

УДК 549.631+552.322.2(470.21)

Кейвиит-(Y)* — новый иттриевый диортосиликат и таленит из амазонитовых пегматитов Кольского полуострова. Диорто- и триортосиликаты иттрия

А. В. Волошин, Я. А. Пахомовский, Ф. Н. Тюшева

Кейвиит-(Y) обнаружен в амазонитовых пегматитах Кольского полуострова в ассоциации с таленитом, ксенотимом и бастнезитом в поздних трещинах в кварце и флюорите в виде тонкопризматических кристаллов. Размеры кристаллов от 0,05 до 1 мм при толщине 0,15 мм и меньше. Бесцветный, прозрачный. Флюоресценцией не обладает, в катодных лучах светится желто-зеленым цветом. Плотность 4,45 (изм.) и 4,48 г/см³ (расч.). Анизотропный, двусный отрицательный. Моноклинный, пространственная группа $C2/m-C^3_{2n}$; $a=0,6845(5)$, $b=0,8960(5)$, $c=0,4735(3)$ нм, $\beta=101,65(5)^\circ$, $Z=2$. Химический состав (микронзондовый анализ): 45,41 мас. % Y_2O_3 , 10,11 — Yb_2O_3 , 5,10 — Er_2O_3 , 1,00 — Lu_2O_3 , 1,10 — Tm_2O_3 , 3,64 — Dy_2O_3 , 1,26 — Ho_2O_3 , 0,62 — Gd_2O_3 , 0,67 — CaO , 30,79 — SiO_2 , сумма — 99,70 мас. %. Идеальная формула минерала — $(Y, Yb)_2Si_2O_7$. Рассмотрена генетическая связь кейвиита-(Y) с таленитом и его место в общем ряду диортосиликатов иттрия. Приведены новые данные по исследованию химического состава и рентгенометрическим характеристикам таленита и проведено критическое рассмотрение в связи с этим литературных данных по диортосиликатам иттрия и редкоземельных элементов и триортосиликатам иттрия.

При исследовании кейвиита [11] нами установлены две генерации этого минерала, более поздняя из которых характеризовалась повышенными концентрациями иттрия, но ни по химическому составу, ни по индивидуальным физическим свойствам, в том числе и рентгенометрическим характеристикам, она не могла рассматриваться как самостоятельный минеральный вид. В ассоциации с таленитом, ксенотимом, бастнезитом и новым иттрий-алюминиевым фтор-силикатом в поздних трещинах кварца и флюорита амазонитовых пегматитов Кольского полуострова обнаружены тонкопризматические кристаллы, по составу соответствующие диортосиликату иттрия, а по рентгенометрическим характеристикам они изоструктурны с кейвиитом, т. е. обладают тортвейтитовой структурой.

Кристаллы минерала нарастают на выделения кейвиита, выходящие в трещины (рис. 1), или без определенной ориентировки располагаются в плоскости трещины на кварце или флюорите (рис. 2). Размеры кристаллов от 0,05 до 1 мм при толщине 0,15 мм и меньше. Минерал бесцветный, белый, черта белая, блеск стеклянный. Флюоресценцией не обладает, но в катодных лучах светится желто-зеленым цветом. Твердость 4—5, $VHN_{20}=1400$, $VHN_{40}=1200$ кг/мм². Спайность отсутствует, излом неровный. Плотность 4,45 г/см³ (измеренная), 4,48 (рассчитанная на эмпирическую формулу), 4,44 (рассчитанная по правилу Гладштейна-Дели). Минерал двусный, отрицательный, $2V(56(2)^\circ)$ (измеренный), 55° (рассчитанный), $n_g=1,758(1)$, $n_m=1,748(1)$, $n_p=1,713(1)$ (измерения выполнены в свете с длиной волны 589 нм). Оптическая ориентировка: $x \wedge c=4^\circ$, $z=b$, $Y \wedge a=7^\circ$, $r < v$. Оптическая ориентировка и измерение оптических констант проведено в иммерсионных препаратах и на федоровском столике в искусственных шлифах.

Химический состав минерала приведен в табл. 1. Другие элементы с атомным номером больше 11, кроме указанных в таблице, в минерале не обнаружены. Сумма редкоземельных элементов цериевой подгруппы не превышает 0,03 %. С помощью ка-

* Минерал рассмотрен и утвержден Комиссией по новым минералам и названиям минералов ВМО 1 июня 1984 г. Утвержден Комиссией по новым минералам и названиям минералов Международной минералогической ассоциации 3 ноября 1984 г.

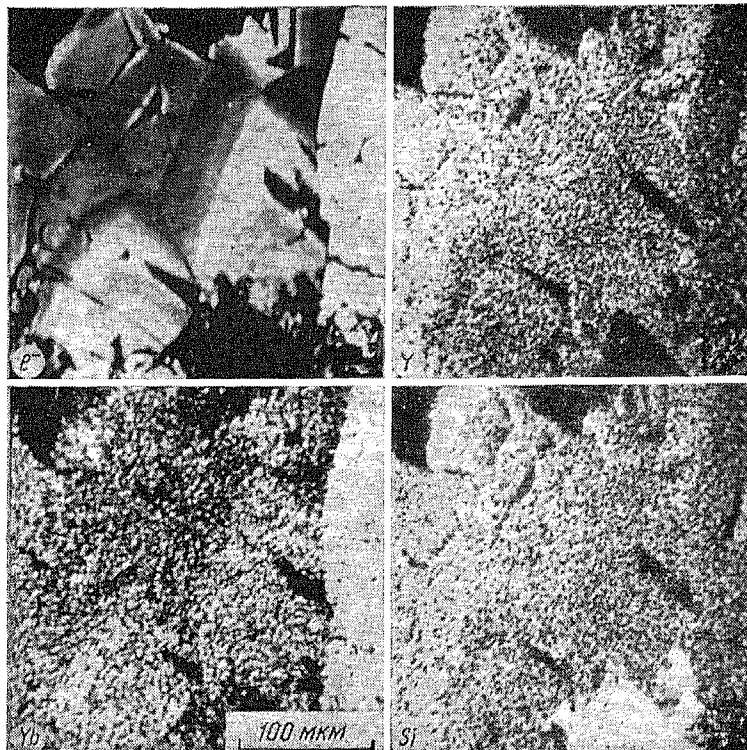


Рис. 1. Нарастание кейвинита-(Y) на кейвинит. Растровые картины в отраженных электронах (e^+) и характеристическом излучении Y, Yb, Si.

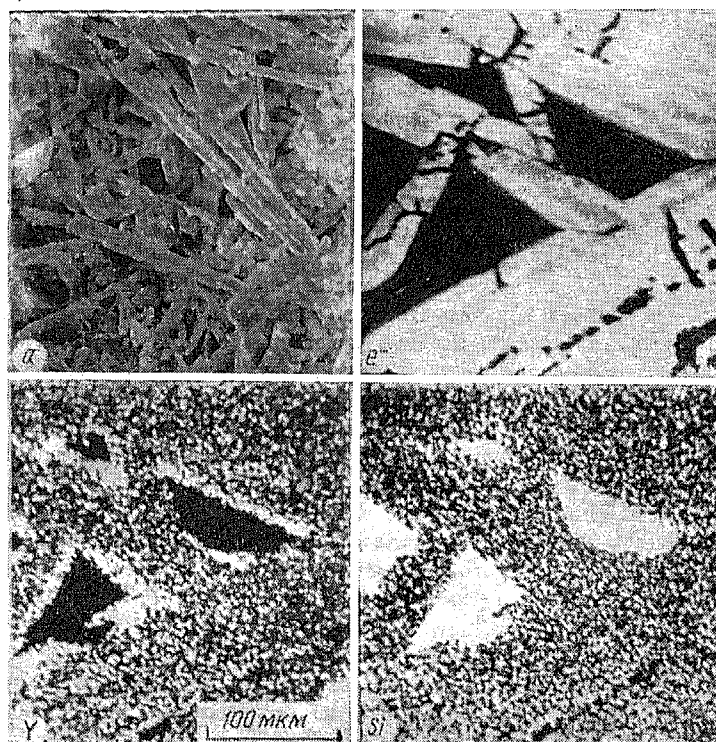


Рис. 2. Тонкопризматические кристаллы кейвинита-(Y) на кварце: а — РЭМ фото, ув. 600; б — растровые картины участка шлифа в отраженных электронах (e^-) и характеристическом излучении Y, Si.

чественного микрозондового анализа подтверждено отсутствие в минерале фтора и углерода.

Формула минерала, рассчитанная на семь атомов кислорода, имеет вид

$$(Y_{1,55}Yb_{0,20}Er_{0,10}Dy_{0,08}Ca_{0,04}Lu_{0,02}Tm_{0,02}Ho_{0,02}Gd_{0,01})_{2,04}Si_{1,98}O_7.$$

Идеальная формула минерала — $(Y, Yb)_2Si_2O_7$.

Рентгенограмма порошка минерала идентична таковой кейвита [11], и по аналогии с ним для минерала принята моноклинная сингония, пространственная группа $C2/m-C^3_2$; уточненные по рентгенограмме порошка параметры элементарной ячейки: $a=0,6845(5)$, $b=0,8960(5)$, $c=0,4734(3)$ нм, $\beta=101,65(5)^\circ$, $V=0,2844(1)$ нм³, $Z=2$. С этими параметрами проведено индиферирование рентгенограммы порошка (табл. 2). При индиферировании оказалось, что слабые линии при малых углах отражения 0,428, 0,420 и 0,347 нм с этими параметрами индиферируются вполне удовлетворительно, но значения hkl не соответствуют пространственной группе, принятой для минерала. Возможно, минерал имеет другую пространственную группу, что может быть установлено в результате структурных исследований монокристалла и изучения его кристаллической структуры, которое в настоящее время выполняется на кафедре кристаллографии МГУ. Не исключено, что появление этих слабых линий связано с примесью другой фазы.

Минерал назван кейвнитом-(Y) (keivyite-(Y)) как иттриевый аналог кейвита. Эталонные образцы с минералом хранятся в Минералогическом музее им. А. Е. Ферсмана АН СССР.

Учитывая ассоциацию кейвита-(Y) с таленитом и близость их химического состава, а также рентгенограмм порошка, следует рассмотреть индивидуальность обоих минеральных видов и их место в общей системе силикатов иттрия. Это тем более необходимо, потому что, с одной стороны, в литературе накопилось много спорных вопросов по талениту (а также по метамиктному силикату иттрия — иттриалиту), а с другой — имеются новые данные по исследованию состава этих минералов с помощью локальных методов.

Таленит известен с конца прошлого века как минерал из гранитных пегматитов Швеции и Норвегии [28, 38]; примерно в это же время в пегматитах США обнаружен и описан иттриалит [31]. Таленит в СССР впервые найден в 1962 г. и описан Н. В. Ско-

Таблица 1. Химический состав кейвита-(Y), мас. %

Компонент	1	2	3	4		
				мас. %	AK _K	K _K
Y ₂ O ₃	40,86	42,93	45,86	45,11	0,4022	1,55
Yb ₂ O ₃	15,36	14,93	11,81	10,11	0,0512	0,20
Er ₂ O ₃	6,50	4,92	4,40	5,10	0,0266	0,10
Lu ₂ O ₃	2,61	1,85	1,05	1,00	0,0050	0,02
Tm ₂ O ₃	1,99	1,54	1,11	1,10	0,0057	0,02
Dy ₂ O ₃	1,53	2,75	2,92	3,64	0,0195	0,08
Ho ₂ O ₃	0,85	1,10	1,27	1,26	0,0066	0,02
Tb ₂ O ₃	0,10	0,00	0,00	0,00	—	—
Gd ₂ O ₃	0,08	0,31	0,62	0,62	0,0034	0,01
CaO	0,00	0,30	0,30	0,67	0,0119	0,04
SiO ₂	30,85	29,13	30,49	30,79	0,5124	1,98
Сумма	100,73	99,76	99,83	99,70		

Примечание. 1, 2 — призматические кристаллы, нарастающие на кейвине; 3, 4 — тонкопризматические кристаллы по трещинам в кварце и флюорите. AK_K — атомные количества катионов. K_K — коэффициенты атомов, рассчитанные на семь атомов кислорода. Анализы выполнены на микроанализаторе MS-46 «КАМЕКА». Ускоряющее напряжение — 15—25 кВ, ток зонда — 20—40 нА, аналитические линии для Y, Ca, Si — K_α, для остальных — L_α. Стандарты: диопсид (Ca, Si), Y₃Al₅O₁₂ (Y), LiRE(MoO₄)₂ (Yb, Er, Lu, Tm, Gd, Tb), LiRE(WO₄)₂ (Dy, Ho). Минерал проанализирован на нескольких образцах, не менее чем в 10 точках на каждом образце (время измерения 10 с). Пересчет относительных интенсивностей на концентрации выполнен на ЭВМ «Наир-2» по оригинальной программе [14].

Таблица 2. Межплоскостные расстояния кейвита-(Y), нм

<i>I</i>	<i>d</i> _{изм}	<i>d</i> _{выч}	<i>hkl</i>	<i>I</i>	<i>d</i> _{изм}	<i>d</i> _{выч}	<i>hkl</i>
5	0,540	0,5368	110	1	0,1348	{ 0,1349 0,1348	441 432; 511
9	0,465	0,4637	001	1	0,1333	{ 0,1339 0,1329	261 431
2	0,451	0,4480	020	1р	0,1269	{ 0,1271 0,1270	403 352
1	0,428	0,4235	101	1	0,1253	{ 0,1257 0,1255	170 223; 062
1р	0,420	0,3498	101	1	0,1235	{ 0,1253 0,1237	442 441
3	0,347	0,3258	111	1	0,1235	{ 0,1234 0,1232	361; 071 412
2	0,326	0,3222	021	2р	0,1222	{ 0,1225 0,1223 0,1220	171 530; 423 262
10	0,323	0,3022	201	1	0,1177	{ 0,1179 0,1175	271 532
8	0,304	0,2728	201	1	0,1157	{ 0,1159 0,1156	004 313
5	0,2729	0,2684	220	1	0,1142	{ 0,1143 0,1140 0,1135	451 601 352
2	0,2489	{ 0,2505 0,2489	221 201	2рш	0,1130	{ 0,1133 0,1131 0,1128	224; 531 611 323; 243
1	0,2440	0,2441	131	2рш	0,1119	{ 0,1120 0,1119 0,1117	080 461 600; 314
2	0,2389	0,2398	211	1	0,1108	{ 0,1109 0,1106	353 443
1	0,2323	0,2319	002	3рш	0,1084	{ 0,1088 0,1086 0,1085 0,1084	442; 172 333 551; 163 620
7	0,2280	{ 0,2266 0,2271	112 131	3рш	0,1082	{ 0,1083 0,1081	181 034
4	0,2172	{ 0,2175 0,2168	221 310	1р	0,1073	{ 0,1074 0,1073	550 124
2	0,2140	0,2131	311	1р	0,1059	{ 0,1062 0,1059	462; 280 533; 404
2	0,2125	{ 0,2117 0,2124	202 231	1р	0,1053	{ 0,1054 0,1052 0,1051	334 461 414
1	0,2060	{ 0,2061 0,2059	212 022	1р	0,1039	{ 0,1039 0,1038	601; 552 244; 403
1	0,2011	0,2013	112	1р	0,1029	{ 0,1030 0,1026	044; 424 214; 363
4р	0,1918	0,1914	222	1р	0,1020	{ 0,1021 0,1020	281 417
5	0,1841	0,1843	132	1р	0,1007	{ 0,1008 0,1007	532 224; 561
1	0,1787	0,1789	330				
1	0,1768	{ 0,1768 0,1766	331 312				
1	0,1745	0,1749	202				
1	0,1727	{ 0,1731 0,1727	150 232; 321				
5	0,1685	0,1689	401				
1	0,1677	0,1676	400				
2	0,1647	0,1650	151				
1	0,1626	0,1629	222				
3	0,1591	{ 0,1595 0,1585	151 331				
3	0,1583	0,1580	421				
1	0,1567	{ 0,1570 0,1567	420 341				
3	0,1543	{ 0,1546 0,1543	003 332				
1	0,1526	0,1526	203				
1	0,1514	0,1511	402				
1	0,1489	{ 0,1493 0,1488	060 412; 123				
1	0,1459	0,1461	023				
1	0,1444	{ 0,1448 0,1444 0,1425	312 223 113				
2	0,1421	{ 0,1423 0,1421	152 061				

Продолжение табл. 2

<i>l</i>	<i>d</i> _{изм}	<i>d</i> _{выч}	<i>hkl</i>	<i>l</i>	<i>d</i> _{изм}	<i>d</i> _{выч}	<i>hkl</i>
3р	0,1393	{ 0,1395 0,1394	{ 322; $\bar{1}$ 33 $\bar{3}$ 13	1р	0,1004	{ 0,1006 0,1001	{ $\bar{3}$ 44 $\bar{6}$ 13
1	0,1385	0,1388	$\bar{3}$ 51				

Примечание. Условия съемки: камера РКУ 114,6 мм, Fe-излучение, без фильтра. Внутренний стандарт — NaCl, р — размытая линия, рш — размытая широкая линия.

робогатовой и др. в 1964 г. [21]. Первые находки иттриалита в СССР приводятся по данным О. Е. Рождественского для районов Северо-Востока в 1954 г. и А. Я. Волженковой для пегматитов Северо-Запада СССР [22]. Судя по приводимым результатам химического анализа и прочим свойствам, «иттриалит», установленный И. В. Бельковым в 1948 г. в амазонитовых пегматитах Кольского полуострова и описанный в 1958 г. [7], представляет собой, по существу, первую находку таленита в СССР, что обсуждалось в целом ряде работ по исследованию этих минералов [5, 21, 22]. По всем этим находкам таленита (в том числе и зарубежным) определена близость химического состава к идеальной формуле $Y_2Si_2O_7$, однако не выяснена его структура. Изучение же иттриалита осложнялось еще и его метамиктным состоянием.

А. Н. Винчеллом [9], а позднее Х. Штрунцем [40], А. П. Сабина и др. [36] таленит отнесен к структурному типу тортвейтита, а иттриалит, близкий по составу к талениту, но находящийся в метамиктном состоянии, считался продуктом изменения таленита. По Е. Гейриху [30], иттриалит — это ториевый таленит, формула которого преобразуется из $Y_2Si_2O_7$ в $Y_4Si_2O_{13}OH$. Впервые о структурном отличии таленита из Швеции и Восточной Сибири от тортвейтита и иттриалита на основании данных по свойствам и рентгенограммам порошка определено сказано Н. В. Скоробогатовой и др. в 1964 г. [22].

Приведенные в 60-х и начале 70-х годов рентгеноструктурные (как порошковые, так и монокристалльные) и ИК-спектроскопические исследования диортосиликатов — продуктов синтеза систем $Y_2O_3 - SiO_2$ и $Tr_2O_3 - SiO_2$ [8, 17, 18, 23, 32, 43, 45] — выявили ряд закономерностей свойств и структурного состояния диортосиликатов, которые сводятся к следующему:

1. Диортосиликаты иттрия и редкоземельных элементов по характеру структуры и ИК-спектрам делятся на семь типов [19], из которых диортосиликаты $Ho - Lu$ (тип С по данным работы [19]) имеют структуру и ИК-спектр, аналогичные для тортвейтита. В результате исследований кристаллической структуры и ИК-спектров доказано также, что диортосиликаты редкоземельных элементов и иттрия различаются не только общим строением кристаллической решетки, но и формой диортогруппы кремния. Последнее объяснено тремя причинами:

а) кремнекислородные анионы «приспосабливаются» к размерам катионов, что связано, по идее Н. В. Белова, с изменением радиуса иона от лантана до иттербия («лантанонидное сжатие»);

б) форма диортогруппы изменяется в зависимости от изменения основности, убывающей от лантана к лютецию (иттрий в этом ряду находится между диспрозием и гольмием, а скандий следует за лютецием); при уменьшении основности катиона происходит увеличение ковалентности связи $M - O$, что ведет к понижению порядка связи $Si - O$ и соответственно к увеличению угла $Si - O - Si$;

в) деление диортосиликатов без учета полиморфизма в зависимости от температуры на три группы ($La - Eu$, $Gd - Ho$ и $Er - Lu$) соответствует делению редкоземельных элементов на три группы по наиболее устойчивым электронным конфигурациям: лантан, гадолиний и лютеций.

2. Установлен полиморфизм диортосиликатов иттрия в зависимости от температуры кристаллизации [17, 45]. В связи с этим А. Н. Лазарев и др. [17] предположили, что кристаллизация природного диортосиликата с тортвейтитовой структурой (тип С) или диортосиликатов типов Е и D (по [19]) определяется преимущественно термиче-

скими условиями образования, а также размером и количеством других катионов в их составе.

3. В последующих работах [3—5, 24, 29, 39] установлено, что низкотемпературная модификация $Y_2Si_2O_7$ имеет тесное сродство со структурой тортвейтита, но вследствие иной ориентировки и изменения трансляционной периодичности диортогрупп симметрия этой модификации ниже, чем у тортвейтита. Показано, что тортвейтитовая структура характерна для диортосиликатов Lu, Yb, Tm [24, 29, 39] (тип С, моноклинные сингония, пространственная группа $C2/m$, $Z=2$); диортосиликаты Er и низкотемпературные модификации $Y_2Si_2O_7$ и $Ho_2Si_2O_7$ относятся также к моноклинные сингонии, но пониженной симметрии (тип D, пространственная группа $P2_1/c$, $Z=2$); диортосиликаты Gd, Tb, Dy и высокотемпературные модификации $Y_2Si_2O_7$ и $Ho_2Si_2O_7$ обладают ромбической сингонией (тип E, пространственная группа $Pna2_1$, $Z=4$), т. е. диортосиликат иттрия имеет три из семи типов структур, по работе [19], установленных для диортосиликатов индивидуальных редкоземельных элементов. Тем не менее рентгенограммы синтетических диортосиликатов иттрия имели заметное отличие от таковых таленита.

Структурное изучение образцов таленита из пегматитов Швеции (находящихся в коллекции Минералогического музея АН СССР) показало их полифазность [5]: в образцах установлены две фазы (I и II). Фаза I соответствовала низкотемпературной модификации $Y_2Si_2O_7$ (тип D), а фаза II имела структуру тортвейтита. Выделяемая фаза III [5] свойственна талениту, описанному из Восточной Сибири [21] и Северо-Запада СССР [7, 10]. Хотя в изученных образцах [5] шведского таленита фаза III не обнаружена, но рентгенограмма для таленита из Швеции, приводимая другими авторами [44], полностью соответствует фазе III [22]. Именно поэтому Н. Г. Баталина с соавторами [5] совершенно справедливо утвердили у таленита структурные характеристики фазы III. При сравнении рентгенометрических характеристик таленита из различных месторождений мира с разными полиморфными модификациями $Y_2Si_2O_7$ [10] также подтвердилась индивидуальность таленита как фазы III типа. И, наконец, при исследовании кристаллической структуры таленита А. Н. Корневым с соавторами [12, 13] окончательно установлено, что минерал является не диортосиликатом, а триортосиликатом иттрия и его не следует рассматривать в ряду $Y_2Si_2O_7$ — $Tr_2Si_2O_7$.

Место иттриалита среди диортосиликатов иттрия не определено, хотя в какой-то степени оно обсуждалось в работах [32, 41]. Прежде всего из-за постоянного метамиктного состояния иттриалита речь может идти только о продуктах его прокаливания и поэтому необходимо выяснить, является иттриалит структурным аналогом одной из фаз $Y_2Si_2O_7$ или представляет собой новый структурный тип. По рентгенограммам порошка прокаленного иттриалита в двух температурных интервалах 800—900 и 1000—1400° минерал обнаруживает два типа картин, не имеющих аналогов среди типов I—III $Y_2Si_2O_7$ [6, 32]. Кроме того, попытки синтезировать соединение, имеющее рентгенограмму, идентичную прокаленному иттриалиту, были удачными только при наличии в исходной системе определенного количества ThO_2 [6]. В связи с этим до находок образцов иттриалита в естественном кристаллическом состоянии структурное соответ-

Таблица 3. Структурная систематика диорто- и триортосиликатов

Структурный тип	Структурный аналог	«Малые» компоненты	Сингония
I (D)*	$\gamma-Y_2Si_2O_7$; $Er_2Si_2O_7$	—	Моноклинные
II (C)	Тортвейтит	—	»
III (T)	$\beta-Y_2Si_2O_7$; $Yb_2Si_2O_7$	F, OH, CO_2 , B_2O_3	»
IV (E)	$K_3YSi_3O_8(OH)$ **	—	Ромбическая
V (Y)	$\delta-Y_2Si_2O_7$; $Gd_2Si_2O_7$	—	Ромбическая
«низкотемпературный» иттриалит [6]	$Gd_2Si_2O_7$	ThO_2	Моноклинные
«высокотемпературный» иттриалит [6]	$\alpha-Y_2Si_2O_7$	—	Гексагональная [32]

Примечание. *Структурный тип по данным работы [19]. **Структурная аналогия в стро

ствие остается не выясненным. В настоящее время можно условно выделить две температурные модификации для продуктов прокаливания иттриалита.

Проанализировав литературный материал по структурным типам соединений с химическим составом, близким к $Y_2Si_2O_7$, их схематическую систематику можно представить в виде таблицы (табл. 3), в которой представлены индивидуальность и место соответствующих минеральных видов.

Химический состав таленита из разных месторождений мира приведен в табл. 4. Как видим, в целом ему соответствует формула $Y_3Si_3O_{10}(OH)$. Соотношение между редкоземельными элементами в талените (табл. 5) сильно смещено в сторону тяжелых при доминирующем значении иттрия. Обращает на себя внимание постоянное присутствие в талените воды (вероятно, в виде гидроксильных групп), двуокиси углерода или фтора (табл. 4). К этому следует добавить, что в некоторых образцах таленита из Швеции частными анализами установлен и бор [35]. Проведенное нами с помощью микрозондового метода исследование состава образцов таленита из Восточной Сибири (коллекция Н. В. Скоробогатовой) также подтвердило присутствие в нем углерода (вероятно, в виде групп CO_3). В результате изучения таленита из Японии методом ЯМР [34] определено наличие в его составе гидроксильных групп. Присутствие воды в гидроксильной форме подтверждается и результатами ИК-спектроскопических исследований таленита [1, 2]. Возможно, отсутствие в исходных веществах указанных выше дополнительных («малых») компонентов как раз и являлось причиной неудач по синтезу собственно таленита. Отсюда понятен и наблюдавшийся при прокаливании [6, 32] переход таленита с потерей гидроксильных групп в $\beta - Y_2Si_2O_7$ по схеме, предложенной А. Н. Корневым с соавторами [12]. Такой переход, очевидно, не может считаться полиморфным.

В амазонитовых пегматитах Кольского полуострова таленит установлен в виде включений во флюорите, где он представлен ксеноморфными зернами и плохо оформленными кристаллами в ассоциации с новым иттрий-алюминиевым фтор-силикатом. Таленит также обнаружен в поздних трещинах во флюорите и кварце, где он образует прозрачные и бесцветные клиновидной формы кристаллы с большим количеством граней (рис. 3). Морфология таленита во флюорите определяется не только самой ксеноморфностью зерен, но и обрастанием кристаллов тонкозернистым агрегатом более позднего таленита (рис. 3). Кристаллы таленита во флюорите часто проявляют зональное строение, но наряду с ними встречаются индивиды без видимой зональности, причем те и другие можно наблюдать в одном образце. Зональность кристаллов проявляется только в растровых картинах в отраженных электронах и выражена в чередовании зон с незначительными изменениями соотношения иттрия и редкоземельных элементов (рис. 4). На многих зональных кристаллах таленита обнаруживаются следы многократного растворения и дорастания в процессе его кристаллизации, выражающиеся в округлении углов, разрыве границ зон и пр. Нарастание тонкозернистого таленита на зональные кристаллы свидетельствует о кристаллизации нескольких генераций этого минерала.

Пространственная группа	Параметры ячейки, нм			β	Z	Минеральный вид
	a	b	c			
$P2_1/c$	0,557	1,080	0,470	95°55'	2	Не известен
$C2/m$	0,682	0,907	0,472	101,45°	2	Кейвинит-(Y)
$P2_1/n$	1,035	1,12	0,731	96°55'	6	Таленит
$Pn2_1$	1,365	0,815	0,502		4	Не известен
$P2_1m$	0,734	0,806	0,502	108,30°	2	Иттриалит по данным работы [6] Иттриалит

ении слоев с кремнекислородными триортогруппами.

Таблица 4. Химический состав таленита из различных месторождений мира, мас. %

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ce ₂ O ₃				0,83								6,18
La ₂ O ₃				4,15								3,95
Y ₂ O ₃	63,35	58,58	63,91	61,84	50,79	54,64	47,5	63,36	61,38	60,60	65,59	50,76
ThO ₃				0,18			1,6	0,78	0,23			0,19
U ₃ O ₈							1,0					
SiO ₂	29,88	27,69	30,89	28,88	22,95	26,02	29,4	30,02	27,81	32,25	30,17	29,04
TiO ₂					0,04	0,09		Следы		0,03		0,07
Fe ₂ O ₃	0,30	1,51		0,45	1,13	2,11	4,0	1,32	0,80	0,16	0,52	1,60
FeO					0,04	0,06	0,2					
Al ₂ O ₃	0,45	1,51*	0,25*	0,25*	3,46	0,04	3,0	0,51	2,37	0,43	1,43	0,92
CaO	0,49	2,19	0,37	0,11	2,62	2,03	1,8	1,03	0,25	0,35	0,27	0,05
MgO	0,21	0,40	0,10	0,05	0,81	0,88	0,3	1,19	2,16	0,58		3,39
Na ₂ O	0,26	1,07	0,36	0,08	0,29	0,34						
K ₂ O					0,47	0,12	0,2					
MnO					0,22	0,53	0,3	0,83				0,82
SnO	0,23	0,22	0,19	0,22				Следы				
ZrO ₂									1,61			
H ₂ O ⁺		2,70	1,54	1,93	9,80	9,58	6,8	0,09	3,60		1,44	
H ₂ O ⁻					2,91	1,64	2,3					
CO ₂	1,04	3,32		2,40	4,19	1,48	0,7	0,27				
P ₂ O ₅					0,13	0,24	0,7	0,27				
					0,03	0,03				3,51		3,18
П. п. п.	1,40	2,50	1,96					0,53		0,58	0,08	
Сумма	99,69	100,53	99,57	101,10	98,88	99,82	99,8	99,33	100,21	100,02	99,48	100,24

Примечание. 1—4—Швеция (1—3 по данным работы [28], 4—по данным работы [38]); 5—7—Норвегия (5—по данным работы [38], 6,7—по данным работы [37]); 8—Япония [32]; 9—Восточная Сибирь [21]; 10, 11—Северо-Запад СССР [10]; 12—«иттриалит» Кольского п-ова [7]. *Al₂O₃+BeO.

Таблица 5. Состав редкоземельных элементов и иттрия в талените из различных месторождений мира

Компонент	1		2		3		4	5	
	%	K _к	%	K _к	%	K _к	K _к	%	K _к
La ₂ O ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ce ₂ O ₃	—	—	—	—	—	—	—	1,1	0,03
Pr ₂ O ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Nd ₂ O ₃	—	—	2,4	0,06	Следы	—	—	0,5	0,01
Sm ₂ O ₃	1,2	0,03	2,7	0,06	»	—	—	1,0	0,02
Eu ₂ O ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Gd ₂ O ₃	1,8	0,03	3,6	0,07	1,1	0,03	0,02	1,5	0,03
Tb ₂ O ₃	0,8	0,01	0,8	0,01	0,6	0,01	—	—	—
Dy ₂ O ₃	4,1	0,09	5,8	0,12	6,4	0,14	0,14	6,4	0,14
Ho ₂ O ₃	1,1	0,01	1,2	0,03	2,4	0,04	0,02	1,5	0,03
Er ₂ O ₃	4,7	0,09	3,8	0,07	9,1	0,18	0,15	6,8	0,13
Tm ₂ O ₃	1,0	0,01	1,2	0,01	2,9	0,06	0,01	—	—
Yb ₂ O ₃	7,8	0,15	5,4	0,11	9,1	0,18	0,15	5,2	0,09
Lu ₂ O ₃	1,5	0,03	0,9	0,01	0,9	0,01	0,02	—	—
Y ₂ O ₃	76,0	2,55	72,2	2,44	67,5	2,35	2,49	76,0	2,52
Сумма	100,00	3,00	100,00	3,00	100,00	3,00	3,00	100,00	3,00

Примечание. 1,2—Швеция [20, 21]; 3, 4—Восточная Сибирь (3—по данным работы [22], 4—наши данные); 5—Северо-Запад СССР [10, 15]. %—мас. % от суммы редкоземельных элементов и иттрия, K_к—формульные коэффициенты каждого элемента в формуле Y₃(Si₃O₁₀)OH.

По оптическим свойствам и плотности кольский таленит близок к описанному талениту из метасоматитов Северо-Запада СССР [10] и талениту из пегматитов США, Колорадо [27]. Эти данные приведены в табл. 6, в которой содержатся также все имеющиеся в литературе сведения по талениту и синтетическим диортосиликатам ит-

трия, а для сравнения даны оптические характеристики кейвинита и кейвинита-(Y). Все это позволяет определить индивидуальность как таленита, так и кейвинита-(Y).

При изучении препаратов с призматическими кристаллами кейвинита-(Y) привлекало внимание то, что между кристаллами в некоторых случаях пространство выполнено

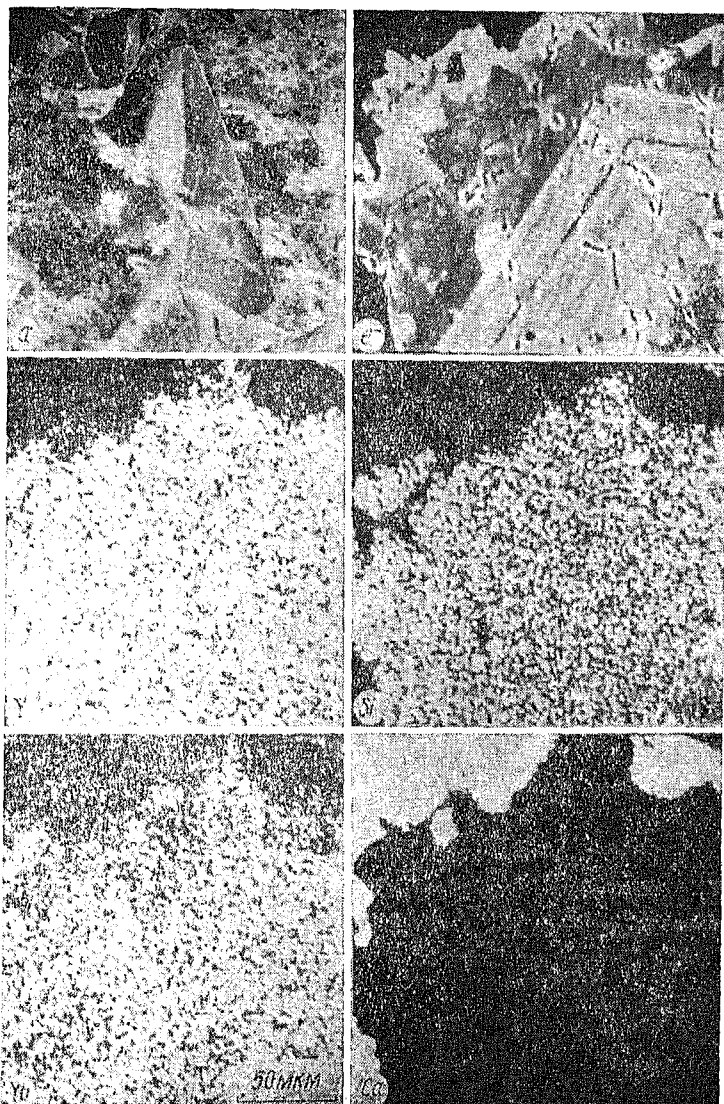


Рис. 3. Клиновидные кристаллы таленита (а), РЭМ фото, ув. 220; зональный кристалл таленита во флюорите, растровые картины участка шлифа в отраженных электронах (e^-) и характеристическом излучении Y, Si, Yb, Ca.

фазой А (рис. 5), внешне не отличимой от таленита. По составу эта минеральная фаза соответствует силикату иттрия, но отличается от таленита в некоторых деталях состава и рентгенограммы порошка.

Химический состав таленита, фазы А и кейвинита-(Y) из амазонитовых пегматитов Кольского полуострова приведен в табл. 7. Здесь же приведены результаты локального рентгеноспектрального анализа таленита из метасоматитов Северо-Запада СССР, для которого характерно аномальное по сравнению с таленитом из амазонитовых пегматитов содержание гольмия и редкоземельных элементов ряда эрбия — гольмия. Сравнивая химический состав многочисленных образцов таленита из амазонитовых пегматитов Кольского полуострова, состав отдельных зон его зональных кристаллов и возможных разных генераций можно сделать следующие выводы:

- 1) в зональных кристаллах таленита содержание иттрия повышается от центра к периферии;
- 2) мелкозернистый таленит, нарастающий на зональные кристаллы, характеризуется наиболее высоким содержанием иттрия;

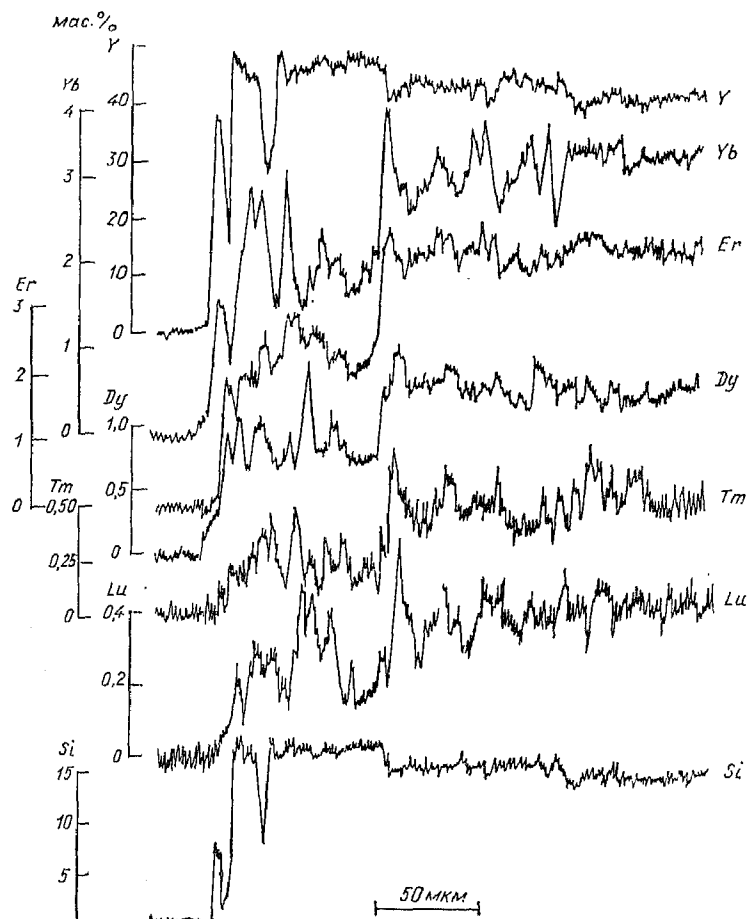


Рис. 4. Концентрационные кривые содержаний элементов по профилю через зональный кристалл таленита.

Таблица 6. Оптические свойства и плотность природных и синтетических диорто- и триортосиликатов иттрия и редкоземельных элементов

Минерал, синтетическое соединение	n_g	n_m	n_p	$n_g - n_p$	$-2V^\circ$	Дисперсия, о. о.	Плотность, г/см ³	Литературные данные
Таленит, Швеция	1,744	1,738	1,731	0,013	67°35'	$r < v$	4,227	[28]
Таленит, Норвегия	—	—	—	0,013	73	$r < v$	—	[42]
Таленит, Восточная Сибирь	1,744	—	1,730	0,014	70	$r < v$	3,69	[21]
Таленит, США, Колорадо	1,748	1,739	1,719	0,029	67°30'	—	—	[27]
«Иттриалит», Кольский п-ов	—	1,753	—	—	—	—	—	[7]
Таленит, Северо-Запад СССР	1,746	1,736	1,717	0,029	68	—	4,34	[10]
Таленит синтетический	1,742	—	1,730	0,012	—	—	3,89	[8]
Y ₂ Si ₂ O ₇	1,747	—	1,737	0,010	60	—	4,06	[23]
Y ₂ Si ₂ O ₇	1,753	1,747	1,721	0,033	—	—	3,97	[3]
Таленит, Кольский п-ов	1,748	1,739	1,719	0,029	73	$r < v$	4,24	Наши данные
Кейвиит-(Y)	1,758	1,748	1,713	0,045	56	$r < v$	4,45	То же
Кейвиит, Кольский п-ов	1,768	1,758	1,723	0,045	58	$r < v$	5,95	[11]

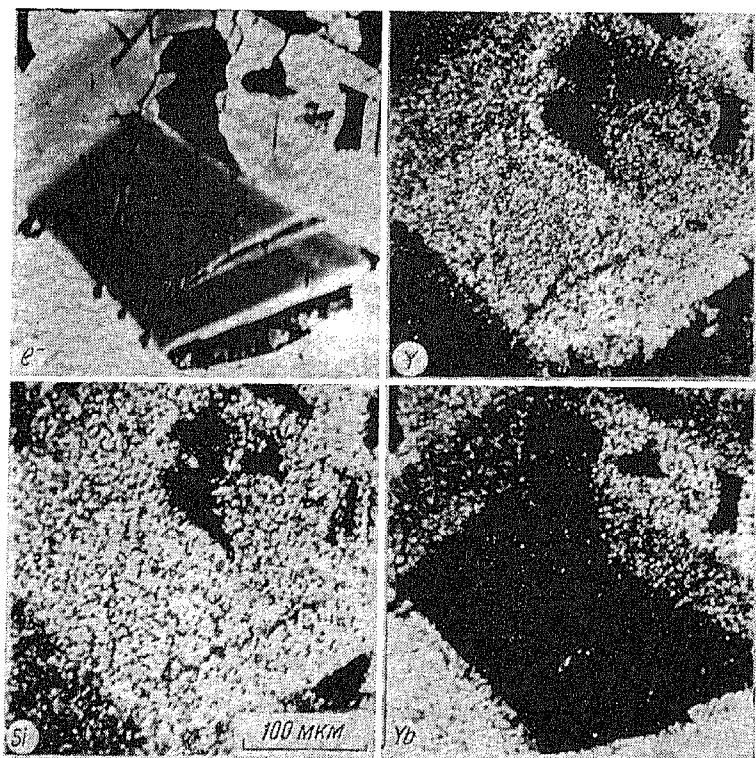


Рис. 5. Фаза А — силикат иттрия, выполняющий пространство между призматическими кристаллами кейвинита-(Y). Растровые картины участка шлифа в отраженных электронах (e⁻) и характеристическом излучении Y, Si, Yb.

Таблица 7. Химический состав диорто- и триортосиликатов иттрия из Кольского полуострова и Северо-Запада СССР, мас. %

Компонент	1	2			3	4	5
		мас. %	АК _к	К _к			
Y ₂ O ₃	54,59	55,06	0,4876	2,66	44,45	45,41	57,92
Yb ₂ O ₃	3,26	2,40	0,0121	0,06	6,01	10,11	1,24
Er ₂ O ₃	2,83	2,91	0,0152	0,08	6,50	5,10	2,42
Dy ₂ O ₃	1,02	1,77	0,0094	0,05	4,50	3,64	1,86
Lu ₂ O ₃	0,43	0,19	0,0009	0,03	0,89	1,00	0,06
Gd ₂ O ₃	0,16	0,24	0,0012		0,50	0,62	0,78
Tm ₂ O ₃	0,41	0,26	0,0013		0,59	1,10	0,34
Ho ₂ O ₃	0,61	0,22	0,0011		1,90	1,26	0,70
Tb ₂ O ₃	0,00	0,00	—	—	0,15	0,00	0,00
Sm ₂ O ₃	0,00	0,00	—	—	0,00	0,00	0,47
CaO	0,27	0,33	0,0059	0,03	0,00	0,67	0,27
SiO ₂	34,21	34,55	0,5749	3,10	31,99	30,79	33,03
F	3,39	3,76	0,1980	1,06	2,29	0,00	0,00
Сумма	101,18	101,69		6,00	99,77	99,70	99,10
—O=F ₂	1,43	1,58			0,96		
Сумма	99,75	100,11			98,81		

Примечание. 1—3 — таленит (1, 2 — кристаллы во флюорите амазонитовых пегматитов Кольского п-ова, 3 — кристаллы из метасоматитов Северо-Запада СССР); 4 — кейвинит-(Y), Кольский п-ов, 5 — фаза А, выполняющая пространство между кристаллами кейвинита-(Y) в амазонитовых пегматитах Кольского п-ова. АК_к — атомные количества катионов. К_к — коэффициенты атомов, рассчитанные на сумму (Y+TR+Si)=6.

Таблица 8. Межплоскостные расстояния таленита (1—5) и фазы А (6), нм

1		2		3		4		5			6		
<i>I</i>	<i>d</i>	<i>I</i>	<i>d</i>	<i>I</i>	<i>d</i>	<i>I</i>	<i>d</i>	<i>I</i>	<i>d</i> _{изм}	<i>d</i> _{выч}	<i>hkl</i>	<i>I</i>	<i>d</i>
3	0,541	2 5	0,611 (β) 0,551	1 3	0,618 (β) 0,557	6 1 1	0,5461 0,5114 0,4957	5	0,560	0,5610	020 200* 111* 210	5p	0,560
1	0,477					2	0,4382**					1	0,445
2	0,420	1	0,433**					2p	0,422	0,4206	121	3	0,422
3	0,376	3 5	0,414 0,374	2 2 1	0,414 0,3736 0,3596	5 2	0,3761 0,3641	5 1p	0,381 0,363	0,3819 0,3643	220 002	5 1p	0,381 0,366
5	0,349			5	0,3445	3	0,3476	3p	0,351	0,3518 0,3476	221; 130 300	2	0,352
2	0,329	2	0,329	2	0,327	3 5	0,3385 0,3261	2 2	0,332 0,327	0,3320 0,3262	310 221	2 1	0,330 0,323
10	0,3096	10	0,308	8 10	0,313 0,308	4 10	0,3163 0,3088	4 10	0,318 0,312	0,3177 0,3119	112; 202 131	2 10	0,318 0,312
2	0,303							1	0,305	0,3058	212; 022	2	0,305
7	0,2814	8	0,280			2 8	0,2862 0,2800	7	0,2825	0,2825	311* 202	1p 8	0,285 0,282
2	0,2736	3 2	0,2740 0,2580	3 1	0,2748 0,2570	5 3	0,2736 0,2565	3 1p	0,2767 0,2590	0,2765 0,2587	222 132	3 2p	0,277 0,255
1	0,2460	1	0,2465	2	0,2440	2	0,2506	1p	0,2527	0,2523 0,2512 0,2494	222 141 411		
1	0,2360	1 1 1	0,2406 0,2358 0,2301	2 1	0,2396 0,2319			2 1p	0,2416 0,2306	0,2422 0,2320 0,2302 0,2312 0,2298	232 312 103 411 241	2 1	0,245 0,231
7	0,2240	7	0,2222	6	0,2234	8	0,2230	8ш	0,2248	0,2254 0,2232	232; 113 123		
5	0,2190	4	0,2170	4	0,2179	5	0,2171	3	0,2188	0,2184	322; 332; 304	4	0,218
5	0,2120	4 1	0,2120 0,2060	4 1	0,2124 0,2040	6	0,2115	3 1p	0,2127 0,2050	0,2130 0,2050	123; 303 510; 341	4	0,215
1	0,1988	3	0,1964	2	0,1976	3 1	0,1973 0,1955	2	0,1988	0,1990	242 233*	1 1	0,195 0,197
1	0,1872	1	0,1872	2 1	0,1894 0,1872	4	0,1867	2	0,1878	0,1888 0,1883 0,1873	422 303 413	2	0,185
2	0,1775	1	0,1825	1 1 1	0,1820 0,1795 0,1775	3 1 1	0,1838 0,1812 0,1764				060* 004*	1p	0,185
3	0,1729	6	0,1707	6	0,1716	5	0,1712	4ш	0,1721	0,1775 0,1723 0,1720 0,1717	161; 143 531; 352 611; 502 610	4p	0,175
+14 линий с <i>I</i> ≤ 4		+22 линий с <i>I</i> ≤ 3		+23 линий с <i>I</i> ≤ 3		+38 линий с <i>I</i> ≤ 4		+6 линий с <i>I</i> ≤ 2			+3 линий с <i>I</i> ≤ 2		

Примечание. 1 — Швеция [44]; 2 — Восточная Сибирь [22]; 3, 4 — Северо-Запад СССР [22]; 5, 6 — Кольский п-ов, наши данные. ш — широкая линия, р — размытая линия. * *hkl* приведены по данным работы [10]; ** Отражения не индексируются в ячейке с параметрами таленита.

3) по сравнению с кейвинтом-(Y) для образцов таленита характерно наименьшее значение содержания редкоземельных элементов;

4) во всех образцах таленита в составе устанавливается определенное количество фтора, являющегося структурной примесью в минерале, ни в одном образце кейвинта-(Y) и фазы А фтор не обнаружен;

5) таленит из разных ассоциаций амазонитовых пегматитов Кольского полуострова обладает близким составом и характеризует одну стадию минерализации, в процессе которой происходило многократное растворение и кристаллизация минерала.

Ввиду относительной близости химического состава для индивидуализации минеральных фаз с составом, близким к $Y_2Si_2O_7$, решающее значение имеет рассмотрение их рентгенометрических характеристик. Результаты анализа литературного материала по рентгенограммам порошка в сравнении с нашими данными для изученных природных образцов таленита и кейвинта-(Y) позволяют уверенно разделить их на два типа: таленитовый (табл. 8) и тортвейтитовый (табл. 9).

Как видно из табл. 8, рентгенограммы порошка таленитов из разных месторождений мира очень близки как по значению межплоскостных расстояний, так и по интен-

Таблица 9. Межплоскостные расстояния диортосиликатов иттрия с тортвейтитовой структурой, нм

1		2		3		4		5		hkl
I	d	I	d	I	d	I	d	I	d	
5	0,5934	2	0,544	3	0,539	5	0,536	5	0,540	110
4	0,4623	3	0,467	3	0,463	8	0,464	9	0,465	001
<1	0,4494	1	0,451	1	0,454	3	0,446	2	0,451	020
								<1	0,428	
								<1p	0,420	$\bar{1}01$
<1	0,3847			2	0,384	2	0,384			$\bar{1}11$
								3	0,347	101
1	0,3373	1	0,338	3	0,334	4	0,334			200
6	0,3252					10	0,324	2	0,326	111
10	0,3222	10	0,323	10	0,322	10	0,320	10	0,323	021
8	0,3025	7	0,304	7	0,301	9	0,303	8	0,304	$\bar{2}01$
6	0,2735	4	0,274	5	0,275	7	0,272	5	0,2729	130
6	0,2695	3	0,271	5	0,269	7	0,2674	5	0,2692	220
1	0,2493					3	0,2514			$\bar{2}21$
		1	0,245			3	0,2479	2	0,2489	201
<1	0,2434					3	0,2436	1	0,2440	$\bar{1}31$
								2	0,2389	211
<1	0,2312	1	0,232	1	0,232	3	0,2320	1	0,2323	002
5	0,2274	3	0,228	6	0,227	7	0,2262	7	0,2280	$\bar{1}12$
1	0,2252									131
2	0,2179	1	0,218	5	0,217	6	0,2165	4	0,2172	221; 310
2	0,2138	2	0,214	3	0,214	6ш	0,2127	2	0,2140	$\bar{3}11$
1	0,2117	1	0,212	3	0,208			2	0,2125	$\bar{2}02$; $\bar{2}31$
<1	0,2056	1	0,206	1	0,204	2	0,2056	1	0,2060	022; $\bar{2}12$
				1	0,201			1	0,2011	112
1	0,1916	2	0,1918	4	0,1912	5	0,1920	4p	0,1919	$\bar{2}22$
<1	0,1843	<1	0,1845	1	0,1843	3	0,1844	5	0,1841	$\bar{1}32$; 032
2	0,1796	1	0,1801	3	0,1793	4	0,1785	1	0,1787	330
1	0,1772	1	0,1778	3	0,1771	4	0,1765	1	0,1768	$\bar{3}12$; $\bar{3}31$
1	0,1749	1	0,1749			3	0,1744	1	0,1745	202
2	0,1734	1	0,1737			3	0,1723	1	0,1727	150; 321
2	0,1697	2	0,1698	4	0,1696	6	0,1692	5	0,1685	$\bar{4}01$
+9 линий с $I \leq 2$		+3 линии с $I \leq 1$		+21 линия с $I \leq 3$		+53 линии с $I \leq 5$		+76 линий с $I \leq 4$		

Примечание. 1 — β — $Y_2Si_2O_7$, [32]; 2 — «таленит», Норвегия [45]; 3 — фаза П из образца таленита Швеции по данным работы [5]; 4 — кейвинт [11]; 5 — кейвинт — (Y). p — размытая линия, ш — широкая линия.

сивности соответствующих отражений. Различия между ними не существенны и относятся к наличию или отсутствию некоторых слабых по интенсивности линий, появление которых может быть объяснено не только той или иной полнотой рентгенограммы, но и некоторыми различиями химического состава образцов таленита: различным содержанием редкоземельных элементов фтора, воды и уголекислоты. С другой стороны, некоторые отражения (не индицируемые) могли быть вызваны механическими примесями других минеральных фаз. Особо следует рассмотреть минеральную фазу А. Наряду с отсутствием в ее составе фтора, рентгенограмма порошка, несмотря на в целом хорошее соответствие таковой таленита, все же имеет некоторые отличия, причем уместно подчеркнуть высокую чистоту вещества порошка фазы А для рентгенометрического изучения, полученного непосредственно из анализированного участка аншлифа. Прежде всего эти различия сводятся к следующему:

1) отражение 0,445(1) в рентгенограмме порошка фазы А не индицируется с параметрами, принятыми для таленита;

2) в рентгенограмме порошка фазы А отсутствует отражение 0,2248(8), свойственное талениту из разных месторождений.

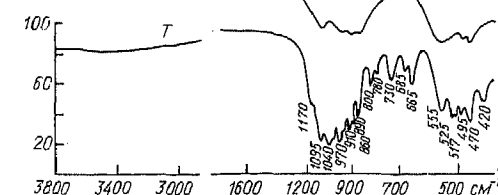


Рис. 6. ИК-спектры таленита и различных типов диортосиликатов редкоземельных элементов и иттрия. Т — таленит.

Эти различия, разумеется, не могут с достаточным основанием приниматься за видовые, но их нельзя и игнорировать. К сожалению, более полное исследование этой минеральной фазы в настоящее время невозможно из-за отсутствия достаточного ее количества. Новые находки позволят однозначно определить место фазы А среди силикатов иттрия.

Что касается таленита из Норвегии [44] и фазы П из шведского образца [5], то из данных табл. 9 можно сделать вывод об их изоструктурности с кейвинитом и кейвинитом-(Y), обладающими тортвейтитовой структурой, к которому следует отнести и β - $\text{Y}_2\text{Si}_2\text{O}_7$, синтезированный Дж. Ито с соавторами [32]. На основании изложенного можно сделать вывод, что химические анализы для минералов из Норвегии (табл. 4, ан. 5—7) не соответствуют минеральной фазе, для которой приведена рентгенограмма порошка [44]. О многофазности же образцов таленита из пегматитов Швеции упоминалось выше.

Изучение ИК-спектроскопических свойств таленита проведено на нескольких образцах, и на рис. 6 указан типичный ИК-спектр этого минерала из амазонитовых пегматитов Кольского полуострова в сравнении с ИК-спектрами для выделяемых по данным работ [16, 18, 24] типов диортосиликатов иттрия и редкоземельных элементов. Как видно из сравнения ИК-спектров, таленит характеризуется собственным, очень сложным по строению ИК-спектром, что объясняется прежде всего специфической структурой триортосиликата и сложным составом группы катионов, где наряду с иттрием участвуют и редкоземельные элементы в существенном количестве. ИК-спектр таленита из амазонитовых пегматитов подобен приводимому в табличной форме в работе [2]. Характерно, что для этого таленита, кроме других типичных полос поглощения, определена полоса с максимумом частоты 1445 см^{-1} и довольно большой интенсивности, которую авторы отнесли к деформационным колебаниям ОН-групп. Аналогичные полосы поглощения отмечаются на ИК-спектрах многих силикатов, особенно с диортогруппами, и отнесение их к примеси карбоната в пробе минерала в настоящее время считается ошибочным, ибо во многих специальных работах [1, 25, 26] показано, что

полосы поглощения с частотой, близкой к 1450 см^{-1} , обусловлены деформационными колебаниями ОН-групп, находящихся в вершинах кремнекислородных тетраэдров. Это тем более важно, что в некоторых образцах таленита из зарубежных месторождений и месторождений СССР по данным анализа устанавливается присутствие воды, кристаллохимическая роль которой может быть объяснена в структуре таленита с позиций, описанных выше. Так и в нашем анализе таленита из метасоматитов Северо-Запада СССР, несмотря на определение фтора, в сумме анализа отмечается небольшой дефицит, что, по-видимому, также связано с присутствием структурной воды. Это еще раз подтверждает необходимость наличия в составе таленита «малых» компонентов для стабилизации его структуры.

Из приведенного выше материала установлены принципиальные различия таленита и кейвинита-(Y) как в структурном плане, так и в отношении химического состава, из чего следует их индивидуализация в качестве самостоятельных минеральных видов.

Полиморфизм диортосиликатов иттрия и зависимость типа их структуры от содержания редкоземельных элементов предопределяет возможность существования природных диорто- и триортосиликатов иттрия и редкоземельных элементов с различным типом структуры.

SUMMARY. Keiviyite-(Y) is found in amazonite pegmatites of the Kola Peninsular. It occurs in late fissures of quartz and fluorite as slender prismatic crystals associated with thalenite, xenotime and bastnäsite. The size of crystals is 0.05-1 mm (length) with 0.15 mm (and less) thickness. Colourless, transparent. The mineral has no UV luminescence but intensive yellow-green cathodoluminescence. Density is 4.45 (obs.) and 4.48 (calc.). Anisotropic, biaxial, negative. Monoclinic, the space group is $C2/m-C_2^2$; $a=0.6845(5)$, $b=0.8960(5)$, $c=0.4735(3)$ nm, $\beta=101.65(0)^\circ$, $Z=2$. Chemical composition (microprobe, wt. %): Y_2O_3 45.41, Yb_2O_3 10.11, Er_2O_3 5.10, Lu_2O_3 1.00, Tm_2O_3 1.10, Dy_2O_3 3.64, Ho_2O_3 1.26, Gd_2O_3 0.62, CaO 0.67, SiO_2 30.79, sum 99.70. Ideal formula is $(Y, Yb)_2Si_2O_7$. Genetic interrelation of keiviyite-(Y) with thalenite and its position in a general series of diorthosilicates of yttrium is considered. New data on the study of chemical composition and on the X-ray powder diffraction pattern of thalenite are presented. In this connection data available in literature on the yttrium diorthosilicates, rare-earth elements and on yttrium triorthosilicates are considered.

1. Александрова И. Т., Куприянова И. И., Рыбакова Л. И. Физические свойства и методы диагностики редкоземельных силикатов.—Геология месторождений ред. элементов, 1966, вып. 26, с. 157—180.
2. Ахманова М. В., Карякин А. В., Юхневич Г. В. Определение гидроксильных групп в силикатных минералах методом ИК-спектров.—Геохимия, 1963, № 6, с. 581—585.
3. Баталиева Н. Г., Бондарь И. А., Сидоренко Г. А. О синтетическом силикате $Y_2Si_2O_7$.—Докл. АН СССР, 1967, 173, № 2, с. 339—341.
4. Баталиева Н. Г., Кривоконев Г. К., Пятенко Ю. А. О талените и других природных фазах $TR_2Si_2O_7$.—Докл. АН СССР, 1967, 176, № 5, с. 1146.
5. Баталиева Н. Г., Кривоконев Г. К., Бондарь И. А., Сидоренко Г. А. О природном иттриалите и его синтетических аналогах.—Докл. АН СССР, 1969, 189, № 3, с. 615—618.
6. Баталиева Н. Г., Пятенко Ю. А. Об атомной структуре кристаллов $Y_2[Si_2O_7]$.—Журн. структур. химии, 1967, 8, № 3, с. 548.
7. Бельков И. В. Иттриевая минерализация амазонитовых пегматитов щелочных гранитов Кольского полуострова.—Вопр. минералогии и геологии Кол. п-ова, 1958, вып. 1, с. 126—139.
8. Бондарь И. А., Торопов Н. А. Синтез и исследование силикатов редкоземельных элементов и иттрия типа граната и таленита.—В кн.: Эксперимент в технической минералогии и петрографии. М.: Наука, 1966, с. 13—17.
9. Винчелл А. Н. Оптическая минералогия.—М.: Изд-во иностр. лит., 1949.—660 с.
10. Волженкова А. Я., Баталиева Н. Г., Плетнева Н. И. и др. Таленит Северо-Западной части СССР.—В кн.: Новые данные о минералах СССР. М.: Наука, 1968, с. 176—182. (Тр. / Минерал. музей АН СССР; Вып. 18).
11. Волошин А. В., Пахомовский Я. А., Тюшева Ф. Н. Кейвинит — новый иттербиевый силикат из амазонитовых пегматитов Кольского полуострова.—Минерал. журн., 1983, 5, № 5, с. 94—99.
12. Корнев А. Н., Баталиева Н. Г., Максимов Б. А. и др. Кристаллическая структура таленита $Y_3Si_2O_{10}(OH)$.—Докл. АН СССР, 1972, 202, № 6, с. 1324—1327.
13. Корнев А. Н., Максимов Б. А., Илюхин В. В., Белов Н. В. Расшифровка кристаллической структуры природного минерала таленита $Y_3(Si_2O_{10})(OH)$.—Структура и свойства кристаллов, 1975, вып. 3, с. 18—25.

14. Костин Н. Е., Волженкова А. Я. О влиянии вмещающих пород на состав редкоземельной минерализации.— Геология руд. месторождений, 1985, 7, № 1, с. 95—98.
15. Кравченко-Бережной Р. А., Медведева Э. М., Пахомовский Я. А. и др. Использование ЭВМ в количественном рентгеновском микроанализе.— Завод. лаб., 1976, № 9, с. 1081—1082.
16. Лазарев А. Н., Миргородский А. П., Игнатьев И. С. Колебательные спектры сложных оксидов. Силикаты и их аналоги.— Л.: Наука, 1975.— 296 с.
17. Лазарев А. Н., Тенишева Т. Ф. Колебательные спектры и строение некоторых силикатов редкоземельных элементов.— Изв. АН СССР. Сер. хим., 1961, № 6, с. 964—973.
18. Лазарев А. Н., Тенишева Т. Ф., Бондарь И. А. Еще о полиморфизме редкоземельных пирросиликатов.— Изв. АН СССР. Сер. Неорган. материалы, 1965, 1, № 7, с. 1207—1209.
19. Победимская Е. А., Пушаровский Д. Ю., Карпов О. Г. Структурные типы редкоземельных силикатов, германатов и фосфатов.— М.: Изд-во Моск. ун-та, 1984.— 84 с.
20. Семенов Е. И., Баринский Р. Л. Особенности состава редких земель в минералах.— Геохимия, 1958, № 4, с. 314—333.
21. Скоробогатова Н. В., Костин Н. Е., Сидоренко Г. А., Столярова Т. И. Таленит из альбититов Восточной Сибири.— Докл. АН СССР, 1964, 155, № 1, с. 100—103.
22. Скоробогатова Н. В., Костин Н. Е., Сидоренко Г. А. Таленит.— Геология месторождений ред. элементов, 1966, вып. 26, с. 106—117.
23. Торопов А. Н., Бондарь И. А. Силикаты редкоземельных элементов. Сообщение 3. Диаграмма состояния двойной системы окись иттрия—кремнезем.— Изв. АН СССР. Отд. хим. наук, 1961, № 4, с. 544—550.
24. Торопов А. Н., Бондарь И. А., Лазарев А. Н., Смолин Ю. И. Силикаты редкоземельных элементов и их аналоги.— Л.: Наука, 1971.— 230 с.
25. Юхневич Г. В. Применение инфракрасной спектроскопии для изучения воды в минералах.— В кн.: Связанная вода в дисперсных системах. М., 1970, с. 11—24. (Тр. / МГУ им. М. В. Ломоносова; Вып. 1).
26. Юхневич Г. В. Инфракрасная спектроскопия воды.— М.: Наука, 1973.— 208 с.
27. Adams J. W., Hilderbrand F. A., Havens R. G. Thalenite from Teller County, Colorado.— US Geol. Surv. Prof. Pap., 1962, N 450—D, p. 6—8.
28. Benedicks C. Thalenit ein neues mineral aus Osterby in Darekarlier.— Bull. Geol. Inst. Univ. Upsala, U898, 4, pt 1, p. 1—15.
29. Felsche J. The crystal chemistry of the rare-earth silicates.— Structure and Bonding, 1973, N 13, p. 99—197.
30. Heinrich E. W. Mineralogy and geology of radioactive raw minerals.— New York, 1958.— 654 p.
31. Hillebrand W. E. The composition of yttrialite with criticism of the formule assigned to thalenite.— Amer. J. Sci., 1902, 13, p. 18—21.
32. Iio J., Johnson H. Synthesis and study of yttrialite.— Amer. Miner., 1968, 53, N 11/12, p. 1940—1952.
33. Nagashima K. J.— J. Chem. Soc. Jap., Pyre Chem. Sect., 1952, 73, p. 600. Яп.
34. Nagashima K., Kato A. Chemical studies of minerals containing rare elements from Ear East District. 60. Thalenite from Suishoyama, Kawamata-machi, Fukushima, Japan.— Bull. Chem. Soc. Jap., 1966, 39, p. 925—928.
35. Oftedal I. On the chemical composition of hellandite.— Norsk. geol. tidsskr., 1964, 44, N 1, p. 35—37.
36. Sabina A. P., Trail R. J. Catalogue of X-ray diffraction patterns and specimen mounts on the file at the geological survey of Canada.— Can. Geol. Surv., Pa., 1960, N 60—4, p. 103.
37. Schetelig J. Remarks on thalenite from new occurrences in southern Norway.— Norsk. geol. tidsskr., 1932, 12, p. 507.
38. Sjögren J. Talenit from Askagens Kvartsrott i Warmaland.— Geol. för. förhandl., 1906, 28, p. 93—101.
39. Smolin Yu. I., Shepelev Yu. P. The crystal structure of the rare earth pyrosilicates.— Acta crystallogr. B, 1970, 26, pt 26, p. 484—492.
40. Strunz H. Mineralogische tabellen.— Leipzig, 1957.— 277 p.
41. Ueda T., Nishimura Sh. A consideration of the crystal structure of yttrialite.— J. Geol. Soc. Jap., 1954, 60, N 703, p. 131—137.
42. Vogt Th. Uber talenit von Hunholmen.— Norske Videsk. Akad. Oslo, Skrift. Mat.-nat., 1922, N 1, p. 17.
43. Warshaw I., Roy R. Phase equilibria in binary rare earth—SiO₂ and rare earth—Al₂O₃ systems.— Amer. Ceram. Soc. Bull., 1959, 38, p. 169.
44. Warshaw I., Roy R. Crystal chemistry of rare earth sesquioxides, aluminates and silicates.— Nat. Sci. Found. Washington 25. D. C., Mateiral Res. Lab., Pensilvania St. Univ., 1962, p. 354.
45. Warshaw I., Roy R. Progress in the science and technology of rare earths.— New York, 1964.— Vol. 1. 215 p.

Геол. ин-т Кол. фил. АН СССР, Апатиты

Поступила 09.01.85