

Е.С.Шагалов

ШЕЕЛИТ ИЗ КВАРЦ-СУЛЬФИДНЫХ ЖИЛ БЕРЕЗОВСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Вольфрамовая минерализация известна на Урале с 1840 г., когда впервые А. Карпинский открыл, а В. Шубин [4] описал шеелит под названием тунгштейн.

В пределах Берёзовского рудного поля непродолжительное время обрабатывалось шеелитовое

Таблица 1

Простые формы кристаллов шеелита

Символ формы	$\psi_{изм}$	$\rho_{изм}$	$\Phi_{расч}$	$\rho_{расч}$
011	0°	65°	0° 00'	65° 16,5'
045	0°	60°	0° 00'	60° 04'
023	0°	55°	0° 00'	55° 22'
112	42°	55°	45° 00'	56° 55,5'
213	60°	55°	63° 26'	58° 17'
015	0°	25°	0° 00'	23° 28'
125	32°	40°	26° 34'	44° 10'
121	25°	76°	26° 34'	78° 22'
211	65°	77°	63° 26'	78° 22'
327	58°	50°	56° 18,5'	48° 12'
113	38°	40°	45° 00'	45° 40,5'
215	62°	42°	63° 26'	44° 10'
1:9:32	3°	34°	0° 35'	31° 34'
1:1:14	43°	12°	45° 00'	12° 22'
123	30°	60°	26° 34'	58° 17,5'
221	45°	80°	45° 00'	80° 45'
531	60°	85°	59° 04'	85° 29'
412	75°	75°	75° 58'	77° 24,5'
321	55°	82°	56° 18,5'	82° 43'
133	20°	65°	18° 25'	66° 24,5'
001	0°	0°	0° 00'	0° 00'
013	0°	35°	0° 00'	35° 54'
012	0°	50°	0° 00'	47° 21'
223	45°	65°	45° 00'	63° 58'

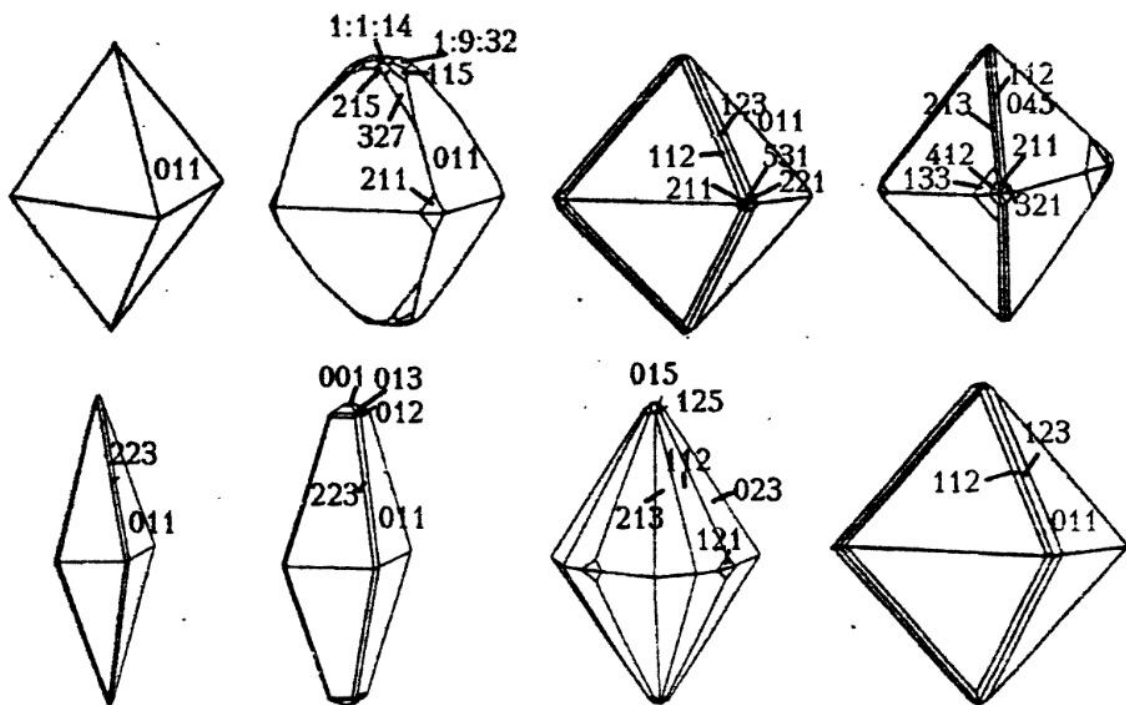


Рис. 1. Типы кристаллов шеелита Берёзовского месторождения

месторождение, но полномасштабных исследований шеелита не проводилось.

По данным Покровского В. М. и Романовской Н. Ф., осуществлявших геологоразведочные работы в 1937-1942 гг. на Берёзовском шеелитовом месторождении, шеелит выделялся в три стадии: две высокотемпературные (1 - кварц + шеелит (серый); 2 - кварц + турмалин + шеелит (желтовато-белый) + карбонаты) и среднетемпературную (3 - кварц + сульфиды + золото + шеелит (оранжевый)).

Далее рассматривается шеелит третьей стадии, для которого выделены две генерации, отличающиеся по кристалломорфологическим признакам.

Кристаллы, пригодные для морфологического изучения, отбирались под бинокулярным микроскопом МБС-2 и измерялись на четырехосном федоровском столике. Юстировка производилась по ребрам [100]. Угловые координаты определялись с точностью до 2° . Всего исследовано 30 кристаллов.

Химический состав шеелитов определялся в аналитической лаборатории Испытательного центра Института Геофизики РИА методом рентгеноспектрального флуоресцентного анализа на аппаратах "Спектроскан" и "БАРС-3" (аналитик Глушкова Т.А.), а также спектральным анализом на аппарате ИСП-28 в лаборатории УНЦ УГГГА (аналитик Мариева А.Н.). Рентгенометрическое изучение проводилось в лаборатории рентгеноструктурного анализа УНЦ УГГГА (аналитик Сапожникова Н.Г.). Съёмка дифрактограмм для расчета параметров элементарной ячейки производилась на рентгеновском дифрактометре ДРОН-0.5 в интервале углов $32-37^\circ$ при скорости движения счетчика $0.5^\circ/\text{мин}$. При недостатке материала для съёмки на рентгеновском дифрактометре препарат готовился в форме шарика из резинового клея для съёмки фотометрическим методом на аппарате УРС-2.0 в камере РКД диаметром 57,3 мм.

Шеелит из кварц-сульфидных жил образует кристаллы, сростки кристаллов и друзовые агрегаты, формирующие рудные гнезда. Наиболее часто он ассоциирует с кварцем, пиритом, теннантитом и карбонатами, реже апатитом, галенитом и айкинитом. Исследования автора показали преобладание теннантитовой составляющей блеклых руд, что противоречит данным Б. В. Чеснокова, установившего, что шеелит тяготеет к зоне развития тетраэдритовых блеклых руд [3].

Изученный шеелит окрашен более ярко, чем высокотемпературный шеелит. Его цвет изменяется от светло-желто-оранжевого до густо-красно-оранжевого. Часто шеелит генерации II окрашен преимущественно светлее, чем шеелит генерации I.

Размер кристаллов шеелита варьирует в широких пределах от десятых долей мм до 3-5 см по ребру [100]. Наиболее часто встречаются кристаллы размером 0,5-0,7 см по ребру [100]. Причем

Химический состав шеелитов

№ пробы	CaO	WO ₃	MoO ₃	FeO	MnO	SrO	CuO	Кристаллохимическая формула
1	21,5	79,5	0,2	0,05*	0,5*	Не опр.	0,012	Ca _{1,08} W _{1,97} O ₄
4	20,8	78,9	0,2	0,05*	0,7*	"-	0,017	Ca _{1,06} W _{0,98} O ₄
5	21,8	78,3	0,2	0,07*	0,5*	"-	0,015	Ca _{1,1} W _{0,96} O ₄
9	21	78,9	0,2	0,07*	0,5*	"-	0,0085	Ca _{1,08} W _{0,97} O ₄
10	20	75,5	0,2	0,1*	0,7*	"-	0,005	Ca _{1,06} W _{0,98} O ₄
11	16,5	70,8	0,2	0,3*	0,5*	"-	0,0086	не рассчитывалась
23	19,02	80,86	0,13	0	0	0	Не опр.	Ca _{0,98} W _{1,01} O ₄
25	19,23	80,61	0,03	0	0,08	0	"-	Ca _{0,99} WO ₄
28	19,5	80,49	0	0	0	0	"-	CaWO ₄
48	20,02	79,25	0,18	0,03	0,11	0,36	"-	(Ca _{1,01} Sr _{0,01}) _{1,02} W _{0,97} O ₄
49	20,59	79,29	0,04	0	0	0	"-	Ca _{1,03} W _{0,96} O ₄
59	20,08	79,87	0	0	0	0	"-	Ca _{1,02} W _{0,98} O ₄
60	19,48	79,75	0	0,02	0,06	0,69	"-	(Ca _{0,99} Sr _{0,02}) _{1,01} W _{0,96} O ₄
62	19,28	79,99	0	0	0	0,69	"-	(Ca _{0,99} Sr _{0,02}) _{1,01} W _{0,96} O ₄
13	19,86	79,19	0,06	0,14	0,11	0,57	"-	(Ca _{1,02} Sr _{0,02} Fe _{0,01}) _{1,03} W _{0,97} O ₄
17	20,01	79,78	0,12	0,04	0,02	0	"-	Ca _{1,02} W _{0,98} O ₄
22	19,41	80,31	0,06	0,11	0,01	0	"-	CaWO ₄
75	19,25	80,56	0,19	0	0	0	"-	Ca _{0,99} WO ₄
7	20,72	69,54	9,57	0,04	0,13	0	"-	Ca(W _{0,81} Mo _{0,18}) _{1,00} O ₄
67	20,22	78,61	0,94	0,13	0,08	0	"-	(Ca _{1,02} Fe _{0,01}) _{1,03} (W _{0,98} Mo _{0,02}) _{0,98} O ₄

Примечание. Звездочкой отмечены данные полуколичественного спектрального анализа. 1-62 - Березовское месторождение, 23-75 - Шарташский массив, 7-67 - Гумбейское месторождение

шеелит генерации II образует более мелкие кристаллы по сравнению с кристаллами шеелита генерации I. Визуально кристаллы можно разделить на длиннодипирамидальные ($a:c \geq 1:2$) и псевдооктаэдрические ($a:c \leq 1:1,5$), или короткодипирамидальные (70 и 30 % исследованных образцов соответственно)

Индивиды шеелита обычно непрозрачны, но встречаются кристаллы с повышением прозрачности к внешним зонам; изредка отмечаются полностью прозрачные разности. Кристаллы шеелита по трещинам спайности замутнены эпигенетическими одно- и двухфазовыми газовой-жидкими включениями. Размер газовой-жидких включений редко превышает 0,01 мм. Твердость по шкале Мооса - 4,5. Расчетная плотность повышается от шеелита генерации I, у которой $\rho = 6,03 - 6,07$ г/см³ к шеелиту генерации II, имеющей $\rho = 6,08 - 6,10$ г/см³. Спайность по {101} ясная, по {112} прерывистая, по {001} обычно неясная [2]. Кристаллы I генерации не люминесцируют.

На кристаллах установлены 24 простые формы (табл. 1) - пинакоид и тетрагональные дипирамиды (рис. 1). Из них {213}, {015}, {328}, {1:9:32}, {1:1:14}, {215}, {221}, {223}, {531}, {412}, {321} и {133} в литературе ранее не описывались. Габитусными гранями на кристаллах шеелита являются тетрагональные дипирамиды {023}, {011}, {045}, все остальные простые формы - притупляющие для вершин и ребер кристаллов. Наиболее часто встречается комбинация 2, 3, 6, 7 простых форм. Большое количество простых форм свидетельствует о медленном росте кристаллов.

Кристаллообразующие грани имеют скульптуру роста и растворения: разноориентированную штриховку, бугорки роста, блочность, индукционные грани, конуса травления. Штриховка часто резко выраженная, параллельна ребрам [101], [101] и [100]. Бугорки роста круглые, овальные или сложной формы размером до 0,1 мм у основания. Они приурочены к винтовым дислокациям в структуре минерала. Индукционные грани возникают в местах соприкосновения кристаллов шеелита с индивидами карбонатов и пирита, что свидетельствует об их совместном росте.

Параметры элементарной ячейки шеелитов

N п/п	N обр.	Характеристика образца	Вариации значений параметров		Среднее значение параметров
			a ₀	c ₀	
1	1	Шеелит гене- рации II	5,25184--5,25394 5,253(2)	11,3938--11,42384 11,409 (2)	a ₀ =5,253±0,001 c ₀ =11,409 ± 0,015 a ₀ :c ₀ =1:2,1719
2	2	Шеелит гене- рации II	5,2525--5,2543 5,253(2)	11,391--11,3724 11,38(2)	a ₀ =5,253 ± 0,001 c ₀ =11,38 ± 0,009 a ₀ :c ₀ =1:2,1664
3	3	Шеелит гене- рации I	5,2495--5,25248 5,251(4)	11,3623--11,4210 11,39(4)	a ₀ =5,2511±0,0015 c ₀ =11,39±0,03 a ₀ :c ₀ =1:2,1691
4	4	Шеелит гене- рации I, светлый	5,25245--5,25312 5,253(2)	11,39376--11,4254 11,41(2)	a ₀ =5,253±0,0003 c ₀ =11,41±0,015 a ₀ :c ₀ =1:2,1721
5	4,1	Шеелит гене- рации I, темный	5,24557--5,2541 5,251(4)	11,3752--11,45712 11,405(4)	a ₀ =5,251±0,004 c ₀ =11,405±0,04 a ₀ :c ₀ =1:2,1720
6	4,2	Шеелит гене- рации II	5,24932--5,25157 5,251(2)	11,27095--11,3906 11,331(2)	a ₀ =5,251±0,0015 c ₀ =11,331±0,06 a ₀ :c ₀ =1:2,1579
7	5	Шеелит гене- рации I	5,25337--5,25436 5,254(2)	11,39992--11,5007 11,45(2)	a ₀ =5,254±0,0005 c ₀ =11,45±0,05 a ₀ :c ₀ =1:2,1793
8	7	Шеелит гене- рации II (дебайгр.)	5,2285--5,2350 5,232(2)	11,3820--11,5319 11,445(3)	a ₀ =5,232±0,003 c ₀ =11,445±0,075 a ₀ :c ₀ =1:2,1875
9	10	Шеелит гене- рации II	5,24787--5,25436 5,251(2)	11,42784--11,4458 11,437(2)	a ₀ =5,251±0,004 c ₀ =11,437±0,008 a ₀ :c ₀ =1:2,1781
10	11	Высокотемпера- турный шеелит	5,25436--5,25506 5,255(2)	11,33978--11,3938 11,367(2)	a ₀ =5,255±0,0007 c ₀ =11,367±0,027 a ₀ :c ₀ =1:2,1631

Примечание. В графах "вариации параметров" в первой строке указаны минимальные и максимальные значения, во второй - средние, в скобках - количество пересчетов.

В ряде образцов видно, что грани пинакоида и прилегающие к нему грани дипирамиды {013} подверглись селективному травлению. Иногда минерал подвергался более глубокому растворению. Сильно протравленные кристаллы, особенно вследствие тектонического растрескивания, характеризуются изменением облика от длиннодипирамидального к таблитчатому и образованием отрицательных углублений (ось которых совпадает с осью [001] кристалла) с положительными конусами-останцами между ними. В других направлениях травление развивалось путем закругления ребер и постепенного растворения округлой поверхности. Это явление может быть связано с изменением щелочной среды на слабокислую с последующим прогрессивным увеличением кислотности [1].

Типоморфная особенность шеелита кварц-сульфидных жил - близость его к стехиометрическому составу, в отличие от высокотемпературного шеелита.

Сумма наиболее значимых элементов примесей в шеелитах Березовского рудного поля (включая Шарташский массив) не превышает 1% (табл. 2). Содержание основных элементов Ca и W

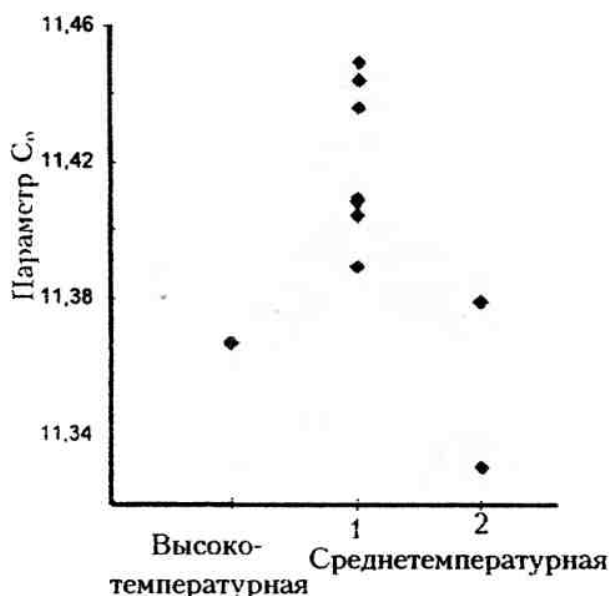


Рис. 2. График зависимости параметра c_0 от генерации

колеблется в незначительных пределах $\pm 1-2\%$. Примесь Mo в сравнении с наиболее чистыми шеелитами Гумбейского месторождения (п.б.7 табл. 2) незначительна и составляет 0-0.2 мас.%, что соответствует до $n \cdot 10^{-3}$ формульных единиц (ф.е.). В некоторых случаях содержится примесь Sr, составляющая 0-0.69 мас.% (0,02 ф.е.). Несколько различается содержание Fe в шеелитах из кварц-сульфидных жил Березовского месторождения и жил в гумбеитах Шарташского массива 0-0,03 мас.% и 0-0,14 мас.% соответственно. Си присутствует во всех образцах и составляет $<0,005-0,017$ мас.%, что соответствует $n \cdot 10^{-4}$ ф.е. По данным Чеснокова [5], шеелит - один из наиболее золотоносных среди распространенных нерудных минералов, содержание золота 0,7 г/т (анализ 1, шахта "Южная")

Полуколичественным спектральным анализом обнаружены только примеси Cu, Mo, Ti, Fe, Mn, составившие: Ti - 5 - $50 \cdot 10^{-3} \%$, Mn - 0,5 - $0,7 \cdot 10^{-3} \%$, Fe - 0,05 - 0,1%; Cu и Mo определялись количественно (табл. №2), содержание TR ниже порога чувствительности прибора.

По данным рентгеноструктурного анализа, параметр a_0 изменяется от 5,251 до 5,254 Å и не может служить определяющим признаком. В то же время параметр c_0 для шеелитов разновременных генераций различается и составляет 11,39-11,45 Å для первой генерации и 11,331-11,38 Å - для второй. Для сравнения рассчитаны параметры элементарной ячейки высокотемпературного шеелита Березовского месторождения. У последнего параметр a_0 чуть выше, чем у среднетемпературного шеелита, и составляет 5,255 Å, а параметр c_0 соизмерим с параметрами c_0 среднетемпературного шеелита и составляет 11,367 Å (табл. 3). По данным рентгеноструктурного анализа построен график

Таблица 4

Последовательность минералообразования в кварц - сульфидных жилах с шеелитом

Минерал	Период кристаллизации	
	Кварц-пиритовая стадия	Золото-сульфидная стадия
Пирит	-----	
Айкинит		---
Галенит		---
Теннантит		-----
Халькопирит	·	---
Марказит		---
Кварц	-----	
Шеелит ген. I	-----	
Шеелит ген. II		---
Апатит	---	
Доломит		-----
Кальцит		-----

зависимости параметра c_0 и генерации шеелита, показывающий повышение параметра c_0 во время кристаллизации первой генерации (рис. 2).

На основе изучения порядка кристаллизации минералов в образцах определено место шеелита в последовательности минералообразования в кварц-сульфидных жилах (табл.4).

Шеелит кристаллизовался после пирита кубического габитуса, апатита, кварца, перед пиритом пентагондодекаэдрического габитуса и доломитом генерации I.

Кристаллы изученного шеелита имеют хорошие декоративные свойства и популярны у коллекционеров, используются в качестве редкого ограночного сырья. В дальнейшем возможна добыча шеелита из золотоносных кварц-сульфидных жил при комплексной разработке месторождения.

Список литературы

1. Буканов В. В., Юшкин Н. П. Физическое и химическое разрушение кристаллов шеелита // Минералогия и геохимия вольфрамовых месторождений. Л., 1971. С.181-190.
2. Дэна Дж. Д., Дэна Э. С., Пэлач Ч, Берман Г, Фрондель К. Система минералогии. Том 2, полутом 2. М.: И. Л.1954. С. 530-536.
3. Чесноков Б.В. Минералогическое картирование (на примере Березовского месторождения на Среднем Урале) // Минералогия и петрография Урала. Свердловск, 1975. Тр. Свердл. горн. ин-та. Вып. 106.
4. Шубин В. Испытания и химическое разложение тунгштейна, вновь найденного в дачах Екатеринбургских заводов// Горн. журн. 1841. Кн. 3. С. 328-329.