекс. <i>P6<sub>3</sub></i>	

#### Примечания.

1. В [25] стр. 442 (Амер. Miner. 80, 1995, 1065-72) в химической формуле коэффициенты дробные.

2. Это полнитипная модификация (4H). В этой работе и другим модификациям (5H, 6H и 15H) приписывается состав (Mg,Fe)<sub>1.4</sub>Ti<sub>0.3</sub>Al<sub>4</sub>O<sub>n</sub>, а сингония гексагональная, к тригональной сингонии относит еще 15R, 18R и 24R.

3. Формула сапфирина взята у Кларка [29]. Структура его впервые определена в 1968 г. (Р.В. Моог. The Amer. Mineral. (1969), v. 54, p. 31-49). Она представляет собою искаженную кубическую плотнейшую упаковку, в которой октаэдрические кислородные слои заполнены изоморфными ионами Mg и Al с отношением (Mg<sub>1.5</sub>, Al<sub>1.5</sub>), в промежутках между которыми расположены цепочки из тетраэдров [TiO<sub>18</sub>], среднего состава (Al<sub>1.5</sub>, Si<sub>1.5</sub>O<sub>18</sub>). Общий химический состав минерала Мур пишет Mg<sub>3.5</sub>Al<sub>9</sub>Si<sub>1.5</sub>O<sub>20</sub>. Детальное исследование состава цепочки показывает, что, несмотря на то, что в среднем в цепочках Al второе превышает Si, в отдельных тетраэдрах это отношение различно, и есть даже тетраэдры с преобладанием Si над Al. Последнее обстоятельство объясняется низкой симметрией кристаллов. Атомы, располагающиеся в центрах тетраэдров, принадлежат к шести правильным системам точек. Именно это обстоятельство служит причиной, почему мы рассматриваем сапфирин в подклассе 6100/1, а не в подклассе 6100/4.

Этот случай может послужить еще одним примером, когда неметалл занимает в структуре положение металла. За последние годы найдены другие полнитипные модификации сапфирина 2M и 1TC

4. Может быть это висмутат 6155/? В [29] формула написана CuBi<sub>2</sub>(VO<sub>4</sub>)O<sub>2</sub>.

В таблице 7 преобладают минералы, кристаллизующиеся в двух пространственных группах симметрии тригональной сингонии *R3c* и *R3*. Оба типа структур представляют собою гексагональную плотнейшую анионную

упаковку, у которой катионы занимают  $2/3$  октаэдрических пустот в слоях перпендикулярных к главной оси. В пространственной группе в структуре корунда -  $Al_2O_3(R\bar{3}c)$  кроме главной оси присутствуют еще плоскости скользящего отражения и центры инверсии (Рис. 4).

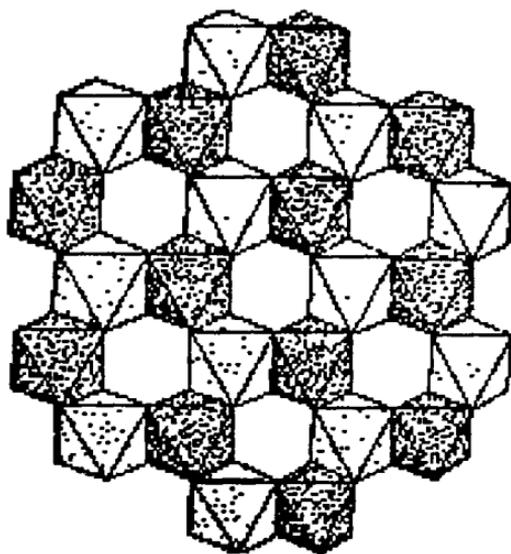


Рис. 4. Структурный тип  $Al_2O_3$

Если же катионы принадлежат двум химическим элементам, то каждый из них расположен в одном из чередующихся между собой таких слоев (например, в структуре ильменита -  $FeTiO_3$ , п.г.с.  $R\bar{3}$ ) В этом случае плоскости скользящего отражения исчезают, а центры инверсии остаются. Среди искусственных соединений есть вещества, в структуре которых атомы разных химических элементов расположены в одном слое (например, у  $LiNbO_3$ ) . В таком типе структуры центры инверсии исчезают, а плоскости скольжения сохраняются (пр.гр.  $R\bar{3}c$ ). Как справедливо заметил В.В. Доливо-Добровольский [10], такой тип структуры Н.В. Белов ошибочно приписал ильмениту, а его научный авторитет привел к тому, что ряд авторов повторил эту ошибку.

У некоторых минералов подотряда /139 в качестве катионов фигурируют элементы V-b подгруппы ПСХЭ (As, Sb и Bi), которые формально являются неметаллами. Однако в сочетании с сильнейшим электроотрицательным

элементом (каковым является кислород) они, безусловно, имитируют металлы и поэтому во всех книгах по минералогии эти минералы фигурируют в классе оксидов (т.е. 6100/, а не 2100/). Именно по этой причине они собраны нами в отдельную таблицу 35, в которой фигурируют все минералы класса 2100/, содержащие кислород.

### 2.1.4. Отряд /14. Отношение X:Me = 1,51 - 1,75

В таблице 8 собраны минералы этого отряда.

Таблица 8. Минералы отряда /14

<i>X:Me</i>	<i>Под-отряд</i>	<i>Семейство</i>	<i>Род</i>	<i>Вид</i>	<i>Название и состав</i>	<i>Симметрия</i>	<i>Прим</i>
1.57=					фингерит -	трик. <i>P1</i>	
26:17					$\text{Cu}_{11}\text{V}_6\text{O}_{26}$		
1.60	/142	/1421	/14211	/142111	камиокит -	гекс.	
					$\text{Fe}_2^{2+}\text{Mo}_3^{4+}\text{O}_8$	<i>P6_3mc</i>	
			/14212	/142121	бартелкеит -	мои. <i>P2_1</i>	
					$\text{PbFe}^{2+}\text{Ge}_3\text{O}_8$		
				/142122	макбирнеит -	трик. -	
					$\text{Cu}_3\text{V}_2\text{O}_8$		
16:10		/1422	/14221	/142211	фреуденбергит -	мои. <i>C2/m</i>	
					$\text{Na}_2\text{Fe}_2^{3+}\text{Ti}_6\text{O}_{16}$		
1.62	/143	/1431	/14311	/143111	джеппеит -	мои.	
13:8					$(\text{R},\text{Ba})_2(\text{Ti},\text{Fe}^{3+})_8\text{O}_{13}$	<i>C2/m</i>	
1.64	/144	/1441	/14411	/144111	критчионит-(Sr,La,		
36:22					Ce, Y)(Ti,Fe,Mn) <sub>21</sub> O <sub>36</sub>	гекс. -	
1.67	/145	/1451	/14511	/145111	армоколлит -	ромб.	
5:3					$(\text{Mg},\text{Fe})\text{Ti}_2\text{O}_5$	<i>Vbmm</i>	
			/14512	/145121	бердеснискиит -	мои.	
					$\text{V}_2^{3+}\text{TiO}_5$	<i>P2_1/c</i>	
			/14513	/145131	псевдобрукит-(Fe <sup>3+</sup> ,	мои. <i>C/2</i>	
					$\text{Fe}^{2+})_2(\text{Ti},\text{Fe}^{3+})\text{O}_5$		
			/14516	/145161	стививанит -	мои. <i>P_2/c</i>	3
					$\text{Sb}_2^{3+}\text{VO}_5$		
10:6		/1452	/14521	/145211	ксинедит -	ромб.	
					$\text{MgFe}_2^{3+}\text{Ti}_3\text{O}_{10}$	<i>Стст</i>	
			/14522	/145221	романешит -	мои.	
					$(\text{Ba},\text{H}_2\text{O})(\text{Mn}^{4+},$	<i>C2/m</i>	
					$\text{Mn}^{3+})_3\text{O}_{10}$		
20:12		/1453	/14531	/145311	улигит -	ромб.	
					$\text{Ca}_3(\text{Ti},\text{Al},\text{Zr})_3\text{O}_{20}$	<i>Pcmm</i>	
1.71	/146	/1461	/14611	/146111	монгшанит -	гекс. -	
12:7					$(\text{Mg},\text{Cr},\text{Fe},\text{Ca},\text{K})_2$		
					$(\text{Ti},\text{Zr},\text{Cr},\text{Fe})_3\text{O}_{12}$		

		/1463	/14631	/146311	говардэвансит - $\text{NaCa}^{2+}\text{Fe}_2^{3+}\text{V}_3\text{O}_{12}$	трик. -	
1.73 (19:11) 38:22	/147	/1471	/14711	/147111	лаидаунит - $\text{NaMn}^{2+}$ $\text{Zn}_2(\text{Ti,Fe})_6\text{Ti}_{12}\text{O}_{38}$	триг. R3	
				/147112	матриазит-(K,Ca,Sr) $(\text{Ti,Cr,Fe,Mg})_{21}\text{O}_{38}$	« «	
				/147113	ловреигит - (Ca,Ce, La)(Ti,Fe <sup>3+</sup> ,Cr) <sub>21</sub> O <sub>38</sub>	« «	
				/147114	кричтонит - (Sr,La,Ce)(Ti,Fe <sup>3+</sup> , Fe <sup>2+</sup> ,Mn) <sub>21</sub> O <sub>38</sub>	« «	
				/147115	лиидслейит - (Ba,Sr)(Ti,Cr,Fe, Mg) <sub>21</sub> O <sub>38</sub>	« «	1
				/147116	давидит-(La)-(La,Ce, Ca)(Y,U)(Ti,Fe <sup>3+</sup> ) <sub>20</sub> O <sub>38</sub>	« «	1
				/147117	давидит - (Ce) - (Ce,La)(Y,U,Fe <sup>2+</sup> )(Ti, Fe <sup>3+</sup> ) <sub>20</sub> O <sub>38</sub>	« «	
				/147118	сеианит - $\text{Pb}(\text{Ti,Fe,Mn})_{21}\text{O}_{38}$	« «	
1.75 7:4	/149	1491	/14911	/149111	циркелит - (Ca,Th,Ce)Zr (Zr,Ti) <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	куб. <i>Fm3m</i>	2
				/14913	левнсит - (Ca,Fe <sup>2+</sup> ,Na) <sub>2</sub> (Sb,Ti) <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	куб. <i>Fd3m</i>	2
				/14914	блоссит - α - $\text{Cu}_2\text{V}_2^{3+}\text{O}_7$	ромб. <i>Fdd2</i>	
				/14915	цирконолит - 2M - $\text{CaZrTi}_2\text{O}_7$	« «	
				/14916	цизит -β-Cu <sub>2</sub> V <sub>2</sub> <sup>5+</sup> O <sub>7</sub>	мон. P2 <sub>1</sub> /a	
				/14917	черветит - Pb <sub>2</sub> V <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	-	
				/14918	лопесит - K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	трикл.-	

#### Примечания.

1. В [25](1997), стр. 157-158 анионная часть формул давидитов пишется с (0,0H).

2. Кроме политипа 2M известны еще 3Т триг. P3/2 и 30 ромбический. К этой политипной группе, по-видимому, относится и циркелит.

3. Есть еще политипная ромбическая модификация 20

### 2.1.5. Отряд /15. Отношение X:Me = 1.76-2.00

В подотряде /159, где отношение X:Me = 2,00, семейства выделены по кратным значениям отношений X:Me, т.е. 2:1, 4:2, 6:3 и т.д. В этом подотряде кристаллизуется максимальное количество минеральных видов.

Все минеральные виды отряда /15 собраны в таблице 9.

Таблица 9. Минералы отряда /15

<i>X:Me</i>	<i>Под-отряд</i>	<i>Семейство</i>	<i>Род</i>	<i>Вид</i>	<i>Название и состав</i>	<i>Симметрия</i>	<i>При</i>		
1.78 16:9	/152	/1521	/15211	/152111	манжироит - (Na,K)(Mn <sup>4+</sup> ,Mn <sup>2+</sup> ) <sub>8</sub> O <sub>16</sub>	тетр. <i>I4/m</i>			
				/152112	прайдерит - (K,Ba)(Ti,Fe) <sub>8</sub> O <sub>16</sub>	“ “			
				/152113	анкангит - Ba(Ti,V <sup>3+</sup> ) <sub>8</sub> O <sub>16</sub>	тетр. <i>I4<sub>1</sub>acd</i>			
				/15212	/152121	кальциртит - Ca <sub>2</sub> Zr <sub>5</sub> Ti <sub>2</sub> O <sub>16</sub>	тетр. <i>I4<sub>1</sub>/m</i>		
				/15213	/152131	редджейит - BaTi <sub>6</sub> Cr <sup>3+</sup> <sub>2</sub> O <sub>16</sub>	мон. <i>P2/m</i>	1	
				/15214	/152141	коронадит - Pb(Mn <sup>4+</sup> ,Mn <sup>3+</sup> ) <sub>8</sub> O <sub>16</sub>	тетр. <i>I2/m</i>		
				/152142		криптомелан - K(Mn <sup>4+</sup> ,Mn <sup>3+</sup> ) <sub>8</sub> O <sub>16</sub>	мон. <i>P2/m</i>		
1.80 9:5	/154	/1541	/15411	/154111	псевдорутил - Fe <sub>2</sub> <sup>3+</sup> Ti <sub>3</sub> O <sub>9</sub>	гекс. <i>P6<sub>3</sub>22</i>			
				/1542	/15421	/154211	кальциртит - CaZr <sub>5</sub> TiO <sub>9</sub>	тетр. <i>I4<sub>1</sub>/acd</i>	
				/1543	/15431	/154311	ольхонскит - (Cr,V) <sub>2</sub> Ti <sub>3</sub> O <sub>9</sub>	мон. <i>C2/c</i>	1
				/15432	/154321		феникохроит - Cr <sub>2</sub> Pb <sub>3</sub> O <sub>9</sub>	мон. <i>P2<sub>1</sub>/n</i>	2
				/15433	/154331		кнзилкумит - V <sub>2</sub> Ti <sub>3</sub> O <sub>9</sub>	мон. -	2
				/15434	/154341		шрейерит - V <sub>2</sub> <sup>3+</sup> Ti <sub>3</sub> O <sub>9</sub>	мон	
				/15435	/154351		отжнсуемит - PbGe <sub>4</sub> O <sub>9</sub>	трнкл. <i>P1</i>	
1.83 11:6 1.85 24:13	/155	1551	/15511	/155111	натротантит - Na <sub>2</sub> Ta <sub>4</sub> O <sub>11</sub>	трнг. <i>R3c</i>	3		
				/1561	/15611	/156111	цезплюмтантит - (Cs,Na,Ca) <sub>2</sub> (Pb,Sb) <sub>3</sub> Ta <sub>9</sub> O <sub>24</sub>	тетр. -	
				/15621	/156211		лносит - Cu <sub>3</sub> <sup>2+</sup> Fe <sub>4</sub> <sup>3+</sup> V <sub>6</sub> O <sub>24</sub>	ромб. <i>Pmcs</i>	
2.00	/159	/1591	/15911	/159111	аркелит - ZrO <sub>2</sub>	куб. <i>Fm3m</i>			
				-	тажеранит - (Zr,Ti,Ca)O <sub>2</sub> (разновидность)	“ “			
				/159112		цернанит - (Ce <sup>4+</sup> ,Th)O <sub>2</sub>	“ “		
				/159113		торианит - ThO <sub>2</sub>	“ “		
				/159114		ураннит - UO <sub>2</sub>	“ “		
/15912	/159121		актенскит - e- MnO <sub>2</sub>	гекс. <i>P6<sub>3</sub>mtc</i>					

/15913	/159131	рутил - $TiO_2$	тетр. $P4_2/mnm$		
	-	ильменорутит - (Ti,Nb,Fe) $O_2$ разно- видность	« «		
	-	струверит - (Ti,Ta,Fe) $O_2$ разно- видность	« «		
	/159132	стишовит $SiO_2$	« «		
	/159133	аржютит - $GeO_2$	« «		
	/159134	касситерит - $SnO_2$	« «		
	/159135	платнерит - $PbO_2$	« «		
	/159136	пиролозит- $\beta$ - $MnO_2$	« «		
/15914	/159141	амкатаз - $TiO_2$	тетр. $I4_1amd$		
/15915	/159151	брукит - $TiO_2$	ромб. $Pbca$		
	/159152	парамонтрозеит- $VO_2$	ромб. $Pbnm$		
	/159153	рамсделлит- $\gamma$ - $MnO_2$	« «		
	/159154	скрутиниит- $\alpha$ - $PbO_2$	ромб. $Pbcn$		
	/159155	шриланкит-(Ti,Zr) $O_2$	« «		
	/159156	иксиолит - (Ta,Nb,Sn,Fe,Mn) $O_2$	« «		
	/159157	ашанит - (Nb,Ta,Fe,Mn,Ce) $O_2$	ромб. $Pcan$		
/15916	/159161	тугариновит - $MoO_2$	мои. $P2_1/c$	см.т.36	
	/159162	бадделеит - $ZrO_2$	« «	« «	
/15917	/159174	селенолит- $SeO_2$	тетр $P4_2/mbc$	« «	
	/159175	парателлуриит- $TeO_2$	тетр. $P4_12_12$		
/15918	/159181	теллуриит- $TeO_2$	ромб. $Pbca$		
4:2	/1592	/15921	/159211	скуавкрикит - ( $Fe^{3+}, Sb^{5+}, Sn^{4+}$ ) $_2O_4$	тетр. $P4_2/mnm$
		/159212	вакефилдит-(Y)- $YVO_4$	тетр. $I4_1/amd$	
		/159213	вакефилдит - (Ce) -	« «	
		/159214	хроматит - $CaCrO_4$	« «	
/15922	/159221	повеллит - $CaMoO_4$	тетр. $I4_1/a$		
	/159222	шеелит - $CaWO_4$	« «		
	/159223	стольцит - $\beta$ - $PbWO_4$	« «		
	/159224	фергусонит - (Y)- $YNbO_4$	« «		
	/159225	фергусонит -(Ce) - (Ce,La,Y) $NbO_4$	« «	5	
	/159226	фергусонит -(Nd)- (Nd,Ce)(Nb,Ti) $O_4$	« «		
	/159227	форманит - (Y)- $YTaO_4$	« «		
	/159228	вульфенит - $PbMoO_4$	тетр. -		
/15923	/159231	хашимит - $Ba(Cr,S)O_4$	ромб. $Pnma$		

	/15924	/159243	алюмотантит- $\text{AlTaO}_4$	ромб. <i>Pbcn</i>	
		/159244	самарскит - (Y)- (Y,Fe,U)(Nb,Ta) $\text{O}_4$	« «	
		/159245	итроколумбит-(Y)- (Y,U,Fe)(Nb,Ta) $\text{O}_4$	ромб. -	
		/159246	иттротанталлит-(Y)- (Y,U,Fe)(Ta,Nb) $\text{O}_4$	ромб. -	
		/159247	ишикаваит - (U,Y,Fe)(Nb,Ta) $\text{O}_4$	ромб. -	
		/159248	сервантит- $\text{Sb}^{3+}\text{Sb}^{3+}\text{O}_4$	ромб. <i>Pbn2</i> ,	см.т.1
	/15925	/159251	гюбиерит - $\text{MnWO}_4$	мон. <i>P2/c</i>	
		-	вольфрамит-(Mn,Fe) $\text{WO}_4$ разновидность	« «	
		/159252	ферберит - $\text{FeWO}_4$	« «	
		/159253	санмартинит - (Zn,Fe <sup>2+</sup> ) $\text{WO}_4$	« «	
		/159254	$\beta$ -фергусонит-(Y)- $\text{YNbO}_4$	« «	
		/159255	$\beta$ -фергусонит - (Ce)- (Ce,La,Nb,Th) $\text{NbO}_4$	« «	
		/159256	форманит-(Y)- $\text{YTaO}_4$	мон. <i>P2/a</i>	
		/159257	распит - $\alpha$ - $\text{PbWO}_4$	мон. <i>P2/c</i>	
		/159258	крокоит - $\text{PbCrO}_4$	мон. -	
	/1593	/15931	паленцонаит - (Ca,Na) $\text{Mn}_2\text{V}_3\text{O}_{12}$	куб. <i>Ia3d</i>	
		/15932	/159321	ферроталиолит - (Fe,Mn) $\text{Ta}_2\text{O}_6$	тетр. <i>P4_3/mnm</i>
		/159322	манганоталиолит - (Mn,Fe)(Ta,Nb) $_2\text{O}_6$	« «	
	/15933	/159331	чангбайит - $\text{PbNb}_2\text{O}_6$	триг. <i>R3m</i>	
	/15934	/159341	эшинит-(Y)-(Y,Ce, Th,Ca)(Ti,Nb,Ta) $_2\text{O}_6$	ромб. <i>Pmnb</i>	
		/159342	эшинит-(Ce)-(Ce,Th, Ca)(Ti,Nb,Ta) $_2\text{O}_6$	« «	
		/159343	эшинит-(Nd)-(Nd, Ce,Th)(Ti,Nb,Ta) $_2\text{O}_6$	« «	
		/159344	танталэшинит-(Y)- (Y,Ca,Ce)(Ta,Ti,Nb) $_2\text{O}_6$	« «	
		/159345	ринерсонит - $\text{Ca(Ta,Nb)}_2\text{O}_6$	« «	
		/159346	виджешит - (Ca,Ce)(Nb,Ta,Ti) $_2\text{O}_6$	« «	
	/15935	/159351	магнезиоколумбит- (Mg,Fe,Mn)(Nb,Ta) $_2\text{O}_6$	ромб. <i>Pbcn</i>	
		/159352	манганоколумбит - (Mn,Fe)(Nb,Ta) $_2\text{O}_6$	« «	

			/159353	ирибит -	«	«	
			-	(Fe,Mn)(Nb,Ta) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	«	«	
				ферроколумбит -	«	«	
			/159355	(Fe,Mn)(Nb,Ta) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	«	«	
				манганотанталит -	«	«	
			/159356	(Mn,Fe)(Ta,Nb) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	«	«	
				ферротанталит -	«	«	
			/159357	(Fe,Mn)(Ta,Nb) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	«	«	
				зуксенит - (Y)-	«	«	
			/159358	(Y,Ca,Ce,U,Th)	«	«	
				(Nb,Ta,Ti) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	«	«	
			/159359	уранполикраз -	«	<i>Pnmb</i>	
				(U,Y)(Ti,Nb,Ta) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	«	<i>Pnmb</i>	
			/15936	поликраз-(Y)-(Y,Ca,	«	<i>Pnmb</i>	
			/159361	Ce,U,Th)(Ti,Nb,Ta) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	мон. <i>C2/m</i>		
				браниерит -			
			/15937	(U,Ca,Ce)(Ti,Fe) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	мон. <i>C2/c</i>		4
			/159371	фурдит -	«	«	4
			/159372	(Sn <sup>2+</sup> ,Pb)(Nb,Ta) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	«	«	
				торолит -			
			/1594	Sn <sup>2+</sup> (Ta,Nb) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	ромб. <i>Pcan</i>		4
			/15941	ашанит - (Nb,Ta,			
			/159412	U,Fe,Mn) <sub>2</sub> O <sub>8</sub>	мон. <i>C2/c</i>		
				воджинит -			
			/159413	MnSnTa <sub>2</sub> O <sub>8</sub>	«	«	
				литниоводжинит -			
			/159414	LiTa <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	«	«	
				титановоджинит -			
			/159415	MnTiTa <sub>2</sub> O <sub>8</sub>	«	«	
				ферроводжинит -			
			/159416	Fe <sup>2+</sup> SnTa <sub>2</sub> O <sub>8</sub>	«	«	
				ноксиолит -			
			/159417	(Ta,Nb,Sn) <sub>4</sub> O <sub>8</sub>	мон. <i>C2/c</i>		
				литниотантит -			
			/159418	Li(Ta,Nb) <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	трикл. -		
			/1595	макбёрнит - Cu <sub>3</sub> VO <sub>3</sub>	ромб. <i>Pbcn</i>		
			/15951	китяилингит - (Fe,			
			/15981	Mn) <sub>2</sub> (Nb,Ta) <sub>2</sub> W <sup>6+</sup> O <sub>10</sub>	мон. <i>Pbcn</i>		
			/159811	самарскит-(Y)-(Y,			
			/15991	Ce,U,Fe <sup>3+</sup> ) <sub>3</sub> (Nb,Ta,			
			/159911	Ti) <sub>5</sub> O <sub>16</sub>	мон. <i>P2<sub>1</sub></i>		
				корагонит -			
				(Mn <sup>2+</sup> ,Mn <sup>3+</sup> ) <sub>3</sub> (Nb,			
				Ta) <sub>3</sub> (Nb,Mn <sup>2+</sup> ) <sub>2</sub> W <sub>2</sub> O <sub>20</sub>			

#### Примечания.

1. Формула дана по [25] стр.455, в [29] стр.363 приведена формула с дробными коэффициентами и с кристаллизационной водой
2. Отличаются параметрами решеток. Группа не определена
3. Под названием ирибит - Na<sub>2</sub>(Ta,Nb)<sub>4</sub>O<sub>11</sub> фигурирует разновидность натротантита.

4. Возможно, что эти минералы относятся к классу стайнатов 6144/.

5. По [29] стр.333 содержит  $O.3 H_2O$

### 2.1.6. Отряды /16, /17 и /18. Отношение X:Me = 2.01-3.00

В этом параграфе рассматриваются минералы трех отрядов. Отношения X:Me в них указаны в скобках после соответствующих им символов: отряд/16 (2.01- 2.25), отряд /17 (2.26-2.50) и отряд /18 (2.51-3.00) [30]

Все минералы этих отрядов собраны в таблице 10.

Таблица 10. Минералы отрядов /16, /17 и /18.

X:Me	Под-отряд	Семейство	Род	Вид	Название и состав	Симметрия	Прим
2.14 15:7	/166	/1661	/16611	/166111	баниерманит - $(Na,K)V^{4+}V_3^{5+}O_{15}$	мон. $C2/m$	
2.20 11:5	/167	/1671	/16711	/167111	кальцитантит - $CaTa_4O_{11}$	гекс. $P6_322$	
2.33 7:3	/168	/1681	16811	/168111	бисмутостибиоконит- $Bi(Sb^{3+},Fe^{2+})_2O_7$	куб. $Fd3m$	см.т.36
				/168112	стибиоконит- $Sb_2^{3+},Sb^{3+}O_6(OH)$	« «	« «
2.50 5:2	/179	/1791	/17911	/179111	шербинаит - $V_2O_5$	ромб. $Pnnm$	
			/17912	/179121	тантит - $Ta_2O_5$	трикл. $P_1$	
2.67	/183	/1831	/18311	/183111	лиандратит - $U^{6+}(Nb,Ta)_2O_8$	триг. $P31m$	
8:3			/18313	/183131	седовит - $U^{4+}Mo_2O_8$	ромб. -	
3.00 3:1	/189	/1891	/18911	/189111	молибдит - $MoO_3$	ромб. $Pbnm$ $Pnma$	

В отряде /19 этого подкласса, где X:Me 3.01 - 4.00, минералов нет.

Этим замечанием заканчивается подкласс /1.

### 2.2. Подкласс 6100/4. Минералы, содержащие дополнительные неметаллы из IV-b подгруппы ПСХЭ

После подкласса 6100/1, в котором минералы в анионной части содержат только атомы кислорода, в систематике должны располагаться минералы, у которых кроме преобладающего числа атомов кислорода есть еще дополнительные другие неметаллы. Символы этих подклассов определяются номерами соответствующих подгрупп ПСХЭ у дополнительных неметаллов. Как было сказано выше, в подгруппе III-b, минералы, которым можно было бы приписать символ 6100/3 в природе не существует. В их составе кроме

металлов должно было бы быть преобладающее количество свободных ионов кислорода и борокислородная группировка с меньшим количеством О. Тем более нет веществ, содержащих В и О, у которых атомы бора были бы свободными, т.е. ближайшее их окружение состояло бы из металлических атомов, а не кислородных.

Реальными подклассами будут: /4, /5 и т.д. Подкласс определяется предпочитаемым атомом. Из всех дополнительных к кислороду атомов неметаллов определяет подкласс тот элемент, который стоит ближе к началу ряда предпочтения.

Подкласс /4 характеризуется тем, что входящие в него минералы, кроме преобладающего количества атомов кислорода в анионной части их состава, имеют хотя бы один атом неметалла из подгруппы IV-b ПСХЭ. Однако если такие дополнительные атомы образуют комплексные анионы, то в случае если число атомов кислорода в таких анионах будет больше или равно числу свободных атомов кислорода, например,  $(\text{Me}_n\text{O}_3[\text{SiO}_4])$  или даже  $\text{Me}_n\text{O}_4[\text{SiO}_4]$ , минерал будет относиться к классу силикатов, а не оксидов.

Если же дополнительные неметаллические атомы будут из разных групп ПСХЭ или же будут разными из одной группы, а число их в формуле будет одинаковым, то подкласс будет определяться тем элементом, который стоит ближе к началу ряда предпочтения (см. [3] стр. 28). При подсчете отношений X:Me для определения отряда центральные элементы в комплексных анионах не учитываются. При проверке формулы минерала на равенство положительных и отрицательных зарядов надо иметь в виду, что центральные атомы комплексных анионов имеют положительный заряд. При этом они всегда расположены в анионной части минерала и не требуют дополнительного объема в катионной части их структуры. По этой причине при подсчете X:Me для определения отряда целесообразно их вообще не учитывать.

Дополнительные к кислороду атомы неметаллических элементов могут быть как изолированными, так и образующими комплексные анионы или же фигурировать в качестве металла (т.е. могут заменять металлы). Атомы кремния изолированными обычно не бывают. Они всегда образуют с атомом кислорода комплексные анионы. Известен один минерал (стишовит), который изоструктурен рутилу -  $\text{TiO}_2$ , где Ti имеет к.ч. 6. Следовательно, можно считать, что в структуре стишовита атом кремния аналогичен металлическому атому, т.е. является катионом.

Минералы подкласса 6100/4 собраны в таблице 11. Поскольку в качестве дополнительного к кислороду неметалла из IV-b группы ПСХЭ у всех этих минералов является кремний, постольку у большинства авторов эти минералы фигурируют в разделах, посвященных силикатам, а не оксидам. Эта же неточность для катоптриа, сапфирина и др. допущена и нами [3] т.к. к мо-

менту ее публикации систематика оксидов еще не была разработана. Одной из причин такой классификационной неточности является то, что во многих учебниках и монографиях по минералогии состав минералов дается в виде бруттоформулы, и соответственно не подчеркивается конкретное строение их атомных структур.

Таблица 11. Минералы подкласса 6100/4

<i>X:Me</i>	<i>Отряд</i>	<i>Подотряд</i>	<i>Семейство</i>	<i>Род</i>	<i>Вид</i>	<i>Название и состав</i>	<i>Симметрия</i>	<i>Прим.</i>
1.65 28:17	/44	/443	/4431	/44311	/443111	катоптрил-(Mn,Mg) <sub>13</sub> (Al,Fe <sup>3+</sup> ) <sub>4</sub> O <sub>12</sub> (SiO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (Sb <sup>5+</sup> O <sub>4</sub> )	мон. C2/m	1
		/445	/4452	/44521	/445211	доррит-(CaMgFe <sup>3+</sup> ) <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>6</sub> (SiO <sub>4</sub> )	трикл. P1	2
1.71 12:7		/447	/4471	/44711	/447111	нелтнерит- CaMn <sub>6</sub> <sup>3+</sup> O <sub>8</sub> (SiO <sub>4</sub> )	тетр. I4/ac	
					/447112	браунит - Mn <sup>2+</sup> Mn <sup>3+</sup> <sub>6</sub> O <sub>8</sub> (SiO <sub>4</sub> )	« «	
«					/447113	абсвурмбахит - Cu <sup>2+</sup> Mn <sup>3+</sup> <sub>6</sub> O <sub>8</sub> (SiO <sub>4</sub> )	тетр. -	
1.85 24:13	/45	/455	/4551	/45511	/455111	лаибганит- Mn <sup>2+</sup> <sub>4</sub> Mn <sup>3+</sup> <sub>9</sub> O <sub>12</sub> (SiO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (SbO <sub>4</sub> )	триг. R31m	
1.88 45:24		/457	/4571	/45711	/457111	макаулайит-(Fe <sup>3+</sup> Al) <sub>24</sub> O <sub>27</sub> (SiO <sub>4</sub> ) <sub>4</sub> (OH) <sub>2</sub>	мон. -	
2.00 34:17		/459	/4591	/45911	/459111	иранит-Pb <sub>10</sub> CuCr <sub>6</sub> O <sub>24</sub> (SiO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (F,OH) <sub>2</sub>	трикл. P1	
«					/459112	гемиздрит - Pb <sub>10</sub> ZnCr <sub>6</sub> O <sub>24</sub> (SiO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	трикл. P1	
2.42 29:12	/47	/477	/4771	/47711	/477111	баотит-Ba <sub>4</sub> (Ti,Nb) <sub>8</sub> O <sub>16</sub> (Si <sub>4</sub> O <sub>12</sub> )Cl	тетр. I4 <sub>v</sub> /o	3

Примечания.

1 Кремний предпочитается сурьме, т.к. находится в IV группе ПСХЭ, а Sb в V, а число их в составе молекул одинаково (только в случае, когда атомы Sb преобладали бы, такой минерал рассматривался в подклассе /5).

2. В формуле доррита у Кларка опечатка. Написано O<sub>20</sub>, надо O<sub>10</sub> [29].

3. В структуре баотита находится кольцо (Si<sub>4</sub>O<sub>12</sub>). Число «свободных» атомов кислорода в его составе превышает число атомов O в этом кремнекислородном кольце, поэтому баотит относится к классу оксидов 6100/, а не к классу силикатов 6142/. При подсчете X:Me атомы Si, как находящиеся в анионной части формулы, не учитываются.

### 2.3. Подкласс 6100/5. Минералы, содержащие дополнительные неметаллы из V-b подгруппы ПСХЭ

В этом подклассе находятся минералы с преобладающим количеством изолированных атомов кислорода и атомами тяжелых элементов из V-b подгруппы ПСХЭ (As, Sb и Bi). Минералов с дополнительными легкими элементами из той же подгруппы (N и P), которые бы относились к этому подклассу в природе нет, или, во всяком случае, они до сих пор не найдены.

As, Sb и Bi бывают трех- и пентавалентными, и те, и другие образуют с четырьмя (реже с тремя) атомами кислорода соответствующие комплексные ионы (например  $(As^{3+}O_3)^{3-}$  или  $(Sb^{5+}O_4)^{3-}$  и др.). Поскольку As, Sb и Bi в этом подклассе являются предпочитаемыми, постольку все остальные неметаллы, присутствующие в любом сочетании в составе исследуемых минералов, классифицированного значения не имеют, т.е. в этом таксоне не учитываются.

Наличие в составе минералов, включенных в таблицу 12, комплексных ионов с тремя или четырьмя атомами кислорода может считаться условным. Например, формулу томичита можно написать не только так, как она написана в табл. 12, но и изобразить ее с ионом  $(AsO_4)$ , т.е.  $(V,Fe)_4 Ti_3O_9 (AsO_4)(OH)$ . Дело в том, что во всех справочниках состав аналогичных минералов пишется в виде бруттоформул, т.е. в данном случае это будет  $(V,Fe)$  и  $Ti_3As_3O_{13}(OH)$ . Доказать то или иное предположение можно только опираясь на тщательное рентгеновское исследование их атомных структур.

В таблице 12 собраны минералы, относящиеся к этому подклассу.

Таблица 12. Минералы подкласса 6100/5

X:Me	Под-отряд	Семейство	Род	Вид	Название состав	Симметрия	Прим
1.03 37:36	/521	/5211	/52111	/521111	келянит- $Hg_{20}^{2+}Hg_{16}^{2+}O_{16}(Sb^{3+}O_4)_3(Cl,Br)_9$	мон. $C2/m$	1
2.00 14:7	/559	/5591	/55911	/559111	томичит- $(V^{3+},Fe^{3+})_4Ti_3O_{10}(As^{3+}O_3)(OH)$	мон. $P2_1/m$	
				/559113	дербилит- $(Fe^{3+},Fe^{2+},Ti)_7O_{10}(Sb^{3+}O_3)(OH)$	« «	
24:12		/5592	/55921	/559211	хемлоит- $(Ti,V,Fe,Al)_{12}O_{15}[(Ar,Sb)^{3+}O_4]_2(OH)$	трик.	
2.40	/575	/5751	/57511	/575111	цезистибтантит - $(Cs,Na)Ta_4O_8(Sb^{3+}O_4)$	куб. $Fd3m$	2
				/575112	натровиантантит - $(Na,Cs)Ta_4O_8(BiO_4)$	« «	

**Примечания.**

1. В справочнике [22] формула келянита напечатана так:  $Hg_{16}Sb_3O_{28}(Cl,Br)_9$ .

2. В справочнике Флейшера формула цезстибтангита написана так:  $(Cs,Na)SbTa_4O_{12}$  (см. [22] с.167) и  $(Na,Cs)BiTa_4O_{12}$ . В новой статье [А.В. Волошин, Ю.П. Меньшиков, Я.А. Похамовский, Л.И. Полежаева. ЗВМО. 110, 345] их формулы написаны с изоморфными замещениями (в частности не O, а (O,OH) и дробными коэффициентами. Однако даже в предположении минимальной валентности катионов их суммарный заряд равен 24, т.е. гидроксильных групп или нет совсем или же исчезающе мало, т.е. с ними можно не считаться.

#### 2.4. Подкласс 6100/6. Минералы, содержащие дополнительные неметаллы из VI-b подгруппы ПСХЭ

К этому допклассу относятся три минерала, относящихся к разным отрядам (см. табл. 13).

Таблица 13. Минералы подкласса 6100/6

X:Me	Отряд	Подотряд	Семейство	Род	Вид	Название и состав	Симметрия	Прил
1.40 7:5 14:10	/63	/631	/6311	/63111	/631111	сундиусит - $Pb_{10}O_8(SO_4)Cl_2$	мон. C2/m	
1.60	/64	/641	/6411	/64111	/641111	иелимит - $Ca_4Al_6O_{12}(SO_4)$ (ye'elimitite)	куб. -	
16:10 2.25	/66	/661	/6611	/66111	/661111	швертманит- $Fe_{16}O_{16}(SO_4)_2(OH)_{12}$	тетр. 4/m	1

**Примечания**

1. Для минералов этого подкласса предпочтительным элементом является сера. В составе швертманнита тоже предпочитается сера, а гидроксильных групп меньше, чем свободных атомов кислорода.

#### 2.5. Подкласс 6100/7. Минералы, содержащие дополнительные неметаллы из VII-b подгруппы ПСХЭ

В этом подклассе находятся минералы, у которых в анионной части их состава находятся кислород и элементы VII - b подгруппы ПСХЭ. Как было сказано выше, водород в виде изолированного аниона H<sup>-</sup> в минералах не встречается, и положение первого элемента в VII-b подгруппе остается вакантным. Поэтому это место можно присвоить, весьма распространенному в минералах, гидроксильному иону, тем более что по всем кристаллохимическим свойствам (в первую очередь по размеру и заряду) он весьма близок к

фтору, занимающему второе место в VII-b подгруппе. Цифра 7 в рассматриваемом сейчас подклассе, следовательно, соответствует всей VII-b подгруппе ПСХЭ, включая и гидроксил.

В химическом составе минералов, входящих в этот подкласс, число атомов кислорода превышает или равно числу атомов любого элемента VII-b подгруппы или  $\text{OH}^-$ .

### 2.5.1. Отряд /71. Отношение X:Me = (0.5-1.00)

В таблице 14 собраны минералы первого отряда этого подкласса /71.

Индексы подотрядов и других таксонов, как было сказано выше, не обязательно идут подряд. Промежуточные их значения оставляются пустыми для будущих находок. Последнему подотряду в каждом отряде, из тех же соображений, присваивается индекс 9.

Табл. 14. Минералы отряда 6100/71.

X:Me	Под-отряд	Семейство	Род	Вид	Название и состав	Симметрия
0.67 2:3	/712	/7121	/71211	/712111	полярковит - $\text{Hg}_3\text{OCl}$	мон. $C2/m$
0.71 5:7	/714	/7141	/71411	/714111	ханавальтит - $\text{Hg}_6^{1+}\text{Hg}^{2+}\text{O}_3(\text{Cl},\text{OH})_2$	ромб. $Pbma$
1.00 1:1 2:2	/719	/7191	/71911	/719111	терлингуаит- $\text{Hg}_2\text{OCl}$	мон. $C2/m$

### 2.5.2. Отряд /77. Отношение X:Me = (1.01-1.33)

В таблице 15 собраны все минералы, принадлежащие второму отряду /72

Таблица 15. Минералы отряд /72.

X:Me	Под-отряд	Семейство	Род	Вид	Название и состав	Симметрия	Прим
1.14 8:7	/724	/7241	/72411	/724111	лореттоит - $\alpha$ -	ромб. -	1
16:14					$\text{Pb}_7\text{O}_6\text{Cl}_2$		
		/7242	/72421	/724211	мердоцит- $\text{Pb}_2\text{Ca}_{12}\text{O}_{15}(\text{Cl},\text{Br})$	куб. $Fm\bar{3}m$	
1.20 6:5	/726	/7261	/72611	/726111	пинчит - $\text{Hg}_3\text{O}_3\text{Cl}_2$	ромб. $Ibam$	2
1.25	/727	/7271	/72711	/727111	паркинсонит - $(\text{Pb},\text{Mo})_4\text{O}_4\text{Cl}$	тетр. $I4mmm$	
5:4		/7272	/72721	/727211	дамараит - $\text{Pb}_3\text{O}_3\text{Cl}_2$	ромб. $Pma2$	
1.29	/728	/7281	/72811	/728111	гематофанит - $\text{Pb}_3\text{Fe}_3^{1+}\text{O}_3(\text{OH},\text{Cl})$	тетр. $P4mm$	
9:7							

1.33 4:3	/729	/7291	/72911	/729111	мендипит - $Pb_3O_2Cl_2$	ромб. P222	
			/72912	/729124	гидромаркит - $Sn_3O_2(OH)_2$	тетр. P4/mnc	см.т. 36

Примечание.

1. В подлиннике [30] коэффициенты дробные.
2. В таблице 5 для мердохита приводится несколько другая формула.

### 2.5.3. Отряд /73. Отношение X:Me = (1.34-1.50)

В таблице 16 собраны минералы отряда /73.

Таблица 16. Минералы отряда /73.

X:Me	Под-отряд	Семейство	Род	Вид	Название и состав	Симметрия
1.50	/739	/7391	/73911	/739111	квенселит - $PbMn^{2+}O_2(OH)$	мон. P2/a
3:2		/7392	/73921	/739211	бликсит - $Pb_2(O,OH)_2Cl$	ромб. - мон. 2/m
6:4		/7395	/73951	/739511	хлороксицит - $Pb_3CuO_2(OH)_2Cl_2$	
24:16		/7397	/73971	/739711	пенгжинжонгит - $(Mg,Zn,Al,Fe^{3+})_4$ $(Sn^{4+},Fe^{3+})_2Al_{10}O_{22}(OH)_2$	триг. P3m1

### 2.5.4. Отряд /74. Отношение X:Me = (1.51-1.75)

В отряде /74 все минералы последнего подотряда /749 принадлежат к одному семейству с одинаковой бруттоформулой. Их предлагается разделить на роды по наличию в их составе преобладающих элементов Ti, Nb или Ta. В курсах минералогии они обычно называются группами бетафита, пирохлора и микролита. Все минералы отряда /74 собраны в таблице 17.

Таблица 17. Минералы отряд /74.

X:Me	Под-отряд	Семейство	Род	Вид	Название и состав	Симметрия	Прим
1.52 16:11 32:22	/741	/7411	/74111	/741111	нигерит-24R-( $Fe^{2+}$ , Zn) <sub>4</sub> Sn <sub>2</sub> (Al,Si,Fe) <sub>15</sub> O <sub>30</sub> (OH) <sub>2</sub>	триг. P3m1	1
1.60 8:5 16:10 24:15	/744	/7441	/74411	/744111	иоланит-( $V^{3+},Fe^{3+}$ , $Fe^{2+},Ti$ ) <sub>10</sub> O <sub>14</sub> (OH) <sub>2</sub>	гекс. P6/mc	
		/7442	/74421	/744211	нигерит-6H- $(Zn,Mg,Fe^{2+})(Sn,Zn)_2$ $(Al,Fe^{3+})_{12}O_{22}(OH)_2$	триг. P3m1	

1.62 13:8	/745	/7451	/74511	/745111	ванадинит- $V_1Pb_3O_{12}Cl$	гекс. $P6_3/m$	
1.67 5:3	/746	/7461	/74611	/746111	пиробелонит - $PbMnVO_4(OH)$	ромб. $Rm\bar{c}m$	
1.75 7:4	/749	/7491	/74911	/749111	кальциобетафит - $Ca_2(Ti,Nb)_2(O,OH)_7$	куб. $Fd\bar{3}m$	
					шетелигит-(Ca, Y, Sb) $_2(Ti, Ta, Nb, W)_2O_6$	« «	
				/749112	ОН разиовидность стибиобетафит- $(Ca, Sb^{3+})_2(Ti, Nb, Ta)_2$ $(O, OH)_7$	« «	
				/749113	иттробетафит - (Y)- $(Y, U, Ce)_2(Ti, Nb, Ta)_2$ $O_6OH$	« «	
		/74912	/749121	/749121	пироклор-(Ca, Na) $_2$ $Nb_2O_6(OH, F)$	« «	2
			/749122	/749122	бариопироклор-(Ba, Sr) $_2(Nb, Ti)_2(O, OH)_7$	« «	
			/749123	/749123	иттрупироклор-(Y)- $(Y, Na, Ca, U)_{2-x}(Nb,$ $Ta)_2(O, OH)_7$	« «	
			/749124	/749124	цернопироклор-(Ce) $-(Ce, Ca, Y)_2(Nb, Ta)_2$ $O_6(OH, F)$	« «	
			/749125	/749125	плюмбопироклор - $(Pb, Y, U, Ca)_{2-x}$ $Nb_2O_6(OH)$	« «	
			/749126	/749126	уранпироклор - $(U, Ca, Ce)_2(Nb, Ta)_2$ $O_6(OH, F)$	« «	
		/74913	/749131	/749131	микролит - $(Ca, Na)_2(Ta, Nb)_2O_6$ $(O, OH, F)$	« «	
			/749132	/749132	бариомикролит - $(Ba, U, Pb)_2(Ta, Nb)_2$ $(O, OH)_7$	« «	
			/749133	/749133	плюмбомикролит - $(Pb, Ca, U)_2Ta_2O_6(OH)$	« «	
			/749134	/749134	уранмикролит - $(U, Ca, Ce)_2(Ta, Nb)_2$ $(O_6(OH, F))$	« «	
			/749135	/749135	станиомикролит - $(Sn^{2+}, Fe^{2+}, Mn^{2+})_2(Ta,$ $NbSn)_2(O, OH)_7$	« «	
			/749136	/749136	стибиомикролит - $(Sb, Ca, Na)_2(Ta, Nb)_2$ $(O, OH, F)_7$	« «	3
	/7493	/74931	/749311	/749311	кларкеит-(Na, Ca, Pb) $_2U_2(O, OH)_7$	триг. $R\bar{3}m$	

17495    174951    1749511    карбуарит -  $\text{Fe}^{2+}\text{Al}_2\text{GeO}_5(\text{OH})_2$     трик. -

Примечания.

1. В [30] приведена еще полиморфная модификация бН стр. 329

2. По [30] стр. 342 формула дана с некоторым количеством  $\text{H}_2\text{O}$ .

3. В составе этого минерала сурьма изоморфно замещается натрием и кальцием, поэтому она явно находится в катионной части формулы.

### 2.5.5. Отряд /75. Отношение X:Me = (1.76-2.00)

Минералы пятого отряда этого подкласса собраны в таблице 18. В этом отряде подавляющая часть минералов относится к предельному подотряду X:Me = 2.00, т.е. /759.

Таблица 18. Минералы отряда /75

X:Me	Под-отряд	Семейство	Род	Вид	Название и состав	Симметрия	Прим
1.87 43:23	/757	/7571	/75711	/757111	муратаит - $(\text{Y}, \text{Na})_6(\text{Zn}, \text{Fe}^{1+})_3(\text{Ti}, \text{Nb})_{12}\text{O}_{29}(\text{O}, \text{F})_{10}\text{F}_4$	куб. $F43m$	
2.00	/759	/7591	/75911	/759111	гетерогенит - $3\text{R-CoO}(\text{OH})$	гекс. $P6_3/mmc$	1
2:1			/75912	/759121	исутиг - $(\text{Mn}^{2+}, \text{Mn}^{3+})_2(\text{O}, \text{OH})_2$	гекс. -	
			/75913	/759122	ферроксигит - $\delta\text{-FeO}(\text{OH})$	гекс. -	
				/759131	заварицкит - $\text{BiOF}$	тетр. $P4/nmm$	см. т.36
				/759132	бисмоклит - $\text{BiOCl}$	« «	« «
			/75914	/759141	гримальдит - $\text{CrO}(\text{OH})$	триг. $R3m$	5
				/759142	файткнхтит - $\beta\text{-MnO}(\text{OH})$	триг. $P3m1$	
			/75915	/759151	диаспор - $\text{AlO}(\text{OH})$	ромб. $Pnma$	
				/759152	монтрозеит - $(\text{V}^{3+}, \text{Fe}^{2+}, \text{V}^{4+})\text{O}(\text{OH})$	« «	
				/759154	гроутиг- $\alpha\text{-MnO}(\text{OH})$	« «	
				/759155	гётит - $\text{FeO}(\text{OH})$	« «	
			/75916	/759161	гуанаит - $\text{CrO}(\text{OH})$	ромб. $Pnmm$	
			/75917	/759171	бёмит - $\text{AlO}(\text{OH})$	ромб. $Cmcm$	
				/759172	лепидокрокит - $\gamma\text{-FeO}(\text{OH})$	« «	
			/75918	/759181	акаганеит - $\beta\text{-FeO}(\text{OH}, \text{Cl})$	мон. $I2/m$	
			/75919	/759191	манганит - $\gamma\text{-MnO}(\text{OH})$	мон. $P2_1/c$	

4:2	/7592	/75921	/759211	литιοфорит-(Al,Li) (Mn <sup>4+</sup> ,Mn <sup>2+</sup> )O <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub>	триг. <i>R3m</i>	2
		/75922	/759221	тиванит - TiVO <sub>3</sub> (OH)	мон. <i>P21c</i>	
6:3	/7593	/75931	/759311	эшинит - (Ce)- (Ce,Ca,Th)(Ti,Nb) <sub>2</sub> (O,OH) <sub>6</sub>	ромб. <i>Pmnb</i>	
			/759312	эшинит - (Nd)- (Nd,Ce,Ca)(Ti,Nb) <sub>2</sub> (O,OH) <sub>6</sub>	« «	
		/75932	/759321	тантэвксенит - (Y) - (Y,Ca,Ce)(Ta,Nb,Ti) <sub>2</sub> (O,OH) <sub>6</sub>	ромб. <i>Pscn</i>	
			/759322	ферсмит-(Ca,Ce,Na) (Nb,Ta,Ti) <sub>2</sub> (O,OH,F) <sub>6</sub>	« «	3
		/75933	/759331	эшинит-(Y)-(Y,Ca, Fe)(Ti,Nb) <sub>2</sub> (O,OH) <sub>6</sub>	ромб. <i>Pbnt</i>	
			/759332	ниобозшинит-(Ce)- (Ce,Ca,Th)(Nb,Ti) <sub>2</sub> (O,OH) <sub>6</sub>	« «	
		/75934	/759341	кассит-CaTi <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (OH) <sub>2</sub>	ромб. -	
		/75935	/759351	торутит - (Th,U,Ca)Ti <sub>2</sub> (O,OH)	мон. <i>C2/m</i>	
		/75936	/759361	лукасит-Ce- CeTi <sub>2</sub> (O,OH) <sub>6</sub>	мон. <i>C2/c</i>	
8:4	/7594	/75941	/759411	цезаролит - PbMn <sub>3</sub> <sup>4+</sup> (O,OH) <sub>6</sub>	гекс. -	
		/75945	/759451	метадельриоит- CaSrV <sub>2</sub> <sup>5+</sup> O <sub>6</sub> (OH) <sub>2</sub>	трик. <i>P1</i>	
14:7	/7597	/75971	/759711	симпсонит - Al <sub>4</sub> (Ta,Nb) <sub>3</sub> O <sub>13</sub> (OH)	триг. <i>P3</i>	
		.75973	/759731	недлинит - Pb <sub>6</sub> Cr(O,OH) <sub>6</sub> Cl <sub>6</sub>	триг. <i>R3</i>	4

#### Примечания.

1. Есть еще полипипная модификация 2H [30] стр.272.

2. По другим данным пространственная группа *P3*, [30] стр.288.

3. « « « « « « *Pbcn* [30] стр. 356.

4. Формула взята из [25] стр.611.

В справочнике Дана [30] анионная часть формулы (OH,O)<sub>6</sub>Cl<sub>6</sub> и соответственно недлинит должен быть отнесен в класс 7100/.

5. Известны еще две ромбические модификации: бресуэллит (bracswellite) *Pbnt* и гвианит (guanaite) *Pmnb*.

### 2.5.6.. Отряд /76. Отношение X:Me = (2.01-2.25)

В отряде только два минерала. Они относятся к одному подотряду с отношениями X:Me 2.20. Припишем им символ 5.

Таблица 19. Минералы отряда /76

X:Me	Под-отряд	Семейство	Род	Вид	Название и состав	Симметрия	Прим
2.20 11:5	1765	17651	176511	1765111	ранкамайт - (Na,K) <sub>1x</sub> (Ta,Nb,Al) <sub>4</sub> (O,OH) <sub>11</sub>	ромб. P <sub>2</sub> 1a	
				1765112	соседкоит-(K,Na) <sub>1x</sub> (Ta,Nb,Al) <sub>4</sub> (O,OH) <sub>11</sub>	« «	

### 2.5.7. Отряд /77. Отношение X:Me = (2.26-2.50)

В таблице 20 собраны минералы, относящиеся к отряду /77.

Таблица 20. Минералы отряда /77.

X:Me	Под-отряд	Семейство	Род	Вид	Название и состав	Симметрия	Прим
2.33 7:3	1774	17741	177411	1774111	строциопирохлор - SrNb <sub>2</sub> (O,OH) <sub>7</sub>	куб. Fd3m	
				1774112	плюмбобетафит - (Pb,U,Ca)(Nb,Ti) <sub>2</sub> O <sub>6</sub> (OH,F)	« «	
				1774114	висмутомикролит- (Bi,Ca)(Ta,Nb) <sub>2</sub> O <sub>6</sub> (OH)	« «	
				1774115	джиксианит - Pb(W,Fe <sup>3+</sup> ) <sub>2</sub> (O,OH) <sub>7</sub>	« «	
14:6		17742	177421	1774211	ортобраннерит - U <sup>6+</sup> U <sup>4+</sup> Ti <sub>4</sub> O <sub>12</sub> (OH) <sub>2</sub>	« «	
		17743	177431	1774311	янгунит - Mn <sub>5</sub> <sup>4+</sup> (Mn <sup>2+</sup> ,Fe <sup>3+</sup> )O <sub>8</sub> (OH) <sub>6</sub>	ромб. P2 <sub>1</sub> 22	1

### 2.5.8. Отряд /78. Отношение X:Me = (2.51-3.00)

В таблице 21 собраны минералы, относящиеся к восьмому отряду.

В этом отряде 4 минерала с предельными значениями 3:1 и только один с меньшим отношением.

Таблица 21. Минералы отряда /78

<i>X:Me</i>	<i>Под-отряд</i>	<i>Семейство</i>	<i>Род</i>	<i>Вид</i>	<i>Название и состав</i>	<i>Симметрия</i>	<i>Прим</i>
2.66 8:3	/784	/7841	/78411	/784111	долоресит- $V_3^{4+}O_4(OH)_4$	мон. $C2/m$	
3.00 3:1	/789	/7891	/78911	/789111	алюмотунгстит - $(W,Al)(O,OH)_3$	куб. -	
6:2		/7892	/78921	/789211	антоинит - $WAlO_3(OH)_3$	трик. -	см. т.33
9:3		/7893	/78931	/789311	итротунгстит-(Y)- $YW_2O_6(OH)$	мон. $P2_1/m$	
				/789312	церротунгстит - $CeW_2O_6(OH)_3$	« «	

## 2.5.9. Отряд /79. Отношение $X:Me = (3.01-4.00)$

Единственным минералом, принадлежащим к последнему отряду /79 (с отношением  $X:Me$  от 3.01 до 4.00), является моурит -  $U^{4+}Mo_5^{6+}O_{12}(OH)_{10}$ , кристаллизующийся в моноклининой сингонии, в пространственной группе  $Pc$ . Поскольку его состав отвечает отношению  $X:Me=3.66$ , т.е. близкому к середине значений этого отряда, постольку можно дать цифру 5 для подотряда, к которому он принадлежит. Его символ тогда будет /795111.

## 2.6. Подкласс 6100/9. Гидраты

### 2.6.1. Отряды: /91, /92 и /93. Отношения $X:Me$ от 0.5 до 1.5

Ввиду того, что в первом отряде минералов нет, во втором - только 3, а в третьем - 4, таблиц для них нет. Эти минералы просто перечислены и конкретно для каждого приведены их десятичные символы. Для каждого минерала, являющегося предельным по составу в данном подотряде написана цифра 9, чтобы оставить часть предыдущих значений для будущих находок новых минералов.

Минералов в отряде /91, т.е. с отношением  $X:Me=(0.5-1.00)$ , в этом подклассе нет.

Минералов в отряде /92, т.е. с отношением  $X:Me=(1.01-1.33)$ , имеется три:

мускоксит -  $Mg_7Fe^{3+}_4O_{13} \cdot 10H_2O$  (13:11=1.18) триг.  $R3m$ , бирнессит -  $(Na,Ca,K)(Mn^{4+},Mn^{3+})_2O_4 \cdot 1.5H_2O$  мон.  $C2/m$  и гидрогетеролит -  $Zr_2Mn_4^{3+}O_8 \cdot H_2O$  (4:3=1.33) тетр.  $14_1/amd$ . Им соответственно следует приписать символы /925111, /929111 и /929211.

Минералов в отряде /93 X:Me=(1.34-1.50) известно четыре. Первый из них лазаренкоит -  $\text{CaFe}^{3+}\text{As}_3^{3+}\text{O}_7 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  ромб. - с отношением 1.40 и три остальных с отношением 1.50: 2) акдалаит -  $4\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , гекс. P6<sub>1</sub>22. 3) ферригидрит -  $5\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  гекс. - и 4) мунирит -  $\text{NaVO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  мон. P2<sub>1</sub>a. Они имеют значения X:Me=1.50. Им соответственно можно дать следующие символы: /939311, /939411 и /939611.

## 2.6.2. Отряд /94. Отношение X:Me = (1.51-1.75)

В таблице 22 собраны минералы четвертого отряда подкласса /9.

Таблица 22. Минералы отряда /94 X:Me=1.51-1.75.

X:Me	Под-отряд	Семейство	Род	Вид	Название и состав	Симметрия	Прим
1.60 8:5	/942	/9421	/94211	/942111	бракебушит - $(\text{Mn}^{2+}, \text{Fe}^{2+})\text{V}_2\text{Pb}_2\text{O}_8 \cdot \text{H}_2\text{O}$	мон. P2 <sub>1</sub> /m	
		/9423	/94231	/942311	поттсит - $\text{HPbBiV}_2\text{O}_8 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	тетр. I4 <sub>1</sub> 22	
		/9425	/94251	/942511	бирнессит - $(\text{Na}, \text{Ca})(\text{Mn}^{4+}, \text{Mn}^{3+})_4\text{O}_8 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	мон. C2/m	1
1.62 13:8	/943	/9431	/9431	/943111	сантафеит - $\text{NaMg}_3(\text{Ca}, \text{Sr})(\text{V}, \text{As})_3\text{O}_{13} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	ромб. B22 <sub>1</sub> 2	
1.71 12:7	/946	/9462	/94621	/946211	тодорокит - $(\text{Mn}^{2+}, \text{Ca}, \text{Na}, \text{K})(\text{Mn}^{4+}, \text{Mn}^{2+}, \text{Mg})_6\text{O}_{12} \cdot 3-4.5\text{H}_2\text{O}$	мон. P2/m	1
		/9464	/94641	/946411	кафетит - $\text{Ca}(\text{Fe}^{3+}, \text{Al})_2\text{Ti}_4\text{O}_{12} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	мон. -	
		/9466	/94661	/946611	вудрафит (woodruffite) - $(\text{Zn}, \text{Mn}^{2+})_2\text{Mn}_3^{4+}\text{O}_{12} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	тетр. P4mm	
1.73 19:11	/948	/9481	/94811	/948111	духамелит - $\text{Cu}_4\text{Pb}_2\text{BiV}_4\text{O}_{16}(\text{OH})_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	ромб. -	
1.75	/949	/9491	/94911	/949111	пирохлор - $(\text{Na}, \text{Ca})_2\text{Nb}_2\text{O}_6(\text{OH}, \text{F}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$	куб. Fd3m	1
				/949112	калипирохлор - $(\text{K}, \text{Sr})_2\text{Nb}_2\text{O}_6(\text{O}, \text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$	« «	!
		/9493	/94931	/949311	джнаншуит - $(\text{Mg}, \text{Mn})\text{Mn}_3^{4+}\text{O}_7 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	триг. R3	
				/949312	аурорит - $(\text{Mn}^{2+}, \text{Ag}, \text{Ca})\text{Mn}_3^{4+}\text{O}_7 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	« «	
		/949313	эрникелит - $\text{NiMn}_3^{4+}\text{O}_7 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	« «			
		/949314	халькофанит - $(\text{Zn}, \text{Fe}^{2+}, \text{Mn}^{2+})\text{Mn}_3^{4+}\text{O}_7 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	« «			

Примечание.

1. В справочнике [22] коэффициенты дробные.

### 2.6.3. Отряд /95. Отношение X:Me = (1.76-2.00)

В таблице 23 собраны минералы пятого отряда.

Таблица 23. Минералы отряда /95

X:Me	Под-отряд	Семейство	Род	Вид	Название и состав	Симметрия	Прим
1.77 16:9	/951	/9511	/95111	/951111	маннардит - $\text{BaTi}_6(\text{V}^{3+}, \text{Cr}^{3+})_2\text{O}_{16} \cdot \text{H}_2\text{O}$	тетр. $I4_1/a$	
				/951112	редледжит - $\text{BaTi}_6\text{Cr}_2\text{O}_{16} \cdot \text{H}_2\text{O}$	« «	
1.80 9:5	/952	/9521	/95211	/952111	таканелит - $(\text{Mn}^{2+}, \text{Ca})\text{Mn}^{4+}\text{O}_9 \cdot \text{H}_2\text{O}$	гекс. -	
				/95221	волбортит - $\text{Cu}_3\text{V}_2\text{O}_7(\text{OH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	мон. $2c$	
				/95231	рансьеит - $(\text{Ca}, \text{Mn})\text{Mn}_2^{4+}\text{O}_9 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	гекс. -	
				/95241	ферригидрит - $\text{Fe}_3\text{O}_6(\text{OH})_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	гекс. -	1
28:15		/9525	/95251	/952511	симплотит - $\text{CaV}_4^{4+}\text{O}_9 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	мон. $A2/m$	
				/95261	хьюмалит - $\text{Na}_4\text{MgV}_{10}\text{O}_{28}$	трик. $P\bar{1}$	
1.83 11:6	/954	/9542	/95421	/954211	риландит - $(\text{Cr}, \text{Al})_6\text{O}_7[\text{SiO}_4] \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	- -	
				/95441	франконит - $\text{Na}_2\text{Nb}_4\text{O}_{11} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	мон. -	
1.85 37:20	/955	/9552	/95521	/955211	сатлаевит - $\text{Al}_{12}\text{V}_2^{4+}\text{V}_6^{5+}\text{O}_{37} \cdot 30\text{H}_2\text{O}$	ромб. -	
				/95621	клеберит - $\text{FeTi}_6\text{O}_{13} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	гекс. $P6_3/m\bar{2}$	
1.87 28:15	/957	/9573	/95731	/957311	хьюмалит - $\text{Na}_4\text{MgV}_{10}^{3+}\text{O}_{28} \cdot 24\text{H}_2\text{O}$	трик. $P\bar{1}$	
				/95911	вериадит - $(\text{Mn}^{4+}, \text{Fe}, \text{Ca}, \text{Na})(\text{O}, \text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	гекс. -	
2.00 2:1	/959	/9591	/95911	/95923	леиоблит - $\text{V}_2^{4+}\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	ромб. $P2_12_12_1$	
				/95924	стайгерит - $\text{AlV}^{5+}\text{O}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	мон. $P2_1/m$	
6:3		/9593	/95931	/959311	ферритунгстит - $(\text{K}, \text{Ca}, \text{Na})(\text{W}^{6+}, \text{Fe}^{3+})_2(\text{O}, \text{OH})_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$	куб. $Fd\bar{3}m$	

			/959312	калипирохлор-(H <sub>2</sub> O) (Nb,Ti) <sub>2</sub> (O,OH) <sub>6</sub> ·H <sub>2</sub> O	« «	
		/95932	/959321	метароссит - CaV <sub>2</sub> <sup>5+</sup> O <sub>6</sub> ·2H <sub>2</sub> O	трик. <i>PJ</i>	
		/95933	/959331	стрелкинит - NaUO <sub>2</sub> V <sup>5+</sup> O <sub>4</sub> ·3H <sub>2</sub> O	ромб. <i>Pnmm</i>	
		/95934	/95941	россит - CaV <sub>2</sub> <sup>5+</sup> O <sub>6</sub> ·4H <sub>2</sub> O	трик. <i>PI</i>	
		/95935	/959351	асболан - (Co,Ni) Mn <sub>2</sub> <sup>4+</sup> O <sub>4</sub> (OH) <sub>2</sub> ·nH <sub>2</sub> O	гекс. -	2
8:4	/9594	/95942	/959421	дельриорит - CaSr V <sub>2</sub> <sup>5+</sup> O <sub>6</sub> (OH) <sub>2</sub> ·3H <sub>2</sub> O	мон. <i>I2/a</i>	
10:5	/9595	/95953	/959531	агриньерит - (K <sub>2</sub> ,Ca,S <sub>2</sub> )U <sub>3</sub> O <sub>10</sub> ·4H <sub>2</sub> O	ромб. <i>Cmmm</i>	
		/95955	/959551	меланованадит - Ca(V <sup>4+</sup> ,V <sup>5+</sup> ) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> ·5H <sub>2</sub> O	трик. <i>PI</i>	
12:6	/9596	/95961	/959611	маргаритасит - Cs <sub>2</sub> (UO <sub>2</sub> )V <sub>2</sub> O <sub>8</sub> ·H <sub>2</sub> O	мон. <i>P2<sub>1</sub>/a</i>	
			/959612	карнотит - K <sub>2</sub> (UO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> V <sub>2</sub> O <sub>8</sub> ·1-3H <sub>2</sub> O	« «	
		/95965	/959651	герасимовскит - (Na, Ca)(Nb,Ti) <sub>5</sub> O <sub>12</sub> ·9H <sub>2</sub> O	- -	
			/959652	белякнит - Ca <sub>12</sub> (Ti,Zr,Nb) <sub>5</sub> O <sub>12</sub> ·9H <sub>2</sub> O	ромб. -	3
			.959653	манганбелякнит (Mn <sup>2+</sup> ,Ca)(Ti,Nb) <sub>5</sub> O <sub>12</sub> ·9H <sub>2</sub> O	- -	
14:7	/9597	/95973	/959731	хуммерит - KMgV <sub>3</sub> O <sub>14</sub> ·8H <sub>2</sub> O	трик. <i>PI</i>	
16:8	/9598	/95982	/959821	барнесит - (Na, Ca) <sub>2</sub> V <sub>6</sub> <sup>5+</sup> O <sub>16</sub> ·3H <sub>2</sub> O	мон. <i>P2/m</i>	
		/95983	/959831	грайтсит - (Na,Ca) <sub>2</sub> (V <sup>5+</sup> ,V <sup>4+</sup> ) <sub>6</sub> O <sub>16</sub> ·4H <sub>2</sub> O	мон. <i>C2/m</i>	
		/95984	/959841	ферванит - Fe <sub>4</sub> <sup>3+</sup> V <sub>4</sub> O <sub>16</sub> ·5H <sub>2</sub> O	мон. -	
38:19	/9599	/95992	/959921	ваналит - NaAl <sub>8</sub> V <sub>10</sub> O <sub>38</sub> ·30H <sub>2</sub> O	мон. <i>P2/m</i>	4

#### Примечания:

1. В [30] приводится и вторая формула для ферригидрита - FeO(OH), но она считается менее вероятной.

2. Формула дана по [25] стр. 191.

3. В справочнике Флейшера [22] коэффициенты дробные.

4. Числа + и - не совпадают.

## 2.6.4. Отряд /96. Отношение X:Me = (2.01-2.25)

В таблице 24 собраны минералы шестого отряда подкласса гидратов.

Таблица 24. Минералы отряда /96

<i>X:Me</i>	<i>Под-отряд</i>	<i>Семейство</i>	<i>Род</i>	<i>Вид</i>	<i>Название и состав</i>	<i>Симметрия</i>	<i>Прим</i>
2.05 80:39	/961	/9611	/96111	/961111	шервудит - $\text{Ca}_9\text{Al}_2\text{V}_4^{4+}\text{V}_2\text{V}_2^{5+}\text{O}_{80}\cdot 56\text{H}_2\text{O}$	тетр. <i>I4/amd</i>	
2.15 28:13	/964	/9641	/96411	/964111	пасконит - $\text{Ca}_3\text{V}_{10}^{5+}\text{O}_{28}\cdot 17\text{H}_2\text{O}$	мон. <i>C2</i>	
2.17 13:6	/965	/9651	/96511	/965111	ваноксит - $\text{V}_4^{4+}\text{V}_2^{5+}\text{O}_{11}\cdot 8\text{H}_2\text{O}$	- -	
2.18	/966	/9661	/96611	/966111	хеидерсонит - $\text{Ca}_2\text{V}^{4+}\text{V}_8^{5+}\text{O}_{24}\cdot 8\text{H}_2\text{O}$	ромб. <i>R3m</i>	2
24:11		/9662	/96621	/966211	филлотунгсит - $\text{CaFe}_3^{3+}\text{HV}_6\text{O}_{24}\cdot 10\text{H}_2\text{O}$	ромб. <i>R3mt</i>	
2.20 11:5	/967	/9671	/96711	/967111	хошелагаит - $(\text{Ca}, \text{Na}, \text{Sr})\text{Nb}_4\text{O}_{11}\cdot 8\text{H}_2\text{O}$	мон. -	
2.22 20:9	/968	/9681	/96811	/968111	корвусит - $(\text{Na}, \text{Ca}, \text{K})(\text{V}^{5+}, \text{V}^{4+}, \text{Fe}^{2+})_8\text{O}_{20}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$	мон. <i>C2/m</i>	1
				/968112	фернандинит - $\text{Ca}(\text{V}^{5+}, \text{V}^{4+}\text{Fe})_8\text{O}_{20}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$	« «	
		/9682	/96821	/968211	бокит - $(\text{Al}, \text{Fe}^{3+})(\text{V}^{5+}, \text{V}^{4+}, \text{Fe}^{3+})_8\text{O}_{20}\cdot 4,7\text{H}_2\text{O}$	мон. -	
		/9683	/96831	/968311	страчекит - $(\text{Ca}, \text{K}, \text{Ba})(\text{V}^{5+}, \text{V}^{4+})_8\text{O}_{20}\cdot 6\text{H}_2\text{O}$	мон. <i>C2/m</i>	
		/9684	/96841	/968411	рамоит - $\text{K}_2\text{CaU}_6\text{O}_{20}\cdot 9\text{H}_2\text{O}$	мон. <i>C2/c</i>	
2.25 9:4	/969	/9691	/96911	/969111	ураносферит - $\text{Bi}_2\text{U}_2\text{O}_7\cdot 3\text{H}_2\text{O}$	ромб. -	

Примечания:

1. См. табл. 25, состав другой.

2. По [30] стр. 988 состав другой -  $\text{Ca}_{1,3}\text{V}_6\text{O}_{16}\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ .

## 2.6.5. Отряд /97. Отношение X:Me = (2.26-2.50)

В таблице 25 собраны минералы седьмого отряда подкласса гидратов.

Таблица 25. Минералы отряда /97

<i>X:Me</i>	<i>Под-отряд</i>	<i>Семейство</i>	<i>Род</i>	<i>Вид</i>	<i>Название и состав</i>	<i>Симметрия</i>	<i>Прим</i>
2.29 16:7	/971	/9712	/97121	/971211	метахьюэтит- $\text{CaV}_6^{3+}\text{O}_{16}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$	мон. <i>P2/m</i>	
		/9716	/97161	/971611	хьюэтит - $\text{CaV}_6^{3+}\text{O}_{16}\cdot 9\text{H}_2\text{O}$	мон. -	
2.33 7:3	/973	/9732	/97321	/973211	метакальциоураноит- $(\text{Ca}, \text{Na}, \text{Ba})\text{U}_2\text{O}_7\cdot 2\text{H}_2\text{O}$	- -	
			/97322	/973221	вёлсендрофит - $(\text{Pb}, \text{Ca})\text{U}_2\text{O}_7\cdot 2\text{H}_2\text{O}$	ромб. <i>Cтт2</i>	
		/9734	/97341	/973411	баураноит - $\text{BaU}_2\text{O}_7\cdot 4\text{-}5\text{H}_2\text{O}$	- -	
14:6 28:12		/9736	/97361	/973611	сеижьсрит - $\text{Cu}_2(\text{UO}_2)_2\text{V}_2\text{O}_8(\text{OH})_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$	мон. <i>P2_1/a</i>	
2.40 12:5	/975	/9752	/97521	/975211	парабарномикролит - $\text{BaTa}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$	триг. <i>R3т</i>	
		/9753	/97531	/975311	метатюямунит - $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2\text{V}_2\text{O}_8\cdot 3\text{-}5\text{H}_2\text{O}$	ромб. <i>Pнат</i>	
		/9754	/97541	/975411	тюямунит - $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2\text{V}_2\text{O}_8\cdot 5\text{-}8\text{H}_2\text{O}$	ромб. <i>Pнтта</i>	
24:10		/9755	/97551	/975511	барнандит- $\text{V}_2^{4+}\text{V}_8^{3+}\text{O}_{24}\cdot 12\text{H}_2\text{O}$	мон. <i>C2/c</i>	
36:15		/9756	/97561	/975611	раувит - $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2\text{V}_{12}\text{O}_{32}\cdot 16\text{H}_2\text{O}$	- -	
48:20		/9757	/97573	/975731	казахстанит - $\text{Fe}_5^{1+}\text{V}_{12}^{3+}\text{V}^{4+}\text{O}_{39}(\text{OH})_9\cdot 9\text{H}_2\text{O}$	мон. <i>C2/c</i>	
2.43 17:7	/976	/9761	/97611	/976111	корвусит- $\text{V}^{4+}\text{V}_6^{3+}\text{O}_{17}\cdot \text{H}_2\text{O}$	« «	1
		/9763	/97631	/976311	кюрит- $\text{Pb}_2\text{U}_3^{6+}\text{O}_{17}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$	ромб. <i>Pнат</i>	
2.45 27:11	/977	/9774	/97741	/977411	масюйит - $\text{Pb}_3\text{U}_8^{6+}\text{O}_{27}\cdot 10\text{H}_2\text{O}$	ромб. <i>Pсна</i>	
2.50 5:2	/979	/9791	/97921	/979211	навахоит - $\text{V}_2\text{O}_5\cdot 3\text{H}_2\text{O}$	мон. <i>C2/m</i>	
20:8		/9794	/97943	/979431	скорант- $\text{Bi}_3\text{Fe}_3\text{O}_9(\text{Te}^{4+}\text{O}_3)(\text{Te}^{6+}\text{O}_4)_2\cdot 9\text{H}_2\text{O}$	тетр. -	

Примечание:

1. Состав по другим данным см. табл. 24

## 2.6.6. Отряд /98. Отношение X:Me = (2.51-3.00)

В таблице 26 собраны минералы восьмого подкласса гидратов.

Таблица 26. Минералы отряда /98.

X:Me	Под-отряд	Семейство	Род	Вид	Название и состав	Симметрия	Прим
2.57 18:7	/982	/9823	/98231	/982311	сэйрит-Pb <sub>2</sub> (UO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> O <sub>6</sub> (OH) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	мон. P2 <sub>1</sub> /c	
2.60 13:5	/983	/9833	/98331	/983311	ришетит- PbU <sub>4</sub> O <sub>13</sub> ·4H <sub>2</sub> O	трик. P1	
		/9835	/98351	/983511	вануралит-Al(UO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> V <sub>2</sub> O <sub>8</sub> (OH)·11H <sub>2</sub> O	мон. P2/a	
2.63 21:18	/984	/9843	/98431	/984311	уванит- U <sub>2</sub> <sup>6+</sup> V <sub>6</sub> <sup>5+</sup> O <sub>21</sub> ·15H <sub>2</sub> O ?	ромб. -	
2.66 8:3	/985	/9852	/98521	/985211	ильземаннит- Mo <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ·nH <sub>2</sub> O(?)	аморфный	
2.75 11:4	/987	/9872	/98721	/987211	протасит- Ba(UO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> (OH) <sub>2</sub> ·3H <sub>2</sub> O	мон. Pn	
22:8		/9874	/98741	/987411	компреньясит-K <sub>2</sub> (UO <sub>2</sub> ) <sub>6</sub> O <sub>4</sub> (OH) <sub>6</sub> ·8H <sub>2</sub> O	ромб. Pnmm	
		/9875	/98751	/987511	метавандендрисшеит-PbU <sub>7</sub> O <sub>22</sub> ·nH <sub>2</sub> O (n<12)	ромб. Pnma	
				/987512	вандендрисшеит- PbU <sub>7</sub> <sup>6+</sup> O <sub>22</sub> ·12H <sub>2</sub> O	ромб. P2 <sub>1</sub> ma	
2.83 17:6	/988	/9883	/98831	/988311	иантинит- UO <sub>2</sub> ·5UO <sub>3</sub> ·10H <sub>2</sub> O	ромб. -	
3.00 3:1	/989	/9891	/98911	/989111	тунгстит-WO <sub>3</sub> ·H <sub>2</sub> O	ромб. Pnma	
			/98912	/989121	парашоепит-UO <sub>3</sub> ·1- 2H <sub>2</sub> O	ромб. Pbca	
			/98913	/989131	меташоепит-UO <sub>3</sub> ·1- 2H <sub>2</sub> O	ромб. Pbna	
		/9892	/98921	/989211	сидвиллит- MoO <sub>3</sub> ·2H <sub>2</sub> O	мон. P2 <sub>1</sub> /n или P2 <sub>1</sub> /c	амор.
		/98922	/989221	/989221	меймакит-WO <sub>3</sub> ·2H <sub>2</sub> O	- -	
6:2	/9893	/98931	/989311	/989311	мпоророит- WAlO <sub>3</sub> (OH) <sub>3</sub> ·2H <sub>2</sub> O	трик. -	
12:4	/9894	/98941	/989411	/989411	уранотунгстит- (Fe,Ba,Pb)(UO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> (OH) <sub>4</sub> ·12H <sub>2</sub> O	ромб. P222 <sub>1</sub>	
15:5	/9895	/98951	/989511	/989511	фурмарьерит-Pb (UO <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> O <sub>3</sub> (OH) <sub>4</sub> ·4H <sub>2</sub> O	ромб. Bb2/m	

### 2.6.7. Отряд /99. Отношение X:Me = (3.01-4.00)

В таблице 27 собраны минералы девятого отряда подкласса гидратов.

Таблица 27. Минералы отряда /99.

<i>X:Me</i>	<i>Под-отряд</i>	<i>Семейство</i>	<i>Род</i>	<i>Вид</i>	<i>Название и состав</i>	<i>Симметрия</i>	<i>При</i>
3.14	/992	/9923	/99231	/992311	биллетит - $Va(UO_2)_6O_4(OH)_6$ -4-8H <sub>2</sub> O	ромб. <i>Pbn2<sub>1</sub></i>	
22:7			/99232	/992321	беккерелит – Ca $(UO_2)_6O_4(OH)_6 \cdot 8H_2O$	ромб. <i>Pn2<sub>1/a</sub></i>	
3.20 16:5	/994	/9941	/99411	/994111	роубаултит- $Cu_2(UO_2)_3(CO_3)_2O_2$ (OH) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	трик. <i>P1</i>	
3.40 17:5	/995	/9954	/99541	/995411	метавануралит-Al $(UO_2)_2V_2O_{12}OH8H_2O$	трик.	
3.86 27:7	/996	/9961	/99611	/996111	камнтугайт·PbAl $(UO_2)_5[(P,As)O_4]_2$ (OH) <sub>9</sub> ·9,5H <sub>2</sub> O	трик. <i>P1</i>	

### 3. СИСТЕМАТИКА МИНЕРАЛОВ В КЛАССЕ ГИДРОКСИДОВ, 7100/

В этом классе число ионов гидроксида ( $\text{OH}^-$ ) в химической формуле минералов больше числа любых неметаллов. Этот класс делится на подклассы по наличию у этих минералов в анионной части их формул дополнительных к гидроксилам неметаллов. При этом относительное количество атомов этих подгрупп значения не имеет. Наименование подклассов определяется наличием хотя бы одного атома из соответствующей подгруппы ПСХЭ. В случае, когда кроме гидроксильных групп, в формуле минерала имеется несколько разных дополнительных неметаллических элементов, наименование подкласса дается в соответствии с предпочитаемым элементом. Напомню принятый нами ранее ряд предпочтения: В, С, Si, Ge, Sn, N, P, As, Sb, Bi, O, S, Se, Te, H(OH), F, Cl, Br, I. Первый подкласс содержит минералы, в анионной части состава которых имеются только ионы ( $\text{OH}^-$ ). Назвать его можно подклассом простых гидроксидов и приписать ему символ 7100/1. Следующим подклассом мог бы быть подкласс с символом 7100/3, содержащий в анионной части состава минералов кроме ионов гидроксила еще и ионы бора.

В подкласс /3, в котором дополнительным элементом является бор, по формальным причинам можно было бы отнести несколько минералов, в химической формуле которых имеется преобладающее количество гидроксильных групп. См. например, бандилит -  $\text{CuB}(\text{OH})_4\text{Cl}$  и аналогичные ему типлеит, амегинит, пинноит, вимсит и др.. Однако по соображениям, высказанным в главе, посвященной соответствующим минералам класса оксидов, целесообразнее подобные минералы отнести к классу боратов 6131/. Одним из этих соображений является тот факт, что бор начинает ряд предпочтения, т.е. он предпочитается всем остальным неметаллам, на базе которых строится вся классификация минералов. Исключение можно допустить только для небольшой группы силикатов, где атомы бора в кристаллических структурах, имея координационное число 4, имитируют атомы кремния, аналогично таким металлам как Al или Be.

Подклассы /4, /5 и /6 будут содержать в качестве дополнительных к гидроксилу предпочитаемые неметаллы из IV-b, V-b, и VI-b подгрупп. Так например, диаболеит -  $\text{Pb}_2\text{Cu}(\text{OH})_4\text{Cl}_2$  и лаурионит -  $\text{Pb}(\text{OH})\text{Cl}$  будут относиться к подклассу /7; хеггит -  $\text{V}_2(\text{OH})_3\text{O}_2$  - к классу /6, ликазит -  $\text{Cu}_6(\text{OH})_7(\text{NO}_3)_2(\text{PO}_4)$  - к /5, а лозейит -  $(\text{Mg},\text{Zn})_7(\text{OH})_{10}(\text{CO}_3)_2$  - к /4.

Минералы, входящие в подкласс 7, кроме преобладающего количества гидроксильных ионов содержат в качестве дополнительных элементов галогены.

Последним подклассом /9 будут гидраты.

### 3.1 Подкласс простых гидроксидов, 7100/1

В таблицах 28 и 29 собраны минералы простых гидроксидов, т.е. таких в анионной части которых, имеются только гидроксильные ионы. В первых четырех отрядах и в шестом, седьмом и девятом отрядах этого подкласса минералы не известны.

Цифры, обозначающие в десятичном символе отряды, те же, что и в классе оксидов (см. Табл. 4 “Деление подклассов класса оксидов, 6100/, на отряды”).

#### 3.1.1. Отряд 7100/15. Отношение X:Me = (1.76 - 2.00)

Таблица 28. Минералы отряда 7100/15.

X:Me	Под-отряд	Семейство	Род	Вид	Название и состав	Симметрия
2.00	/159	/1591	/15911	/159111	ашоверит - $Zn(OH)_2$	тетр. 1/amd
2:1			/15912	/159121	свитит - $Zn(OH)_2$	тетр. $P4_12_12$
			/15913	/159131	брусит - $Mg(OH)_2$	триг. $P3m1$
				/159132	портландит - $Ca(OH)_2$	« «
				/159133	пирохроит - $Mn(OH)_2$	« «
				/159134	амакинит - $(Fe,Mg)(OH)_2$	« «
				/159135	теофрастит - $Ni(OH)_2$	« «
			/15914	/159141	спертинит - $Cu(OH)_2$	ромб. $Cmc2$
			/15915	/159151	бехоит-β - $Be(OH)_2$	ромб. $P2_12_12_1$
				/159152	вильфингит - $Zn(OH)_2$	« «
			/15916	/159161	клинобехоит - $Be(OH)_2$	мон. $P2_1$

К отряду /17 можно отнести [22] стр. 154 цианофиллит -  $\text{Cu}_5\text{Al}_2\text{Sb}_3(\text{OH})_{25}$ , ромб. *Ptmb*, если предположить, что вся сурьма играет роль металла. Однако у Дана [30] с. 975 формула написана совсем иначе -  $\text{Cu}_5\text{Al}_2(\text{SbO}_4)_3(\text{OH})_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  и если она верна, то цианофиллит относится к классу стибнатов 6154/, а не к классу 7100/.

### 3.1.2. Отряд 7100/18. Отношение X:Me = (2.51 - 3.00)

Таблица 29. Минералы отряда 7100/18

X:Me	Подотряд	Семейство	Род	Вид	Название и состав	Симметрия	Прим
3.00 3:1	/189	/1891	/18911	/189111	сонгсит - $\text{Ga}(\text{OH})_3$	куб. <i>Im3</i>	
				/189112	джалиндит - $\text{In}(\text{OH})_3$	« «	
				/189121	джамборит- $(\text{Ni}^{2+}, \text{Ni}^{3+}, \text{Fe})(\text{OH})_2(\text{OH}, \text{S}, \text{H}_2\text{O})$	« гекс -	
				/189131	байерит- $\alpha\text{-Al}(\text{OH})_3$	мон. <i>C2/c</i>	
				/189141	гиббсит- $\gamma\text{-Al}(\text{OH})_3$	« «	
				/189151	дойлеит - $\text{Al}(\text{OH})_3$	трик. <i>P1</i>	
6:2		/1892	/18921	/189211	викманит- $\text{MnSn}(\text{OH})_6$	куб. <i>Pn3m</i>	1
				/189212	натанит- $\text{FeSn}(\text{OH})_6$	« «	1
				/189213	мушистонит - $(\text{Cu}, \text{Zn}, \text{Fe})\text{Sn}(\text{OH})_6$	« «	1
				/189214	висмирновит - $\text{ZnSn}(\text{OH})_6$	« «	1
				/189221	шонфлнсит - $\text{MgSn}(\text{OH})_6$	куб. <i>Pn3</i>	1
				/189231	буртит- $\text{CaSn}(\text{OH})_6$	триг. <i>R3</i>	1
				/189241	стоттит- $\text{FeGe}(\text{OH})_6$	тетр. <i>P4_21</i>	1
				/189242	тетравикманит- $\text{MnSn}(\text{OH})_6$	« «	1
				/189243	джсанбандинит - $(\text{Fe}, \text{Mn})\text{Sn}(\text{OH})_6$	« «	1
				/189244	мопунгит- $\text{NaSb}(\text{OH})_6$	« «	1

Примечание: 1. В состав всех перечисленных минералов кроме гидроксильных ионов присутствуют тяжелые неметаллы Ge, Sn или Sb.

### 3.2. Подкласс 7100/4. Минералы, содержащие в качестве дополнительных неметаллов элементы IV-b подгруппы

В этом подклассе в качестве дополнительных к гидроксилу неметаллов находятся элементы из IV-b подгруппы ПСХЭ.

В подклассе /4 имеется только три минерала:

лозейит -  $(Mn, Zn)_7(OH)_{10}(CO_3)_2$ , мон.  $C2/c$ ,

аурихальцит -  $(Zn, Cu)_5(OH)_6(CO_3)_2$ , ромб.  $C222_1$ ,

гидроцинкит -  $Zn_5(OH)_6(CO_3)_2$ , мон.  $C2/m$ .

Все три минерала принадлежат к одному (седьмому) отряду. Первый имеет отношение X:Me равное 2.28, два других - 2.40. Последние два принадлежат к одному семейству, но к разным родам. Всем этим минералам соответственно можно приписать следующие символы: 7100/472111, /474111 и /474121.

Интересно отметить, что в этом подклассе класса гидроксидов в качестве дополнительного неметалла имеется углерод, который не встречен в аналогичном подклассе класса оксидов (5100/4). Там дополнительным элементом IV-b подгруппы был кремний (см. табл. 11). Более тяжелые неметаллические элементы этой подгруппы Ge и Sn играют в гидроксильных соединениях уже роль металла. То есть они не образуют отдельных комплексных анионов с тремя или четырьмя атомами кислорода, а так же, как обычные металлы, имеют к.ч. 6 и выше. Об этом можно судить по высокой симметрии этих соединений (см. табл. 2).

### 3.3. Подкласс 7100/5. Минералы, содержащие в качестве дополнительных неметаллов элементы V-b подгруппы

В этом подклассе находятся минералы, в химическом составе которых в качестве дополнительных элементов к гидроксильным группам находятся элементы V-b в подгруппах ПСХЭ. Подкласс имеет отряды /56, /57, /58 и /59.

В отряде 7100/56 известны три минерала:

хлорофеницит -  $(Mn^{2+}, Mg)_3Zn_2(OH)_7(AsO_4)$ , моноклинный  $C2/m$ , /566111,

магнезиохлорофеницит -  $(Mg, Mn^{2+})_3Zn_2(OH)_7(AsO_4)$  той же симметрии, /566112 и тейсит -  $Cu_5Zn_5(OH)_{14}[(As, Sb)O_4]_2$  ромбический - /566211.

В отряде /57 известен один минерал

джаросевичит -  $Mn_3^{2+}Mn^{3+}(OH)_6(AsO_4)$ , кристаллизующийся в ромбической сингонии  $Cmm2$ . Ему можно приписать символ 7100/579111. Индекс 9 для подотряда, как всегда, характеризует последний подотряд в соответствующем отряде.

В отряде /58 кристаллизуются 2 минерала:

ликазит -  $\text{Cu}_6(\text{OH})_7(\text{NO}_3)_2(\text{PO}_4)$  ромб. /587111,

гердтремелит -  $\text{ZnAl}_2(\text{OH})_5(\text{AsO}_4)$  трик. P1 /589511.

Приписанные выше им символы символизируют тот факт, что только первый относится к неопределённому подотряду, но и у него отношение X:Me = 2.83 достаточно близко к значению 3.00.

Минералы отряда /59 собраны в таблице 30. Все они принадлежат к одному структурному типу.

Таблица 30. Минералы отряда 7100/59. Отношение X:Me от 3.00 до 4.00.

X:Me	Под-отряд	Семейство	Род	Вид	Название и состав	Симметрия	Прим
3.50 7:2	/595	/5951	/59511	/595111	вудхауссит- $\text{CaAl}_3(\text{OH})_6(\text{PO}_4)(\text{SO}_4)$	триг R3m	
				/595112	сванбергит- $\text{SrAl}_3(\text{OH})_6(\text{PO}_4)(\text{SO}_4)$	« «	
				/595113	гинсдалит-(Pb,Sr) $\text{Al}_3(\text{OH})_6(\text{PO}_4)(\text{SO}_4)$	« «	1
				/595114	коркит - $\text{Pb}_2\text{Fe}_2(\text{OH})_6(\text{PO}_4)(\text{SO}_4)$	« «	
				/595115	ксмлицит- $\text{SrAl}_3(\text{OH})_6(\text{AsO}_4)(\text{SO}_4)$	« «	
				/595116	вейлериг- $\text{BaAl}_3(\text{OH})_6(\text{AsO}_4)(\text{SO}_4)$	« «	
				/595117	гидальгойт- $\text{PbAl}_3(\text{OH})_6(\text{AsO}_4)(\text{SO}_4)$	« «	
				/595118	бёдаитиг- $\text{PbFe}_3(\text{OH})_6(\text{AsO}_4)(\text{SO}_4)$	« «	

#### Примечание

1. В минералогии Дана [30] стр.960 в группе бёдантита, к которой относятся все минералы этой таблицы, упоминается еще и орфент -  $\text{Pb}_3\text{Al}_3(\text{OH})_{18}(\text{PO}_4)_4(\text{SO}_4)_2$  с весьма близкими параметрами решетки, с решеткой гинсдалита. Замена же части сульфатных анионов на фосфатные приводит к несовпадению + и - в формуле орфента. Поэтому орфент в лучшем случае можно считать разновидностью гинсдалита.

#### 3.4. Подкласс 7100/6. Минералы, содержащие в качестве дополнительных неметаллов элементы VI-b подгруппы

В этом подклассе кристаллизуется небольшое количество минералов, но они настолько различны по составу, что располагаются в шести отрядах. И как следствие этого в каждом отряде находится только по 1 - 3 минералам. Все эти минералы собраны в таблице 31.

Таблица 31. Минералы подкласса 7100/6

<i>X:Me</i>	<i>Отряд</i>	<i>Подотряд</i>	<i>Семейство</i>	<i>Род</i>	<i>Вид</i>	<i>Название и состав</i>	<i>Симметрия</i>
1.43 10:7	/63	/635	/6351	/63511	/635111	валерит-(Fe,Cu) <sub>4</sub> (Mg,Al) <sub>3</sub> (OH) <sub>6</sub> S <sub>4</sub> хаапалаит-(Fe,Ni) <sub>4</sub> (Mg,Fe) <sub>3</sub> (OH) <sub>6</sub> S <sub>4</sub> разновидность	триг. <i>R3m</i> « «
2.00 6:3	/65	/659	/6591	/65911	/659111	вяльсовит-FeCaAl(OH) <sub>3</sub> S	ромб. <i>Cmmm</i>
			/6593	/65931	/659311	вимсит - CaB <sub>2</sub> (OH) <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	мон. <i>C2/c</i>
			/65932	/659321	/659321	уралборит - CaB <sub>2</sub> (OH) <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	мон. <i>P2<sub>1</sub>/c</i>
2.25 9:4 27:12	/66	/669	/6691	/66911	/669111	кецалькоатлит-Cu <sub>2</sub> Zn <sub>6</sub> (OH) <sub>18</sub> (TeO <sub>3</sub> ) <sub>1</sub>	гекс. <i>P6<sub>3</sub>22</i>
2.40 12:5	/67	/675	/6751	/67511	/675111	элиит-Pb <sub>2</sub> Cu(OH) <sub>8</sub> (SO <sub>4</sub> )	мон. <i>P2<sub>1</sub>/a</i>
2.50 5:2		/679	/6791	/67911	/679111	хёггит-V <sub>2</sub> (OH) <sub>3</sub> O <sub>2</sub>	мон. <i>C2/m</i>
			/6792	/67921	/679211	брошангит-Cu <sub>4</sub> (OH) <sub>6</sub> (SO <sub>4</sub> )	мон. <i>P2<sub>1</sub>/a</i>
10:4			/6793	/67931	/679311	кинит-Cu <sub>3</sub> Pb(OH) <sub>6</sub> (TeO <sub>3</sub> )	ромб. <i>Fddd</i>
3.00 3:1	/68	/689	/6891	/68911	/689111	даттонит-V <sup>4+</sup> (OH) <sub>2</sub> O	мон. <i>C2/c</i>
6:2			/6892	/68921	/689211	ванденбрандеит-Cu(UO <sub>2</sub> )(OH) <sub>4</sub>	трик. <i>P1</i>
4.00	/69	/699	/6991	/69911	/699111	кимробинсонит-Ta(OH) <sub>3</sub> (O,CO <sub>3</sub> )	куб. -

### 3.5. Подкласс 7100/7. Минералы, содержащие в качестве дополнительных неметаллов элементы VII-b подгруппы

В таблице 32 собраны все минералы, у которых в качестве дополнительных к гидроксильным группам имеются галогены: это фтор и главным образом хлор.

Таблица 32. Минералы подкласса 7100/7.

<i>X:Me</i>	<i>Отряд</i>	<i>Подотряд</i>	<i>Семейство</i>	<i>Род</i>	<i>Вид</i>	<i>Название и состав</i>	<i>Симметрия</i>	<i>Прим</i>
2.00	/75	/759	/7591	/75911	/759111	лаурионит-Pb(OH)Cl	ромб. <i>R3m</i>	
2:1				/75912	/759121	паралаурионит-Pb(OH)Cl	мон. <i>C2/m</i>	

4:2			/7592	/75921	/759211	перцилнт- PbCu(OH) <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	куб. Pm3m	
				/75922	/759221	куменгит- PbCu(OH) <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	тетр. I4/mmm	
				/75923	/759231	паратакамит- Cu <sub>2</sub> (OH) <sub>3</sub> Cl	триг. R3	
				/75924	/759241	кемпигт- Mn <sub>2</sub> <sup>2+</sup> (OH) <sub>3</sub> Cl	ромб. Pnam	
					/759242	хибнигит-γ- Fe <sub>2</sub> <sup>2+</sup> (OH) <sub>3</sub> Cl	« «	
					/759243	атакамит- Cu <sub>2</sub> (OH) <sub>3</sub> Cl	« «	
				/75925	/759251	боталлацит- Cu <sub>2</sub> (OH) <sub>3</sub> Cl	мон. P2 <sub>1</sub> /m	
				/75926	/759261	клинатакамит- Cu <sub>2</sub> (OH) <sub>3</sub> Cl	мон. P2 <sub>1</sub> /n	
6:3			/7593	/75931	/759311	диабоезит- CuPb <sub>2</sub> (OH) <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub>	тетр. P4mm	
8:4			/7594	/75941	/759411	кларингбуллит- Cu <sub>4</sub> (OH) <sub>7</sub> Cl	гекс. P6 <sub>3</sub> /mmc	1
14:7			/7596	/75961	/759611	недлнит-Pb <sub>6</sub> Cr(OH, O) <sub>8</sub> Cl <sub>6</sub>	триг. R3	
34:17			/7598	/75981	/759811	косенит-Na <sub>4</sub> Mg <sub>9</sub> Al <sub>4</sub> (OH) <sub>22</sub> Cl <sub>12</sub>	триг. R3m	
3.00	/78	/789	/7891	/78911	/789111	жарчихнт- Al(OH) <sub>2</sub> F	мон. P2 <sub>1</sub> /a	

#### Примечание

1. По другим данным содержит некоторое количество воды [22].

### 3.6. Подкласс 7100/9. Гидраты

В этом подклассе в первых четырех отрядах минералы не встречаются.

Во всех подотрядах этого подкласса в одном таксоне минералы перечисляются в последовательности увеличения числа молекул воды.

В таблице 33 собраны минералы этого подкласса. В отряде /95, где отношение X:Me лежит в пределах 1.76-2.00 существует только предельный подотряд /959, характеризующийся отношением X:Me = 2.00.

Таблица 33. Минералы подкласса /9.

X:Me	Под-отряд	Семейство	Род	Вид	Название и состав	Симметрия	Прим
2.00	/959	/9592	/95922	/959221	кальюметит- Cu(OH, Cl) <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	ромб. -	
2:1			/95923	/959231	антоннит- Cu(OH, Cl) <sub>2</sub> ·3H <sub>2</sub> O	мон. -	

		/9593	/95933	/959331	коршуновскит- $Mg_2(OH)_3Cl \cdot 4H_2O$	трнк. 1
8:4		/9594	/95941	/959411	кларингбуллит- $Cu_4(OH)_7Cl \cdot H_2O$	гекс. $P6_3$
10:5		/9595	/95951	/959511	симонколлестит- $Zn_3(OH)_8Cl_2 \cdot H_2O$	трнг. $R3m$
			/95953	/959531	циансиуллит-Мп $Mg_2(OH)_{10} \cdot 2-4H_2O$	мон. $C2/m$
2.11	/963	/9632	/96321	/963211	коннелит- $Cu_{19}$	гекс.
40:19					$(OH)_{22}(SO_4)Cl_4 \cdot 3H_2O$	$P62c$
2.21	/966	/9662	/96621	/966211	буттгенбакит- $Cu_{19}$	гекс.
42:19					$(OH)_{32}(NO_3)_2Cl_4 \cdot 2H_2O$	$P6_3/mmc$
2.25	/969	/9692	/96922	/969221	колаганит- $Cu_2$	- -
9:4					$Mg_2(OH)_6(CO_3) \cdot 2H_2O$	
18:8		/9694	/96942	/969421	мейкснерит- $Mg_6Al_2(OH)_{18} \cdot 4H_2O$	трнг. $R3m$
				/969422	новант- $Mg_6Fe_2^{3+}$ $(OH)_{16}Cl_2 \cdot 4H_2O$	« «
27:12		/9696	/96962	/969621	коалнигнт- $Mg_{10}Fe_2^{3+}$ $(OH)_{24}(CO_3) \cdot 2H_2O$	« «
2.27	/971	/9714	/97141	/971411	мурнт-( $Mg, Zn, Mn$ ) <sub>15</sub>	мон. $P2_1/c$
34:15					$(OH)_{26}(SO_4)_2 \cdot 8H_2O$	
2.29	/972	/9723	/97231	/972311	бруньятеллит- $Mg_6$	гекс.
16:7					$Fe^{3+}(OH)_{13}(CO_3) \cdot 4H_2O$	$P6_3/mmc$
2.31	/973	/9734	/97342	/973421	торрейит-( $Mg, Mn$ ) <sub>9</sub>	мои. $P2_1/c$
30:13				/973422	$Zn_4(OH)_{22}(SO_4)_2 \cdot 8H_2O$	« «
					лавсонбауерит- $Mn_9$	
2.33	/974	/9742	/97422	/974221	$Zn_4(OH)_{22}(SO_4)_2 \cdot 8H_2O$	мон. $P2/c$
7:3				/97423	гидрокалюмит- $Ca_2$ $Al(OH)_6(Cl, OH) \cdot 3H_2O$	мон. $P2/c$
				/974231	заратит- $Ni_3(OH)_4(CO_3) \cdot 4H_2O$	куб. -
				/97426	кларант-( $Cu, Zn$ ) <sub>1</sub>	трнк. $P1$
					$(OH)_4(CO_3) \cdot 4H_2O$	
14:6		/9743	/97432	/974321	хлормагальюмнит- $(Mg, Fe^{2+})_4Al_2(OH)_{12}$	гекс. $P6_3/$ $m3c$
					$(Cl_2, CO_3) \cdot 2H_2O$	
			/97433	/974331	гуариниит- $(Zn, Co, Ni)_6(OH, Cl)_{10}$	гекс. $P6_3/m$
					$(SO_4) \cdot 5H_2O$	
			/97434	/974341	тереземанганит- $(Co, Zn, Ni)_6(OH, Cl)_{10}$	гекс. $P6_3$
					$(SO_4) \cdot 8H_2O$	
			/97436	/974361	дефернит- $Ca_6(OH)_7$	ромб. $Pna2_1$
					$(CO_3)_2Cl \cdot nH_2O$	
2.36	/975	/9752	/97521	/975211	цнукалит- $Zn_{12}Ca(UO_2)(OH)_{22}$	трнк. $P1$
33:14					$(CO_3)_3 \cdot 4H_2O$	

2.37 19:8	/976	/9762	/97621	/976211	манассеит- $Mg_6Al_2(OH)_{16}(CO_3) \cdot 4H_2O$	гекс. <i>P6_3/mmc</i>	
				/976212	барбертонит- $Mg_6Cr_2(OH)_{16}(CO_3) \cdot 4H_2O$	« «	
				/976213	сджогренит- $Mg_6Fe_2(OH)_{16}(CO_3) \cdot 4H_2O$	« «	
		/97641	/976411	/976411	гидроталькит- $Mg_6Al_2(OH)_{16}(CO_3) \cdot 4H_2O$	триг. <i>R3m</i>	
				/976412	стихтит- $Mg_6Cr_2(OH)_{16}(CO_3) \cdot 4H_2O$	« «	
				/976413	лесотельсит- $Mg_6Mn_2(OH)_{16}(CO_3) \cdot 4H_2O$	« «	
				/976414	пироаурит- $Mg_6Fe_2(OH)_{16}(CO_3) \cdot 4H_2O$	« «	
				/976415	таковит- $Ni_6Al_2(OH)_{16}(CO_3) \cdot 4H_2O$	« «	
				/976416	рнвесит- $Ni_6Fe_2(OH)_{16}(CO_3) \cdot 4H_2O$	« «	
				/976417	комблайнит- $Ni_6Co_2(OH)_{16}(CO_3) \cdot 4H_2O$	« «	
2.43 17:7	/977	/9772	/97721	/977211	спанголит- $Cu_6Al(OH)_{12}(SO_4)Cl \cdot 3H_2O$	триг. <i>P3c1</i>	
2.50 10:4	/979	/9792	/97922	/979221	вровольфеит- $Cu_4(OH)_6(SO_4) \cdot 2H_2O$	мон. <i>C2/m</i>	
		/9794	/97942	/979421	цнанциуллит- $Mn(Mg, Mn)Zn_2(OH)_{10} \cdot 2 \cdot 4H_2O$	мон. <i>C2/m</i>	
15:6	/9796	/97961	/979611	/979611	квинтинит- $2H \cdot Mg_4Al_2(OH)_{12}(CO_3) \cdot 3H_2O$	гекс. <i>P6_322</i>	2
				/979612	чармарит- $2H \cdot Mn_4Al_2(OH)_{12}(CO_3) \cdot 3H_2O$	« «	2
			/97963	/979631	каресит- $Fe_4Al_2(OH)_{12}(CO_3) \cdot 3H_2O$	триг. <i>P3_12</i>	
2.53 38:15	/981	/9813	/98132	/981321	рамсбекит- $(Cu, Zn)_{15}(OH)_{22}(SO_4)_4 \cdot 6H_2O$	мон. <i>P2_1/c</i>	
2.57 18:7	/982	/9823	/98232	/982321	шуленбергит- $(Cu, Zn)_7(OH)_{10}(SO_4, CO_3)_2 \cdot 3H_2O$	триг. <i>P3</i>	
36:14		/9836	/98363	/983631	маунткейтит- $(Mg, Ni)_{11}(Fe^{3+}, Cr)_3(OH)_{24}(SO_4, CO_3)_3 \cdot 5 \cdot 11H_2O$	гекс. -	
2.60 26:10	/984	/9841	/98411	/984111	снгант - $NaAl_3Mn^{2+}_6(OH)_{18}(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$	триг. <i>R3</i>	
2.67 8:3	/985	/9852	/98522	/985221	цнанотрихит- $Cu_4Al_2(OH)_{12}(SO_4) \cdot 2H_2O$	ромб. -	
16:6		/9854	/98544	/985441	вудвардит- $Cu_4Al_2(OH)_{12}(SO_4) \cdot 4H_2O$	гекс. -	
2.75 11:4	/987	/9873	/98732	/987321	компреньясит - $K_2(UO_2)_6(OH)_6O_4 \cdot 8H_2O$	ромб. -	

22:8	/9875	/98754	/987541	батеновит- $\text{Ca}_6(\text{OH})_{12}\text{S}_7\cdot 20\text{H}_2\text{O}$	мон. <i>P2/a</i>	
44:16	/9877	/98776	/987761	глаукокернит- (Zn, Cu) <sub>10</sub> Al <sub>6</sub> (OH) <sub>32</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ·18H <sub>2</sub> O	триг. -	
2.83 17:16	/988	/9882	/98822	Русаковит-(Fe <sup>3+</sup> , Al) <sub>5</sub> (OH) <sub>9</sub> [(P, V)O <sub>4</sub> ] <sub>2</sub> ·3H <sub>2</sub> O	- -	
	/9884	/98842	/988421	цинкалюмнит-Zn <sub>6</sub> Al <sub>6</sub> (OH) <sub>26</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·5H <sub>2</sub> O	гекс. -	
3.00 3:1	/989	/9892	/98923	берналит- Fe(OH) <sub>3</sub> ·nH <sub>2</sub> O	ромб. <i>Immm</i>	
3.20 16:5	/991	/9913	/99131	халькоалюмит-CuAl <sub>4</sub> (OH) <sub>12</sub> (SO <sub>4</sub> )·3H <sub>2</sub> O	мон. <i>C2/c</i>	
3.25 13:4	/992	9925	/99252	журавскит- Ca <sub>3</sub> Mn <sup>4+</sup> (OH) <sub>6</sub> (CO <sub>3</sub> )(SO <sub>4</sub> )·12H <sub>2</sub> O	гекс. <i>P6<sub>3</sub>/m</i>	
3.27 36:11	/993	/9933	/99331	асселборнит-(Pb, Ba) (UO <sub>2</sub> ) <sub>6</sub> Bi <sub>4</sub> (OH) <sub>12</sub> O <sub>4</sub> (AsO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·3H <sub>2</sub> O	куб. <i>Im3m</i>	
3.33 10:3	/994	/9943	/99432	лнскридт-(Al, Fe <sup>3+</sup> ) <sub>3</sub> (OH) <sub>6</sub> (AsO <sub>4</sub> )·5H <sub>2</sub> O	ромб. -	
3.50 7:2	/995	/9952	/99521	басалуминит- Al <sub>4</sub> (OH) <sub>10</sub> (SO <sub>4</sub> )·4H <sub>2</sub> O	мон. -	
14:4 28:8	/9953	/99531	/995311	фельшебаннит- Al <sub>4</sub> (OH) <sub>10</sub> (SO <sub>4</sub> )·5H <sub>2</sub> O	гекс. -	
3.60 18:5 36:10	/996	/9962	/99621	внартит-Ca <sub>3</sub> U <sup>4+</sup> (UO <sub>2</sub> ) <sub>6</sub> (OH) <sub>18</sub> (CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·3·5H <sub>2</sub> O	ромб. <i>P2<sub>1</sub>2<sub>1</sub>2<sub>1</sub></i>	
3.73 41:11	/997	/9974	/99741	хотсонит-Al <sub>11</sub> (OH) <sub>21</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>7</sub> ·13H <sub>2</sub> O	триг. <i>P1</i>	4
3.75 15:4	/9977	/99771	/997711	свеит-KAl <sub>7</sub> (OH) <sub>16</sub> (NO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub> ·8H <sub>2</sub> O	мон. -	4
3.83 23:6 46:12	/998	/9985	/99851	захерит-Al <sub>12</sub> (OH) <sub>26</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ·20H <sub>2</sub> O	триг. <i>P1</i>	
4.00 12:3	/999	/9992	/99921	боттиноит- NiSb <sub>2</sub> <sup>5+</sup> (OH) <sub>12</sub> ·6H <sub>2</sub> O	триг. <i>P31m</i>	

**Примечания:**

1. В подлиннике коэффициенты дробные [22];
2. Известен еще изомер 3Т с симметрией триг. *P3<sub>1</sub>/I2*
3. Шестым катионом в формуле русаковита считается ванадий, изоморфно замещающий фосфор.
4. Отряд гидратов имеет много подотрядов, содержащих по одному - двум минералам. Если при этом у таких минералов близки отношения X:Me, то целесообразно их объединять в один подотряд. С таким примером мы имеем дело в случае хотсонита и свеита. Оба они имеют сложные составы, кристаллизуются в разных сингониях и их структуры недостаточно точно определены, поэтому решено отнести их к одному отряду /997.

## 4. ОКСИДЫ И ГИДРОКСИДЫ ИЗ КЛАССА НЕМЕТАЛЛОВ 2100/

**4.1. Классы 1100/ и 2100/, содержащие в своём составе только металлы или соответственно только неметаллы.**

Как говорилось выше, идея Берцелиуса о делении всех химических элементов на электроположительные и электроотрицательные не была воспринята никем из продолжателей разработки его идей о классификации минералов. А ведь именно эта идея привела к тому, что при классификации химических соединений и в частности минералов, для большинства из них пришлось разделять их состав на две части: на катионы и анионы. Постепенно выяснилось, что когда минералы представляют собою простые вещества, то они состоят именно из этих частей: медь, золото, железо (т.е. металлы) - только из атомов, играющих положительную роль в соединениях, а другие: сера, селен, мышьяк (т.е. неметаллы) - только из атомов, играющих в соединениях отрицательную роль. При этом роль металлов была видна гораздо четче. По этой причине ни в одном учебнике минералогии нет подразделения, содержащего минералы, состав которых содержит только неметаллы. Однако когда минералы содержат только металлы, то они объединяются в какой-то раздел, не обязательно в класс, а обычно в более низкий таксон. Например, у Штрунца [34] класс, в который входят металлы и интерметаллические соединения содержит еще карбиды, нитриды и фосфиды. В книге Бетехтина [2] они отделены от карбидов, нитридов и фосфидов, но объединены с самородными элементами неметаллического характера: As, S, C и др.

В настоящее время, нет никаких оснований выделять в какой-либо таксон природные металлы и интерметаллические соединения и полностью игнорировать чистые неметаллы и соединения их друг с другом. Мы предлагаем считать и те и другие самостоятельными классами классификации минералов. Обозначим их индексами 1100/ и 2100/ соответственно. Поскольку все остальные классы по составу обязательно имеют и катионы, и анионы, то их можно назвать основными, а упомянутые выше два - дополнительными.

**4.2. Электроотрицательность. Степень ионности химической связи**

В основных классах и в классе 2100/ характер химической связи меняется в достаточно широких пределах от ионной до ковалентной. В этих соединениях каждый атом или отдает, или получает валентные электроны, или же их обобществляет. В результате у каждого атома оказывается устойчивая вось-

миэлектронная оболочка, в которой все s- и p-орбитали или полностью заняты или полностью свободны.

Степень ионности химической связи определяется разностью электроотрицательности атомов, образующих соответствующее соединение. Под термином электроотрицательность подразумевается способность атомов присоединять электроны. Электроотрицательность у щелочных и щелочноземельных элементов (от 0,7 до 1,5), а максимальная - у легких неметаллов последних подгрупп (от 2,5 до 4,0) (см. табл.34), составленную нами по материалам [1 и 14].

Таблица 34. Электроотрицательность элементов

Ia	IIa	IIIa	IVa	Va	VIa	VIIa	VIIIa			Ib	IIb	IIIb	IVb	Vb	VIb	VIIb
H																OH
2.1																4.3
Li	Be											B	C	N	O	F
1.0	1.5											2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl
0.9	1.2											1.5	1.8	2.1	2.5	3.0
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br
0.8	1.0	1.3	1.5	1.6	1.6	1.5	1.8	1.8	1.8	1.9	1.6	1.6	1.8	2.0	2.4	2.8
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I
0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	1.9	2.2	2.2	2.2	1.9	1.7	1.7	1.8	1.9	2.1	2.5
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At
0.7	0.9	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9	2.2	2.2	2.2	2.4	1.9	1.8	1.8	1.9	2.0	2.2
Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U											
0.7	0.9	1.1	1.3	1.5	1.9											

Таблица 34 составлена нами из книг Э.Партэ [14] и С.С.Бацанова [1]. Необходимо сделать к ней два замечания. Первое касается положения водорода. Он помещен Партэ в I-а подгруппу (величина электроотрицательности H = 2.1). Эта, как нам представляется, неточность фигурирует во многих вариантах ПСХЭ. Не будем сейчас дискутировать вопрос, где помещать водород в I-а или VII-b. Он выходит за рамки проблем, на анализ которых направлена наша книга. Как было сказано выше, отрицательный ион водорода H<sup>-</sup> не встречается в составе минералов.

Второе замечание сводится к тому, что на первое место в VII-b подгруппе помещен не химический элемент, а радикал OH<sup>-</sup>. Причина этого для теории классификации минералов излагалась нами в предыдущих главах. Численное значение для электроотрицательности OH<sup>-</sup>, равное 4.3, взято нами из книги С.С. Бацанова [1] стр. 64. Таблицы величин электроотрицательностей (в дальнейшем ЭО) химических элементов у Партэ и Бацанова иногда немного

отличаются. У Бацанова в отличие от Партэ, величины электроотрицательностей для многих элементов приведены для их разной валентности. Например,  $\text{Sn}^{2+}=1.7$ , а  $\text{Sn}^{4+}=1.9$ ,  $\text{Sb}^{3+}=1.8$ , а  $\text{Sb}^{5+}=2.1$ . Для марганца  $\text{Mn}^{2+}=1.4$ ,  $\text{Mn}^{3+}=1.5$ ,  $\text{Mn}^{4+}=2.1$ ,  $\text{Mn}^{7+}=2.5$ . Для  $\text{Fe}^{2+}=1.7$ , для  $\text{Fe}^{3+}=1.8$  и т. д.

Значений ЭО для комплексных анионов у Партэ вообще нет. Поскольку таким важнейшим и широко распространенным у минералов комплексным ионом является гидроксил, постольку мы его величину заимствовали у Бацанова (ЭО  $\text{OH}^- = 4.3$ ) и поместили его в таблице 34, как и делали это и раньше, над фтором. Это, оказалось, удобно сделать, т.к. Партэ оставил это место пустым. Кроме того, на таблице, данной Партэ, мы изобразили введенную нами Z-границу, отделяющую металлы от неметаллов. Кстати говоря, еще одним подтверждением ее существования может послужить расположение в ней ЭО элементов. В подгруппах неметаллов величины ЭО уменьшаются сверху вниз, а в подгруппах, приближающихся к этой границе со стороны металлов, величины ЭО увеличиваются сверху вниз.

Для сравнения характера химической связи у различных соединений удобно использовать понятие их степени ионности.

Так, например, у  $\text{NaCl}$  степень ионности будет  $3.0-0.9=2.1$ , у  $\text{MgO}$  -  $3.5-1.2=2.3$ , а у тяжелых неметаллов, имеющих существенные ковалентные соединения, аналогичная разность уже близка к нулю (например, у  $\text{SnTe}$  она будет равна  $2.1-1.8=0.3$ ). Многие обычные металлы ( $\text{Fe}, \text{Co}, \text{Ni}, \text{Cu}, \text{Mo}$ ) имеют электроотрицательность близкую к двум. Те же величины характерны и для тяжелых неметаллов ( $\text{Sn}, \text{As}, \text{Sb}, \text{Bi}, \text{Te}$ ). Поэтому их оксиды имеют одинаковую разность электроотрицательностей - порядка 1.5. Эти группы минералов близки по физическим свойствам друг к другу. Это, конечно, и послужило поводом к тому, что в минералогии они рассматриваются совместно.

По этой причине мы сохраняем для минералов, в составе которых имеются тяжелые неметаллы и кислород, места в соответствующих таблицах, где фигурируют обычные оксиды металлов и даем для них соответствующий десятичный символ. Исключение делается только для модификаций  $\text{SiO}_2$  из-за их специфических физических свойств и атомных структур, которые не дают основания для рассмотрения их как оксидов металлов (хотя это и делают в некоторых учебниках минералогии). Для всех модификаций  $\text{SiO}_2$  (к.ч.  $\text{Si}$  равно 4, кроме стишовита) дается десятичная символика, которая следует из-за нахождения их в классе 2100/. Поскольку соответствующая классификация для этого класса еще не разработана, постольку эта символика может в будущем несколько измениться.

В структуре стишовита атомы кремния имеют к.ч. 6. Стишовит изоструктурен рутилу -  $\text{TiO}_2$ .

Поскольку в настоящей работе мы не ставили своей целью разработку классификации всех минералов в классе 2100/, а ограничились только оксидами и гидроксидами, постольку и их символику следует воспринимать только как предварительную.

Во всех учебниках минералогии, как это и рекомендовалось Берцелиусом, основные классы делятся по типу анионов, в частности, всегда выделяется класс оксидов, которому и посвящена настоящая работа. Однако поскольку мы выделили класс 2100/, постольку в нем окажутся и некоторые минералы, содержащие кислород, другие неметаллы и гидроксил. Они требуют более низкие, чем класс, таксоны. Эта группа минералов может тоже считаться оксидами (если класс будет рассматриваться так, как он существует в других классификациях). Следовательно, в настоящей работе мы не будем классифицировать все минералы, принадлежащих к классу 2100/, а ограничимся только рассмотрением одной части этого класса, содержащей в своем составе кислород с другими неметаллами, в частности с гидроксидом.

Минералы, состав которых состоит из одних неметаллов, но один из них обязательно является кислородом, а второй каким-либо другим неметаллом, по атомной структуре (по координационному числу и форме координационного многогранника) иногда аналогичны обычным оксидам. Дополнительный неметаллический атом в аналогичных соединениях играет роль металла. См., например, изоструктурные минералы касситерит -  $\text{SnO}_2$  (тетрагональный с  $a = 4.72$  и  $c = 3.17$ ), стишовит ( $a = 4.18$ ,  $c = 2,66$ ) и рутил -  $\text{TiO}_2$  ( $a = 4.58$  и  $c = 2.95$ ). Близки структуры у второй тетрагональной модификации  $\text{TiO}_2$  - анатаза со структурой селенолита -  $\text{SeO}_2$ . Если же аналогичных с металлами минералов нет, то подобные группы (например,  $\text{As}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Sb}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ) выделяются авторами отдельно, но обязательно в классе оксидов.

#### 4.3. Класс 2100/. Подкласс 2100/7

Поскольку систематика минералов класса 2100/ полностью еще не разработана, постольку та часть ее, которая включена нами в раздел 4 (т.е. только оксиды и гидроксиды) может не совсем соответствовать аналогичному разделу при построении полной систематики этого класса. По этой же причине мы постараемся кратко изложить те принципы, которые мы предполагаем положить в основу классификации класса 2100/.

Вся классификация минералов, которая разработана нами до конца, основана на неметаллических элементах. Они расположены в определенном месте ПСХЭ. В классе 2100/ любые неметаллы образуют друг с другом соединения, встречающиеся в природе в кристаллической форме (т.е. в виде ми-

нералов). Их классификация подлежит особой систематике, часто отличной от систематики, принятой для основных классов.

Поскольку в основу классификации таких минералов положена электроотрицательность, постольку, видимо, целесообразно начать с наиболее электроотрицательных анионов. Затем рассматривать всю подгруппу ПСХЭ сверху вниз, а затем переходить к следующей подгруппе, т.е. начать придется с VII-b подгруппы, а потом двигаться налево к VI-b, V-b и т.д. Наиболее электроотрицательным анионом будет гидроксильный ион ЭО  $\text{OH}^-$  равна 4.3 [1]. Эта величина превосходит величины всех одноатомных ионов, в частности и водорода (2.1) [14]. Место этому иону в ПСХЭ, как неоднократно говорилось выше, вместо водорода в VII-b подгруппе. В первом подклассе класса 2100/7 будут минералы, в составе которых обязательно присутствуют неметаллы VII-b подгруппы и гидроксил, а первым отрядом в этом подклассе /71 будут минералы, содержащие в качестве предпочитаемого аниона (т.е. независимо от числа этих анионов в составе минерала) гидроксил. Во втором отряде /72 будет предпочитаться фтор и т.д., т.е. рассматривать всю подгруппу VII-b сверху вниз, т.е. F, Cl и т.д., а затем переходить к следующей подгруппе VI-b.

Группа минералов подкласса 2100/7, содержащая  $\text{OH}^-$  и другие неметаллы подгруппы VII-b ПСХЭ, очень невелика. См. табл. 35.

Таблица 35. Минералы подкласса 2100/7

Отряд	Подотряд	Семейство	Род	Вид	Название и состав	Симметрия	Прим
/71	/713	/7131	/71311	/713111	сассолит - $\text{B}(\text{OH})_3$	трнк. $P1$	1
		/7132	/71321	/713211	метаборит - $\text{BO}(\text{OH})$	куб.	1
	/714	/7141	/71411	/714111	гидромаркит - $\text{Sn}_3\text{O}_2(\text{OH})_2$	тетр. $P4mnc$	
		/7142	/71421	/714211	абхурнт- $\text{Sn}_3\text{O}(\text{OH})_2\text{Cl}_2$	трнк. $R3n$	
		/715	/7151	/71511	/715111	стнбиконит - $\text{Sb}_2^{3+}\text{Sb}^{3+}\text{O}_6(\text{OH})$	куб. $Fd3m$
/72	/725	/7152	/71521	/715211	добрент- $\text{BiO}(\text{OH},\text{Cl})$	тетр. $P4/nmm$	
		/7251	/72511	/725111	гананит - $\text{BiF}_3$	куб. $P43m$	2
		/7252	/72521	/725211	заваришкит - $\text{BiOF}$	тетр. $P4/nmm$	
/73	/735	/7351	/73511	/735111	оноратоит- $\text{Sb}_8\text{O}_{11}\text{Cl}_2$	трнк. $P1$	
		/7352	/73521	/735211	бисмоклит - $\text{BiOCl}$	тетр. $P4/nmm$	

**Примечания:**

1. Как было сказано раньше, все соединения бора будут рассматриваться в классе боратов 3100/.
2. Этот минерал, входящий в подкласс /7. заведомо не является ни оксидом, ни гидроксидом.

Минералов-гидратов в подклассе 2100/9 вообще известно только три: силгидрит -  $3\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , кокуандит -  $\text{Sb}_6^{3+}\text{O}_8(\text{SO}_4) \cdot \text{H}_2\text{O}$  и ментанит -  $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{O}_6 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

Соответственно им можно приписать следующие десятичные символы: 2100/961421, 2100/961621 и 2100/961642.

Кроме того, существуют минералы, содержащие комплексные анионы из легких неметаллов. Они могут быть без дополнительных одноатомных анионов, а могут быть с другими анионами, в том числе и с гидроксидом, например кантонит  $\text{Bi}_2(\text{SO}_4)(\text{OH})_2$ . Ниже приведены минералы, содержащие в своем составе различные комплексные анионы такого типа: рузвельтит  $\text{Bi}(\text{AsO}_4)$ , бисмутит -  $\text{Bi}_2(\text{CO}_3)\text{O}_2$ , эвлитин -  $\text{Bi}_4(\text{SiO}_4)$ , ателестит -  $\text{Bi}_8(\text{AsO}_4)_3\text{O}_5$ , клебельсбергит -  $\text{Sb}_4(\text{SO}_4)(\text{OH})_2\text{O}_4$  и др.

Подобные минералы никогда не рассматриваются как оксиды или гидроксиды. Чаще они фигурируют как минералы, принадлежащие к группе, к которой принадлежит соответствующий комплексный анион, т.е. группе карбонатов, силикатов, арсенатов и т.п. По этой причине мы их сейчас рассматривать не будем. Итак, начинать классифицировать минералы класса 2100/ надо с подкласса /7.

Всем этим соединениям в табл. 35 приданы индексы, которые им следует приписать в соответствии с нахождением их в классе 2100/, а в примечаниях приписан символ, который соответствует классу оксидов 6100/.

Итак, первая цифра десятичного символа после класса (т.е. цифра подкласса) отвечает номеру подгруппы ПСХЭ, вторая цифра, характеризующая отряд, соответствует положению элемента в данной подгруппе сверху вниз (т.е. 1 - OH, 2 - F, 3 - Cl в табл. 35). Как говорилось выше, тяжелые неметаллы в соответствующих соединениях играют роль металлов, поэтому эти вещества обычно и считаются оксидами или гидроксидами. В химическом составе эти неметаллы, как правило, пишутся в формулах на первом месте. Им соответствует в десятичном символе третья цифра. В таблице 35 это третья, четвертая или пятая группа ПСХЭ. Семейство определяется, как правило, общим типом формулы, а род - структурным типом или симметрией. Минералы, содержащие гидроксил, во всех учебниках минералогии рассматриваются в одном классе с оксидами (т.е. раздел, именуемый нами отрядом 2100/71, вообще в их классификациях не фигурирует). Это сказано нами для того, чтобы легче было сопоставлять предлагаемую новую классификацию с ранее осуществленными и продолжающими существовать в настоящее время классификациями.

#### 4.4. Отряд 2100/61

Подкласс 2100/6 содержит минералы, в составе которых в качестве единственных, преобладающих или предпочитаемых элементов фигурируют элементы из VI-b подгруппы ПСХЭ. В отряде /61 таким элементом будет кислород, в отряде /62 - сера и т.д.

Поскольку наша книга посвящена оксидам, постольку в настоящей главе следует удовлетвориться только минералами, попадающими в первый отряд, в отличие от подкласса /7, в котором были упомянуты все отряды и, в частности, в них попали минералы, содержащие кислород в форме не предпочитаемой для классификации, а также минералы вообще не содержащие ни кислорода, ни гидроксила (гананит -  $\text{BiF}_3$ ).

В таблице 36 собраны минералы, в составе которых предпочитается кислород, атомы которого в кристаллических структурах этих минералов не образуют комплексных анионов.

Таблица 36. Минералы отряда 2100/61

Под-отряд	Семейство	Род	Вид	Название и состав	Симметрия	Прим
/614	/6141	/61411	/614111	ронаркит - $\text{SnO}$	тетр. $P4nm$	
		/6142	/61421	/614211	$\beta$ -кristобалит - $\text{SiO}_2$	куб. $Fd3m$
			/614212	меланофлогит - $\text{SiO}_2$	куб. $P4_332$	1
		/61422	/614221	$\beta$ -тридимит - $\text{SiO}_2$	гекс. $P6_3/mmc$	
			/614222	$\beta$ -кварц - $\text{SiO}_2$	гекс. $P6_222$	
		/61423	/614231	$\alpha$ -кristобалит - $\text{SiO}_2$	тетр. $P4_22_2$	
			/614232	китит - $\text{SiO}_2$	« «	
		/61424	/614241	$\alpha$ -кварц - $\text{SiO}_2$	триг. $P3_22_2$	
		/61425	/614251	$\alpha$ -тридимит - $\text{SiO}_2$	ромб. $C222_1$	
		/61426	/614261	коэзит - $\text{SiO}_2$	мон. $C2/c$	
		/61427	/614271	лутесит - $\text{SiO}_3$	трик. $P1$	2
		/61428	/614281	стишовит - $\text{SiO}_2$	тетр. $P4_2/mnm$	
			/614282	аржютит - $\text{GeO}_2$	« «	
			/614283	касситерит - $\text{SnO}_2$	« «	
/615	/6143	/61431	/614311	сервантит - $\text{Sb}^{3+}\text{Sb}^{5+}\text{O}_4$	ромб. $Pna2_1$	
	/6153	/61531	/615311	арсеиолит - $\text{As}_2\text{O}_3$	куб. $Fd3m$	
		/61536	/615366	клаудетит - $\text{As}_2\text{O}_3$	мон. $P2_1/n$	
	/6154	/61541	/615411	сенармонтит - $\text{Sb}_2\text{O}_3$	куб. $Fd3m$	
		/61544	/615441	валентинит - $\text{Sb}_2\text{O}_3$	ромб. $Pccn$	
		/61547	/615471	кермезит - $\text{Sb}_2\text{S}_2\text{O}$	трик. $P1$	
	/6155	/61551	/615511	силленит - $\gamma$ - $\text{Bi}_2\text{O}_3$	куб. $I23$	
/61553		/615531	сферобисмоит - $\text{Bi}_2\text{O}_3$	тетр. $P4_22_2$		

	/61556	/615561	бисмит - $\alpha$ - $\text{Bi}_2\text{O}_3$	мон. $P2_1/c$		
	/6156	/61551	/615611	бисмутостибиконит - $\text{Bi}(\text{Sb}^{3+}\text{Fe}^{3+})_2\text{O}_7$	куб. $Fd\bar{3}m$	3
	/6157	/61571	615711	чеховичит - $\text{Bi}_2\text{Te}_4\text{O}_{11}$		
/616	/6163	/61633	/616333	селенилит - $\text{SeO}_2$	тетр. $P4_2/mbc$	4
	/6164	/61643	/616431	парателлурит - $\text{TeO}_2$	тетр. $P4_32_12$	
		/61644	/616432	теллурит - $\text{TeO}_2$	ромб. $Pbca$	
/617	/6171	/61711	/617111	лед - $\text{H}_2\text{O}$	гекс. $P6_3/mmc$	

**Примечания:**

1. Клатратные соединения, по-видимому, рационально рассматривать по структуре хозяина
2. Сионим магалит [30] стр. 1593.
3. В формуле не совпадает число + и - [22] стр. 28.
4. Сионим доунейтит [30] стр. 244.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящая работа, является продолжением нашей книги «Систематика природных силикатов», изданной в ВИНТИ в 1997 г. Силикаты и оксиды являются наиболее распространенными в природе минералами. Достаточно сказать, что число их превышает 1/3 всех известных в настоящее время минеральных видов. Как раньше было сказано, основные классы минералов делятся на две группы: в одной из них класс определяется одним неметаллом (например, кислородом). В символе этих классов на 3-м и 4-ом месте их символа будут нули, а во второй группе классы определяются двумя неметаллами (например, Si и O в классе силикатов). Поэтому разработанная систематика для этих двух классов существенно облегчит разработку систематики в остальных основных классах. Только систематика двух дополнительных классов 1100/ и 2100/ потребует специального подхода.

Для составления настоящего издания нами использована литература по 1999 г. Конечно, не исключены отдельные пропуски и просто ошибки. Я надеюсь, что они не повлияют на общую направленность работы. Мы не предполагаем издавать справочник. Нашей задачей является разработка систематики минеральных видов, которая в отличие от систематики в зоологии или ботанике находится до сих пор в совершенно зачаточном состоянии (см. таблицу 1).

В основу предлагаемой классификации, в качестве существенных признаков положены химический состав и атомная структура. В своё время я высказал идею, что при выборе существенных признаков любой классификации надо использовать существующие законы природы. Таким законом для химического состава является периодическая система химических элементов (ПСХЭ), а для атомной структуры их симметрия, координационные числа отдельных атомов и т. п. Первые работы, которые легли в основу научной классификации минералов, принадлежат Я. Берцелиусу (1814-1824 гг.). Он предложил использовать для этой цели не только их химический состав, но и основать его на электроотрицательных элементах. С тех пор, хотя и были сделаны отдельные рациональные частные предложения, общий характер теории классификации минералов за последние 175 лет не получил удовлетворительного развития. Своей целью мы как раз и ставим ликвидацию этого отставания.

При составлении таблиц, мы столкнулись, прежде всего, с полным отсутствием рекомендаций о последовательности перечислений объектов. Даже написание химических формул не предусматривает никакого

определенного порядка. Единственным правилом является то, что металлы пишутся в начале формулы, а неметалл в конце. Однако порядок в перечислении самих металлов в химических формулах различен. Одни авторы первыми пишут щелочные и щелочноземельные металлы, а затем дальнейший порядок никак не связывают с ПСХЭ. Другие авторы перечисление металлов начинают с элемента, присутствующего в формуле в наибольшем количестве. В части формулы, состоящей из неметаллов, порядка еще меньше, например, аммоний всегда пишется  $\text{NH}_4^+$ , а оксоний почему-то  $\text{H}_3\text{O}^+$ . Если в анионной части формулы несколько неметаллов (одиночных или в виде комплексных ионов  $\text{CO}_3$ ,  $\text{SO}_4$ ), то их порядок, в частности, последовательность в написании, никак не регламентируется. А с этим в частности связан порядок перечисления минеральных видов в родах и придания им последних индексов их символа.

В подклассе гидратов в некоторых таксонах нередко находится несколько минералов, различающихся друг от друга в основном (или только) количеством кристаллизационной воды. Мы их всегда перечисляем в порядке увеличения в их составе числа молекул воды.

Та же неупорядоченность характерна и для симметрии. Мы старались в случае необходимости перечислять объекты, начиная с кубической сингонии, далее переходя к гексагональной... и последней писать триклинную. Однако и здесь в литературе существует определенная путаница. В некоторых источниках не выделяется тригональная сингония. Она рассматривается в совокупности с гексагональной. Мы старались придерживаться следующего порядка: кубическая, гексагональная, тетрагональная, тригональная, ромбическая, моноклиная и триклинная. Полный беспорядок существует при перечислении пространственных групп симметрии, в особенности в тех случаях, когда рентгеноструктурный анализ не позволяет однозначно её определить. В таких случаях мы обычно писали одну наиболее симметричную группу, не считая своей обязанностью устанавливать во всех перечисленных случаях определенный порядок. Это не входит в обязанность лиц, занимающихся классификацией минералов. Хотя когда-то в будущем порядок во всех этих вопросах устанавливать необходимо.

Аналогичный вопрос возникает при описании минералов с дробными коэффициентами в их формулах. Обычно мы в таблицах округляли соответствующие коэффициенты и в примечаниях указывали, что в подлинниках они дробные.

Возникали и недоразумения с таксонами ниже вида. Мы обычно ограничивались указанием «разновидность», если соответствующие минералы носили разные названия. Возникал вопрос и с перечислением

политипов. В книге о силикатах мы пытались каждой политипной модификации придать свой символ. Однако вряд ли это целесообразно. Достаточно просто в тексте упомянуть политипы, если они определены.

Очень много недоразумений существует при переводе названий минералов на русский язык, если первоначально они были написаны с использованием латинского алфавита. В той же мере остается неразрешимой и обратная задача. Тот же вопрос касается и переводов фамилий. Ведь название минералов часто происходит от фамилии лиц, в честь которых назван минерал. Приведу один пример. В своей статье «О транскрипции названий минералов» В.Б. Татарский (ЗВМО, ч. 152, в. 1, 1978, с. 116) со ссылкой на статью Е.К.Лазаренко и К.С.Квитко (1972) пишет, что минерал coesite вошел в русскую литературу в девяти вариантах. А ведь во всех справочниках, изданных на русском языке, будет фигурировать один из этих синонимов и в восьми из девяти запросов ответ будет один - такого минерала нет. В нашей стране на этот счет существует одно (кстати говоря, никем не утвержденное) правило - фонетическое соответствие (гомофония) русского произношения названия минерала с произношением его на языке, на котором оно было опубликовано. Оно фигурирует во всех сводках по новым минералам. К сожалению, с этим правилом нельзя согласиться, т.к. напечатанное латинскими буквами название минерала или фамилия может на разных языках (немецком, английском, французском, голландском и т. д.) звучать по-разному. В лингвистике передачей написания (или произношения) текстов какого-либо языка занимается ее раздел транскрипция. Передачей произношения - фонетическая транскрипция. Она требует специальных фонетических алфавитов.

В частности лично я встретился, по крайней мере, с тремя способами написания окончания своей фамилии при использовании латинского алфавита. В основном это связано с отсутствием в латинском алфавите буквы й. Она заменяется в разных странах по-разному: на i, y или j. Последний случай - в польском языке.

В своей работе при необходимости перевода названий минералов с английского языка на русский мы пользовались справочником [22], изданным под редакцией В.А. Франка-Каменецкого. Мы использовали опубликованные там русские названия, чтобы не порождать новых синонимов, даже в тех случаях, когда мы с их переводом не согласны.

Перечисленные проблемы должны решать не минералоги, а лингвисты. К сожалению, отсутствие этих решений приводит к большой путанице при изложении нашей проблематики.

Рано или поздно затронутые выше вопросы придется решать. Скорее всего, для этого потребуются коллективы авторов разных специальностей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бацанов С.С. Электроотрицательность элементов и химическая связь. Изд. АН СССР, Новосибирск, 1962.
2. Бетехтин А.Г. Минералогия. - М.: Госгеолиздат. - 1950. - 957 с.
3. Бокий Г.Б. Систематика природных силикатов. Изд-во ВИНТИ. Итоги науки и техники, сер. Кристаллохимия. 1997. - 31-.
4. Бокий Г.Б. Определение понятия минерального вида // ЗВМО. Т. 103, № 6. С 735-40.
5. Винчел А., Винчел Г. Оптическая минералогия. - М.: ИЛ.- 1953. - 561 с.
6. Воронин Ю.А. Теория классифицирования и ее приложения. Изд. Наука. Сиб. отд. 1985, с. 231.
7. Годовиков А.А. Химические основы систематики минералов.- М.: Недра. - 1979.-300 с.
8. Годовиков А.А. Минералогия. - М.: Недра. - 1983. - 626 с.
9. Дана Э.С. Описательная минералогия. - М.: Изд. геологоразв. и геодезич. литературы. - 1937. - 423 с.
10. Доливо-Добровольский В.В. Об ошибочных и дискуссионных трактовках кристаллических структур некоторых минералов. ЗВМО. 1999. Т. 128. С. 121-6.
- О структуре ильменита (роль авторитета личности в науке). Минералогические музеи СПб. 1998. С. 42.
11. Забродин В.Ю. О критериях естественности классификации. Информационный анализ. - М.: НТИ.- 1981.- серия 2. - № 8.- С. 22-24.
12. Костов И. Минералогия.- М.: Мир.- 1971.- 584 с.
13. Костов И. Минералогия. - София: Техника. - 1993. - 743 с.
14. Партэ Э. Некоторые главы структурной неорганической химии. Изд. Мир. 1993. С.143.
15. Поваренных А.С. Кристаллическая классификация минеральных видов. - Киев: Наукова Думка. - 1966. - 547 с.
16. Семенов Е.И. Минералогические таблицы. - М.: Недра. - 1981. - 399 с.
17. Семенов Е.И. Систематика минералов. Справочник. - М.: Недра. - 1991.- 334 с.
18. Смирнова Н.А., Белов Н.В. Систематика химических соединений и минералов. Оксиды. Кристаллография. 1981. Т. 26. В. 3. С. 495-7.
19. Соловьев Ю.И., Куринной В.И. Якоб Берцелиус. Изд. Наука. 1980. С. 319.

20. Трифонов Д.Н. Периодическая система химических элементов. История в таблицах. Москва. 1992. С. 49.
21. Физический энциклопедический словарь. Изд. Советская энциклопедия. Т. 1-5. 1960 - 1966. С. 204.
22. Флейшер. Ф. Словарь минеральных видов. Изд. Мир. 1990.
23. Херлблат К., Клейн К. Минералогия по системе ДЭНА.- М.: Недра.- 1982.- 728с.
24. Цирельсон В.Г., Белоконева Е.А., Нозик Ю.З., Урусов В.С. Шпинель  $MgAl_2O_4$ : особенности атомного и электронного строения по прецизионным рентгеновским дифракционным данным. Геохимия. 1986. № 7. С. 1035-42.
25. Anthony J.W., Bideaux R.A., Bladh K.W., Nichols M.C. Handbook of Mineralogy. 1997.
26. Bokij G.B. Systematics of Natural Silicates. VINITI. 1998.
27. Bokij G.B., Lima-de-Faria J., Moore P.B. Systematics of Crystal Structures and Crystalchemistry classification of Minerals. P.147-169. Marfunin A.S. Advanced Mineralogy. 1. Springer-Verlag. 1994. p. 550..
28. Bulakh A.G. Krivovichev V.G., Zolotarev A.A. Classification and formulae of Minerals.- S.-P.- 1995.- 28 с.
29. Clark A.M. Hey's mineral index. 1993. Chemical Classification. Изд. Charman and Hall.
30. Gaines R.V., Skinner H.C.W., Foord E.E., Mason B., Rosenzweig A., King V.T. Dana's New Mineralogy. 1997. P. 1819. John Wiley and Sons. INC
31. Lima-de-Faria J. On the problem of the measure of the symmetry of crystal structures. Garcia de Orta. Ser. Geol. Lisboa 14 (1-2). 1991. P. 45-50.
32. Parthe E. Elements of inorganic structural chemistry. 1990.
33. Pauling L.J. The Nature of the Chemical bond. IV The energy of single bonds and the relative electronegativity of atoms. J. Amer. Chem. Soc. (1932) 54. V.1. N 9. P. 3570-82.
34. Strunz H. Mineralogischen Tabellen. - Lipzig.- 1978.- 621 s.
35. Wells A.F. Vol. I, II, III. Structural Inorganic Chemistry. 1986. Oxford University Press. (Есть русский перевод. Изд. Мир. 1987).

## СПИСОК МИНЕРАЛОВ [В1]\*)

Примечание:

\*) Числа, стоящие после русского названия минерала, являются номерами таблиц. Например, "авиценнит 7" означает, что этот минерал находится в таблице №7. Страницы, на которых напечатаны соответствующие таблицы, указаны в оглавлении. Если минерал не включен ни в одну таблицу, то указан раздел, в котором он упомянут. Например, "акдалаит 2.6.3." указывает, что этот минерал упомянут в соответствующем разделе.

Абсвурмбахит 11  
Abswurbachite  
Абхурит 35  
Abhurite  
Авиценнит 7  
Avicennite  
Агриньерит 25  
Agrinierite  
Акаганеит 18  
Akaganeite  
Акдалаит 2.6.3.  
Akdalaite  
Алюмотантит 9  
Alumotantite  
Алюмотунгстит 21  
Alumotungstite  
Алюмохромит 6  
Alumochromite  
Амакинит 28  
Amakinite  
Амегинит 3  
Ameghinite  
Анатаз 9  
Anatase  
Анкангит 9  
Ankangite  
Антоинит 21  
Anthoinite  
Антониит 33  
Anthonyite  
Аржютит 9 и 36

Argutite  
Аркелит 9  
Arkelite  
Армолколит 8  
Armolcolite  
Арсенолит 7 и 35  
Arsenolite  
Асболан 23  
Asbolan  
Асселборнит 33  
Asselbornite  
Атакамит 32  
Atacamite  
Ателестит 4.3.  
Atelestite  
Аурихальцит 3.2.  
Aurichalcite  
Аурорит 32  
Aurogite  
Ахтенскит 9  
Akhtenskite  
Ашанит 9  
Ashanite  
Ашоверит 28  
Ashoverite

Бадделеит 9  
Baddeleyite  
Базальюминит 33  
Basaluminite  
Байерит 29  
Bayerite  
Бандилит 3  
Bandyllite  
Баннерманит 10  
Bannermanite  
Баотит 11  
Baotite  
Барбертонит 33  
Barbertonite

Бариандит 25  
Bariandite  
Бариомикролит 17 и 20  
Variomicrolite  
Бариопирохлор 17  
Variopirochlore  
Барнесит 23  
Barnesite  
Бартелкеит 8  
Bartelkeite  
Батеновит 33  
Batenovite  
Баураноит 25  
Bauranoite  
Беккерелит 27  
Bequerelite  
Белянкинит 23  
Belyankinite  
Бёдантит 30  
Beudantite  
Бёмит 18  
Böhmite  
Бердесинскиит 8  
Berdesinskiite  
Берналит 33  
Bernalite  
Бехоит 28  
Behoite  
Биксбиит (разнов. Партриджеита) 7  
Vixbyite  
Биллиетит 27  
Billietite  
Бирнессит 22  
Birnessite  
Бисмит 7 и 36  
Bismite  
Бисмоклит 18 и 35  
Bismoclite  
Бисмутит 4.3.  
Bismutite

Бисмутостибиконит 10 и 36

Bismutostibiconite

Бликсит 16

Blixite

Блоссит 8

Blossite

Бокит 24

Bokite

Боталлакит 32

Botallackite

Боттиноит 33

Bottinoite

Бракебушит 22

Brackebuschite

Браннерит 9

Brannerite

Браунит 11

Braunite

Браунмиллерит 6

Brownmillerite

Бресуэлит 18

Breswellite

Бромеллит 5

Bromellite

Брошантит 31

Brochantite

Брукит 9

Brookite

Бруногайерит 6

Brunogeierite

Бруньятеллит 33

Brunyatelite

Брусит 28

Buscite

Бунзенит 5

Bunsenite

Буртит 29

Burtite

Буттгенбахит 33

Buttgenbachite

Вакефилдит-(Ce) 9  
Wakefieldite-(Ce)  
Вакефилдит-(Y) 9  
Wakefieldite-(Y)  
Валентинит 7 и 36  
Valentinite  
Валерит 31  
Valleriite  
Ванадинит 8  
Vanadinite  
Ваналит 23  
Vanalite  
Ванденбраидеит 31  
Vandenbrandeite  
Вандендрисшеит 26  
Vandendriesscheite  
Ваноксит 24  
Vanoxite  
Вануралит 26  
Vanuralite  
Ваттерсит 5  
Wattersite  
Вейлерит 30  
Weilerite  
Вернадит 23  
Vernadite  
Вёлсендорфит 25  
Wölsendorfite  
Виартит 33  
Wyartite  
Виджеццит 9  
Vigezzite  
Викманит 29  
Wickmanite  
Вимсит 31  
Vimsite  
Висмирновит 29  
Vismirnovite  
Висмутомикролит 20

Bismuthomicrolite  
Воджинит 9  
Wodginite  
Волбортит 23  
Volborthite  
Вольфрамит (разнов.) 9  
Wolframite  
Вроевольфеит 33  
Wroewolfeite  
Вудвардит 33  
Woodwardite  
Вудрафит 33  
Woodruffite  
Вудхаусеит 30  
Woodhouseite  
Вульфенит 9  
Wulfenite  
Вуорелайненит 6  
Vuorelainenite  
Вюльфингит 28  
Wulfingite  
Вюстит 5  
Wustite (wuestite)  
Вяльсовит 31  
Vyalsovite

Галаксит 6  
Galaxite  
Гананит 35  
Gapanite  
Ганит 6  
Gahnite  
Гаусманнит 6  
Hausmannite  
Гвианаит 18  
Guyanaite  
Гейкилит 7  
Geikielite  
Гематит 7  
Hematite

Гематофанит 15  
Hematophanite  
Гемиздрит 11  
Hemihedrite  
Герасимовскит 23  
Gerasimovskite  
Гердтреммелит 3.3.3.  
Gerdtremmelite  
Герцинит 6  
Hercynite  
Гетерогенит-3R 18  
Heterogenite-3R  
Гетеролит 6  
Hetaerolite  
Гётит 18  
Goethite  
Гиббсит 29  
Gibbsite  
Гидрогетеролит 2.6.2.  
Hydrohetaerolite  
Гидрокалюмит 33  
Hydrocalumite  
Гидромаркит 15 и 35  
Hydromarchite  
Гидроталькит 33  
Hydrotalcite  
Гидроцинкит 3.2.  
Hydrozincite  
Гинсдалит 30  
Hinsdalite  
Глаукокеринит 33  
Glaucocerinite  
Глёт 5  
Litharge  
Говардэвансит 8  
Howardevansite  
Голландит 9  
Hollandite  
Грантсит 23  
Grantsite

Гримальдит 18  
Grimaldiite  
Гроссит 7  
Grossite  
Гроутит 18  
Groutite  
Гуариноит 33  
Guarinoite  
Гюбнерит 9  
Hübnerite

Давидит-(Ce) 8  
Davidite-(Ce)  
Давидит-(La) 8  
Davidite-(La)  
Дамараит 15  
Damaraite  
Даттонит 31  
Duttonite  
Делафоссит 5  
Delafossite  
Дельриоит 23  
Delrioite  
Дербилит 12  
Derbylite  
Десотельсит 33  
Desautelsite  
Дефернит 33  
Defernite  
Джалиндит 29  
Dzhalindite  
Джамборит 29  
Jamborite  
Джаросевичит 3.3.2.  
Jarosewichite  
Джеппеит 8  
Jeppeite  
Джианшуиит 22  
Jianshuiite  
Джиксианит 20

Jixianite  
Джинбандиит 29  
Jeanbandyite  
Диаболеит 32  
Diaboleite  
Диаоюдаоит 7  
Diaoyudaoite  
Диаспор 18  
Diaspore  
Добреит 35  
Daubreeite  
Дойлеит 29  
Doyleite  
Долоресит 21  
Doloresit  
Донатит 6  
Donathite  
Доррит 11  
Dorrite  
Духамелит 22  
Duhamelite

Екораит 25  
Yecoraite

Жарчихит 32  
Zharchikhite  
Журавскит 33  
Jouravskite

Заварицкит 18 и 35  
Zavaritskite  
Заратит 33  
Zaratite  
Захерит 33  
Zaherite

Иантинит 26  
Ianthinite  
Ивакиит 6

Iwakiite  
Идальгоит 30  
Hidalgoite  
Иедлинит 18  
Yedlinite  
Иелимит 13  
Yeelimite  
Известь 5  
Lime  
Иксиолит 9  
Ixiolite  
Ильземаннит 26  
Ilsemannite  
Ильменит 7  
Ilmenite  
Ильменорутил (разнов) 9  
Ilmenorutile  
Имэнгит 7  
Yimengite  
Иоваит 33  
Iowaite  
Иранит 11  
Iranite  
Иртышит (разнов.) 9  
Irtysbite  
Иттробетафит-(Y) 17  
Yttrobetafite-(Y)  
Иттроколумбит-(Y) 9  
Yttrocolumbite-(Y)  
Иттропирохлор-(Y) 17  
Yttropurochlore-(Y)  
Иттротанталит-(Y) 9  
Yttrotantalite-(Y)  
Иттротунгстит-(Y) 21  
Yttrotungstite-(Y)  
Ишикаваит 9  
Ishikawaite

Казахстанит 25  
Kazakhstanite

Калипироклор 22  
Kalipyrochlore  
Кальциобетафит 17  
Calciobetafite  
Кальциотантит 10  
Calciotantite  
Кальциртит 9  
Calzirtite  
Кальюметит 33  
Calumetite  
Камиокит 8  
Kamiokite  
Камитугаит 27  
Kamitugaite  
Кандилит 6  
Qandilite  
Каннонит 4.3.  
Саппонит  
Карбоирит 17  
Carboirite  
Карелианит 7  
Karelianite  
Каресит 33  
Caresite  
Карнотит 23  
Carnotite  
Кассит 18  
Kassite  
Касситерит 9  
Cassiterite  
Катоптрит 11  
Katoptrite  
Кафетит 22  
Cafetite  
 $\alpha$ -Кварц 35  
 $\alpha$ -Quarz  
 $\beta$ -Кварц 35  
 $\beta$ -Quarz  
Квенселит 16

Quenselite  
Квинтинит-2Н 33  
Quintinite-2Н  
Келянит 12  
Kelyanite  
Кемлицит 30  
Kemmlitzite  
Кемпит 32  
Kempite  
Кеннедит 8  
Kennedyite  
Кермезит 36  
Kermesite  
Кецалькоатлит 31  
Quetzalcoatlite  
Кизилкумит 9  
Kuzylkumite  
Кимробинсонит 31  
Kimrobinsonite  
Кинит 31  
Khinite  
Китит 36  
Keatite  
Китянлингит 9  
Qitianlingite  
Кларит 33  
Claraite  
Кларингбуллит 32  
Claringbullite  
Кларкеит 17  
Clarkeite  
Кладетит 7  
Claudetite  
Клебельсбергит 4.3.  
Klebelsbergite  
Клеберит 23  
Kleberite  
Клиноатакамит 32  
Clinoatacamite  
Клинобехоит 28

Clinobehoite  
Коалингит 33  
Coalingite  
Кокуандит 4.3.  
Coquandite  
Колаганит 33  
Kolaganite  
Комблейнит 33  
Comblainite  
Компреньясит 26  
Compreignacite  
Коннеллит 33  
Connellite  
Корагоит 9  
Koragoite  
Корвусит 25  
Corvusite  
Коркит 30  
Corkite  
Коронадит 9  
Coronadite  
Корунд 7  
Corundum  
Коршуновскит 33  
Korshunovskite  
Косненит 32  
Kosnénite  
Кохромит 6  
Cochromite  
Козсит 35  
Coesite  
Креднерит 5  
Crednerite  
Криптомелан 9  
Cryptomelane  
 $\alpha$ -Кристобалит 35  
 $\alpha$ -Crystobalite  
 $\beta$ -Кристобалит 35  
 $\beta$ -Crystobalite

Кричтонит 8  
Crichtonite  
Крокоит 9  
Crocoite  
Кузахиит 6  
Kusachiite  
Кулсонит 6  
Coulsonite  
Куменгит 32  
Cumengite  
Куприт 5  
Cuprite  
Купрошпинель 6  
Cuprospinel  
Курнакит (разнов.) 7  
Kurnakite  
Кюрит 25  
Curite

Лавсонбауерит 33  
Lawsonbauerite  
Лазаренкоит 2.6.3.  
Lazarenkoite  
Лангбанит 11  
Langbanite  
Ландаунит 8  
Landaunite  
Латраппит 7  
Latrappite  
Лаурионит 32  
Laurionite  
Левисит 8  
Levysite  
Лёд 5 и 36  
Ice  
Лейтеит 6  
Leiteite  
Леноблит 23  
Lenoblite  
Лепидокрокит 18

Lepidocrocite  
Лиандратит 10  
Liandratite  
Ликазит 3.3.3.  
Likasite  
Линдквистит 7  
Lindqvistite  
Линдслейит 8  
Lindsleyite  
Лионсит 9  
Lyonsite  
Лискирдит 33  
Liskeardite  
Литиоводжинит 9  
Lithiowodginite  
Литиотантит 9  
Lithiotantite  
Литиофорит 18  
Lithiophorite  
Ловерингит 8  
Loveringite  
Лозейит 3.2.  
Loseyite  
Лопарит 7  
Loparite  
Лопарит-(Ce) 7  
Loparite-(Ce)  
Лопецит 8  
Lopezite  
Лореттоит 15  
Lorettoite  
Лудлокит 7  
Ludlockite  
Луешит 7  
Lueshite  
Лукасит-(Ce) 18  
Lucasite-(Ce)  
Лутесит 36  
Lutesite

Маггемит 7  
Maghemite  
Магнезиоколумбит 9  
Magnesiocolumbite  
Магнезиокулсонит 6  
Magnesiocoulsonite  
Магнезиоферрит6  
Magnesioferrite  
Магнезиохлорофеницит 3.3.1.  
Magnesiochlorophoenicite  
Магнезиохромит 6  
Magnesiochromite  
Магнетит 6  
Magnetite  
Магнетоплюмбит 7  
Magnetoplumbite  
Майенит 6  
Mayenite  
Макаулайит 11  
Macaulyite  
Макбёрнейит 9  
Mcberneyite  
Македонит7  
Macedonite  
Макконелит 5  
Massonnelite  
Манассеит 33  
Manasseite  
Манганбелянкинит 23  
Manganbelyankinite  
Манганит 18  
Manganite  
Манганозит 5  
Manganosite  
Манганоколумбит 9  
Manganocolumbite  
Манганотанталит 9  
Manganotantalite  
Манганотапиолит 9  
Manganotapiolite

Манганохромит 6  
Manganochromite  
Манжироит 9  
Manjiroite  
Маннардит 23  
Mannardite  
Маргаритасит 23  
Margaritasite  
Марокит 6  
Marokite  
Массикот 5  
Massicot  
Масюйит 25  
Masuyte  
Матиасит 8  
Mathiasite  
Маунткейтит 33  
Mountkeithite  
Мейкснерит 33  
Meixnerite  
Меймакит 26  
Meumacite  
Меланованадит 23  
Melanovanadite  
Меланостибит 7  
Melanostibite  
Меланофлогит 35  
Melanophlogite  
Мендипит 15  
Mendipite  
Ментанит 4.3.  
Mentanite  
Метаборит 35  
Metaborite  
Метавандендрисшеит 26  
Metavandendresscheite  
Метавануралит 27  
Metavanuralite  
Метадельриоит 18  
Metadelrioite

Метакальцураноит 25  
Metacalcioaranoite  
Метамунирит 7  
Metamunirite  
Метароссит 23  
Metarossite  
Метатюямунит 25  
Metatyuyamunite  
Метяхьюэтит 25  
Metahewettite  
Меташоепит 26  
Metaschoepite  
Мёрдочит 5  
Murdochite  
Микролит 17  
Microlite  
Молибдит 10  
Molybdite  
Монгшанит 8  
Mongshanite  
Монтепонит 5  
Monteponite  
Монтрозеит 18  
Montroseite  
Монтроидит 5  
Montroydite  
Мопунгит 29  
Mopungite  
Моурит 2.5.9.  
Mourite  
Мпоророит 26  
Mpororoite  
Мудрочит 15  
Mudrochite  
Мунирит 2.6.3.  
Munirite  
Муратаит 18  
Murataite  
Мурит 33  
Mooreite

Мунирит 6.2.  
Munirite  
Мусгравит6  
Musgravite  
Мускоксит 6.2.  
Muscoxite  
Мушистонит 29  
Mushistonite

Навахоит 25  
Navajoite  
Намибит 7  
Namibite  
Натанит 29  
Natanite  
Натровистантит 12  
Natrobistantite  
Натрониобит 7  
Natroniobite  
Натротантит 9  
Natrotantite  
Нелтнерит 11  
Neltnerite  
Нигерит-6H 17  
Nigerite-6H  
Нигерит-24R 17  
Nigerite-24R  
Ниобит 9  
Niobite  
Ниобозшинит-(Nd) 18  
Niobo-aeshynite-(Nd)  
Нихромит 6  
Nichromite  
Ноланит 17  
Nolanite  
Нордстрандит 29  
Nordstrandite  
Нсутит 18  
Nsutite

Ольхонскит 9  
Olkhonskite  
Оноратоит 35  
Onoratoite  
Ортобраннерит 20  
Orthobrannerite  
Орфеит (разнов.) 30  
Orpheite  
Отъисумейт 9  
Otjiseumite

Паинит 7  
Painite  
Паленцонаит 9  
Palenzonaite  
Парабарииомикролит 25  
Parabariomicrolite  
Паралаурионит 32  
Paralaugionite  
Парамелаконит 5  
Paramelasonite  
Парамонтрозейт 9  
Paramontroseite  
Паратакамит 32  
Paratacamite  
Парателлурит 9 и 35  
Paratellurite  
Парашоепит 26  
Paraschoepite  
Паркинсонит 15  
Parkinsonite  
Партриджеит 7  
Partridgeite  
Паскоит 24  
Pascoite  
Пенгжижонгит 16  
Pengzhizhongite  
Периклаз 5  
Periclase  
Перманит 6

Perhmanite  
Перовскит 7  
Perovskite  
Перцилит 32  
Percylite  
Пинноит 3  
Pinnoite  
Пинчит 15  
Pinchite  
Пироаурит 33  
Pyroaurite  
Пиробелонит 17  
Pyrobelonite  
Пиролюзит 9  
Pyrolusite  
Пирофанит7  
Pyrophanite  
Пирохлор 17  
Pyrochlore  
Пирохроит28  
Pyrochroite  
Платтнерит 9  
Plattnerite  
Плюмбобетафит 20  
Plumbobetafite  
Плюмбомикролит17  
Plumbomicrolite  
Плюмбопирохлор17  
Plumbopyrochlore  
Плюмбоферрит 7  
Plumboferrite  
Повеллит 9  
Powellite  
Поликраз-(Y) 9  
Polycrase-(Y)  
Портландит 28  
Portlandite  
Поттсит 22  
Pottsite  
Поярковит 14

Roarkovite  
Прайдерит 9  
Priderite  
Протасит 26  
Protasite  
Псевдобрукит 8  
Pseudobrookite  
Псевдорутил 9  
Pseudorutile

Рамоит 24  
Rameauite  
Рамсбекит 33  
Ramsbeckite  
Рамделлит 9  
Ramsdellite  
Ранкамаит 19  
Rankamaite  
Рансьеит 23  
Rancieite  
Распит 9  
Raspite  
Раувит 25  
Rauvite  
Редледжеит 9 и 23  
Redledgeite  
Ривесит 33  
Reevesite  
Риландит 23  
Rilandite  
Ринерсонит 9  
Rynersonite  
Ришетит 26  
Richetite  
Романешит 8  
Romanechite  
Ромаркит 36  
Romarchite  
Россит 23  
Rossite

Роубаултит 27  
Roubaultite  
Рузвельтит 4.3.  
Rooseveltite  
Русаковит 33  
Rusakovite  
Русселит 7  
Russelite  
Рутил 9  
Rutile

Самарскит-(Y) 9  
Samarskite-(Y)  
Санмартинит 9  
Sunmartinite  
Сантанаит 6  
Santanaite  
Сантафеит 22  
Santafeite  
Сапфирин 7  
Sapphirine  
Сассолин 4.3.  
Sassolite  
Сатпаевит 23  
Satpaevite  
Сванбергит 30  
Svanbergite  
Свеит 33  
Sveite  
Свитит 28  
Sweetite  
Сджёгренит 33  
Sjögrenite  
Седовит 10  
Sedovite  
Сезаролит 6  
Cesarolite  
Селенолит 9 и 36  
Selenolite  
Сенаит 8

Senaite  
Сенармонтит 7  
Senarmontite  
Сенжьерит 25  
Sengierite  
Сервантит 9 и 36  
Cervantite  
Сенгеит 29  
Söhgeite  
Сигаит 33  
Shigaite  
Сидвиллит 26  
Sidwillite  
Силгидрит 4.3.  
Silhydrite  
Силленит 7 и 36  
Sillenite  
Симонколеит 33  
Simonkollite  
Симплотит 23  
Symplotite  
Симпсонит 18  
Simpsonite  
Скрутиниит 9  
Scrutinyite  
Скуавкрикит 9  
Squawcreekite  
Соседкоит 19  
Sosedkoite  
Спанголит 33  
Spangolite  
Спертиниит 28  
Spertiniite  
Сребродольскит 6  
Srebrodolskite  
Стайгерит 23  
Steigerite  
Станномикролит 17  
Stannomicrolite  
Старингит 7

Staringite  
Стибиванит 8  
Stibivanite  
Стибиобетафит 17  
Stibiobetafite  
Стибиконит 10 и 35  
Stibiconite  
Стибиомикролит 17  
Stibiomicrolite  
Стихтит 33  
Stichtite  
Стишовит 9 и 36  
Stishovite  
Стойберит 7  
Stoiberite  
Стольцит 9  
Stolzite  
Стоттит 29  
Stottite  
Страчекит 24  
Straczekite  
Стрелкинит 23  
Strelkinite  
Стронциопирохлор 20  
Strontiorurochlor  
Стрюверит (разнов.) 9  
Strüverite  
Сундиусит 13  
Sundiusite  
Сурик 9  
Minium  
Сферобисмоит 36  
Sphaerobismoite  
Сэйрит 26  
Sayrite

Таафеит 6  
Taaffeite  
Тажеранит (разнов.) 9  
Tazhranite

Таканелит 23  
Takanelite  
Таковит 33  
Takovite  
Танталэшинит-(Y) 9  
Tantalaeschynite-(Y)  
Тантеэвксенит-(Y) 18  
Tanteuxenite-(Y)  
Тантит 10  
Tantite  
Тарапакаит 6  
Taraapaite  
Таусонит 7  
Tausonite  
Тейсит 3.3.1.  
Theisite  
Теллурит 9 и 36  
Tellurite  
Тенорит 5  
Tenorite  
Теофрастит 28  
Theophrastite  
Тереземаньанит 33  
Thereseamaganite  
Терлингуаит 14  
Terlinguaite  
Тетравикманит 29  
Tetrawickmanite  
Тиванит 18  
Tivanite  
Типлеит 3  
Teepelite  
Титановоджинит 9  
Titanowodginite  
Тодорокит 22  
Todorokite  
Томичит 12  
Tomichite  
Торианит 9  
Thorianite

Торолит 9  
Thoreulite  
Торрейит 33  
Torreyite  
Торутит 16  
Thorutite  
Точилинит 31  
Tochilinite  
Треворит 6  
Trevorite  
 $\alpha$ -Тридимит 35  
 $\alpha$ -Tridymite  
 $\beta$ -Тридимит 35  
 $\beta$ -Tridymite  
Триппкеит 6  
Trippkeite  
Трипугиит 9  
Tripuhyite  
Тугариновит 9  
Tugarinovite  
Тунгстит 26  
Tungstite  
Тюямунит 25  
Tuquamunite

Уванит 26  
Uvanite  
Улигит 8  
Uhligite  
Ульвошпинель 6  
Ulvöspinel  
Уралборит 31  
Uralborite  
Уранинит 9  
Uraninite  
Уранмикролит 17  
Uranmicrolite  
Ураносферит 24  
Uranosphaerite

Уранпирохлор 17  
Uranpyrochlore  
Уранполикраз 9  
Uranpolycrase  
Уранотунгстит 26  
Uranotungstite

Файткнехтит 18  
Feitknechtite  
Фельшебанит 33  
Felsöbanuaitе  
Феникохроит 9  
Phoenicochroite  
Ферберит 9  
Ferberite  
Ферванит 23  
Fervanite  
Фергусонит-(Ce) 9  
Fergusonite-(Ce)  
Фергусонит-(Nd) 9  
Fergusonite-(Nd)  
Фергусонит-(Y) 9  
Fergusonite-(Y)  
 $\beta$ -Фергусонит-(Ce) 9  
 $\beta$ -Fergusonite-(Ce)  
 $\beta$ -Фергусонит-(Nd) 9  
 $\beta$ -Fergusonite-(Nd)  
 $\beta$ -Фергусонит-(Y)9  
 $\beta$ -Fergusonite-(Y)  
Фернандинит 24  
Fernandinite  
Фероксигит 18  
Feroxhite  
Ферригидрит 23  
Ferrihydrite  
Ферритунгстит 23  
Ferritungstite  
Ферроводжинит 9  
Ferrowodginite

Ферроколумбит (разнов.) 9

Ferrocolumbite

Ферротанталит 9

Ferrotantalite

Ферротапиолит 9

Ferrotapiolite

Ферсмит 18

Fersmanite

Филлотунгстит 24

Phyllotungstite

Фингерит 8

Fingerite

Форманит-(Y) 9

Formanite-(Y)

Франклинит 6

Franklinite

Франконит 23

Franconite

Фрейденбергит 8

Freudenbergite

Фурдит 9

Foordite

Фурмарьерит 26

Fourmarierite

Хаапалаит (разнов.) 31

Haapalaite

Хавторнеит 7

Hawthorneite

Халькоалюмит 33

Chalcoalumite

Халькофанит 22

Chalcophanite

Ханавальтит 14

Hanawaltite

Хашимит 9

Hashemite

Хеггит 31

Häggite

Хемлоит 12

Hemloite  
Хендерсонит 24  
Hendersonite  
Хёгбомит 7  
Högbomite  
Хиббингит 32  
Hibbingite  
Хибонит 7  
Hibonite  
Хлормагалюминит 33  
Chlormagaluminite  
Хлороксицит 16  
Chloroxiphite  
Хлорофеницит 3.3.1.  
Chlorophoenicite  
Хонгквиит 5  
Hongquite  
Хотсонит 33  
Hotsonite  
Хошелагаит 24  
Nochelagaite  
Хризоберилл 6  
Chrysoberyl  
Хроматит 9  
Chromatite  
Хромит 6  
Chromite  
Хуммерит 23  
Hummerite  
Хьюмалит 23  
Huemulite  
Хьюэттит 25  
Hewettite

Цезаролит 18  
Cesarolite  
Цезплумтантит 9  
Cesplumtantite  
Цезстибтантит 12  
Cesstibtantite

Ценценит 7  
Zenzenite  
Церианит 9  
Serianite  
Цериопироклор-(Ce) 17  
Ceriopyrochlore-(Ce)  
Церотунгстит 21  
Cerotungstite  
Цианотрихит 33  
Cyanotrichite  
Цианциуллиит 33  
Cianciulliite  
Цианофиллит 3.1.1.  
Cyanophillite  
Цизит 8  
Ziesite  
Цинкалюминит 33  
Zincaluminite  
Цинкит 5  
Zincite  
Циркелит 8  
Zirkelite  
Цирконолит 8  
Zirconolite  
Цинкохромит 6  
Zincchromite  
Цнукалит 33  
Znucalite

Чангбайит 9  
Changbaiite  
Чармарит 33  
Charmarite  
Черветит 8  
Chervetite  
Чеховичит 36  
Chekhovichite

Шафарцикит 6  
Schafarzikite

Швертманнит 13  
Schwertmannite  
Шеелит 9  
Scheelite  
Шёнфлисит 29  
Schoenfliesite  
Шервудит 24  
Sherwoodite  
Шетелигит (разнов.) 17  
Scheteligite  
Шнайдерхёнит 7  
Sneiderhöhnite  
Шпинель 6  
Spinel  
Шрейерит 9  
Schreyerite  
Шриланкит 9  
Srilankite  
Шуленбергит 33  
Schulenbergite

Щербинаит 10  
Shcerbinaite

Эвлитин 4.3.  
Eulytite  
Экандрюсит 7  
Escanrewsite  
Элиит 31  
Elyite  
Эрнникелит 22  
Erniienickelite  
Эсколаит 7  
Eskolaite  
Эуксенит 9  
Euxenite  
Эуксенит-(Y) 9  
Euxenite-(Y)  
Эшинит-(Ce) 9  
Aeschynite-(Ce)

Эшинит-(Nd) 9  
Aeschynite-(Nd)  
Эшинит-(Y) 9  
Aeschynite-(Y)

Якобсит 6  
Jacobsite  
Янгунит 20  
Janggunite  
Яфсоанит 7  
Yafsoanite

### **Список сокращений в таблицах и в тексте**

гекс. - гексагональная сингония  
и др. - и другие  
и т. д. - и так далее  
и т. п. - и тому подобное  
куб. - кубическая сингония  
к. ч. - координационное число  
мон. - моноклинная сингония  
п. г. с. - пространственная группа симметрии  
п. с. т. - правильная система точек  
ПСХЭ - периодическая система химических элементов  
ромб. - ромбическая сингония  
сим. кр. - симметрия кристаллов  
тетр. - тетрагональная сингония  
триг. - тригональная сингония  
трик. - триклинная сингония  
ЭО - электроотрицательность