

Г. П. БАРСАНОВ, К. М. КУЗНЕЦОВ  
ОСОБЕННОСТИ КАССИТЕРИТА  
ИЗ ГРАНИТНЫХ ПЕГМАТИТОВ  
ЦЕНТРАЛЬНОГО КАВКАЗА

Исследованиями, проведенными главным образом в довоенный период, установлено широкое распространение касситерита в пегматитовых образованиях зоны Главного Кавказского хребта. Сведения о некоторых особенностях этого минерала приводятся в работах С. И. Талдыкина и П. Ф. Бочкова (1939), Е. В. Кузнецовой (1939), Я. Д. Готмана (1938, 1941). В последние годы авторами настоящей статьи получены новые данные об особенностях касситерита из гранитных пегматитов Кавказа, о содержаниях и формах проявления тантала и ниобия и влиянии этих элементов-примесей на некоторые физические свойства минерала.

В пределах отдельных пегматитовых полей Кавказа наблюдается отчетливая приуроченность касситерита к пегматитам, измененным в той или иной степени процессами альбитизации и грейзенизации. Распределение касситерита внутри пегматитовых тел связано с их зональным строением, обусловленным чередованием полос микроклин-альбитового, кварц-альбитового и кварц-мусковитового замещающих комплексов.

Выделения касситерита нередко наблюдаются в кварц-альбитовом замещающем комплексе, широко развитом в центральных частях пегматитовых тел. Минерал встречается в виде мелких, редких, но сравнительно равномерно распределенных кристаллов. Размеры зерен в большинстве случаев составляют доли миллиметра; причем наблюдается некоторая зависимость размеров кристаллов от величины зерен альбита — основного порообразующего минерала комплекса. В сахаровидном альбите размеры выделений касситерита обычно не превышают 0,5—1,9 мм, в клеветандите встречаются зерна до 3—5 мм.

Однако основная масса касситерита приурочена к отдельным линзам и полосам грейзенового замещающего комплекса. Касситерит этой генерации образует крупные гнездовые скопления, вытянутые обычно в виде цепочек согласно простиранию зон. Часто появляется тенденция минерала отлагаться преимущественно у всякого контакта пологопадающих пегматитовых тел. Касситерит наблюдается в виде изометричных зерен, лишенных, как правило, собственных кристаллографических очертаний. Иногда в протолочках отмечаются мелкие кристаллы дипирамидальной формы. Грани кристаллов в этом случае хорошо образованы, имеют яркий алмазный блеск. По заключению некоторых исследователей (Болдырева, 1941; Григорьев, Доломанова, 1951; Корнетова, 1961), данный облик кристаллов является типичным для касситерита из пегматитовых образований.

В полированных образцах касситерит имеет матовый бледно-серый цвет. Эффекты анизотропии в скрещенных николях весьма четкие. Внут-

ренные рефлексы желтые, желтовато-коричневые. Часто наблюдаются двойники по (101). Для минерала характерна структурная неоднородность, особенно отчетливо наблюдаемая после обработки поверхности полировки разбавленной HCl в присутствии цинка. Неоднородность проявляется в последовательном чередовании различно травящихся участков. Количественные соотношения между этими участками разные. Преобладают слабо травящиеся участки, располагающиеся обычно в центральных частях зерен. Поверхность таких участков отличается от первоначальной лишь более матовым темно-серым цветом. Участки, травящиеся сильно, характеризуются ямчатой поверхностью и в виде четко ограниченных зон прослеживаются, как правило, по периферии зерен. Изучение минерала в проходящем свете позволило выяснить, что сильно травящиеся участки соответствуют слабо окрашенным зонам, приуроченным к краям зерен.

Наличие различно окрашенных разновидностей установлено также при изучении касситерита под бинокулярной лупой. В общей массе преобладают смоляно-черные осколки, слабо просвечивающиеся в тонких сколах, среди которых встречаются светлые коричневато-бурые, хорошо просвечивающиеся. Обе разновидности резко различны по магнитным свойствам. При электромагнитной сепарации основная масса светлых зерен попадает в немагнитную фракцию. Большинство темных зерен притягивается к полюсам электромагнита даже при небольших напряжениях поля. Указанные особенности позволили выделить монофракции обеих разновидностей касситерита, определить их удельный вес, твердость, отражательную способность, проанализировать спектральным и химическими методами и провести рентгенометрические исследования.

Микротвердость касситерита, измеренная на поверхности полированных зерен с помощью прибора ПМТ-3, соответствует значению  $1186 \text{ кг/мм}^2$  для светлой и  $980 \text{ кг/мм}^2$  для черной разновидности минерала. Отражательная особенность, определенная при помощи фотоэлемента в белом свете, оказалась близкой к 12,6% для обеих разновидностей минерала.

Рентгеноструктурное изучение выделенных монофракций касситерита проводили по методу Дебая на нефилтрованном железном излучении (40 кВ, 16 мА) в лаборатории кафедры кристаллографии МГУ. Значения межплоскостных расстояний приведены в табл. 1.

Пересчетом (Азаров, Бургер, 1961) установлено, что параметры элементарных ячеек кристаллов касситерита соответствуют следующим значениям:

Для светлой разновидности:

$$a_0 = 4,731 \pm 0,005; c_0 = 3,184 \pm 0,005 \text{ \AA}.$$

Для темной разновидности:

$$a_0 = 4,735 \pm 0,005; c_0 = 3,187 \pm 0,005 \text{ \AA}.$$

При сравнении полученных данных легко видеть, что значения межплоскостных расстояний и параметров элементарных ячеек касситерита из различно окрашенных зон очень близки и не выходят за пределы ошибок определений.

Результаты химических и спектральных анализов свидетельствуют наличии в исследованных образцах касситерита химических элементов примесей (Ta, Nb, Fe, Mn, Zr, Ti, Sc), которые, по заключению целого ряда исследователей (Боровик, Готман, 1939; Фиолетова, 1940; Болдырева, 1941; Григорьев, Доломанова, 1951; Дудыкина, 1959; Корнетова, 1961 и др.), характерны для касситерита из гранитных пегматитов и в некоторых случаях могут иметь существенное значение для диагностики минералов.

Приведенные в табл. 2 результаты химических анализов свидетельствуют о довольно высоких содержаниях в касситерите тантала, ниобия,

Межплоскостные расстояния касситерита, обр. 5

hkl	Светлый		Черный		hkl	Светлый		Черный	
	$\frac{d_\alpha}{n}$	I	$\frac{d_\alpha}{n}$	I		$\frac{d_\alpha}{n}$	I	$\frac{d_\alpha}{n}$	I
110	3,3386	10	3,3421 [2,9725]	10 4	301	1,4151	5	1,4162	5
101	2,6397	10	2,6410	10	202	1,3194	3	1,3202	2
200	2,3678	4	2,3711	4	321	1,2137	6	1,2141 [1,2049]	6 2
200	2,3678	3	1,7631 [1,7259]	10 2	400	1,1836	2	1,1843	2
220	1,6739	6	1,6752	5	222	1,1509	5	1,1546	4
002	1,5882	4	1,5893	4	330	1,1158	5	1,1161	3
310	1,4955	3	1,4971 [1,4670]	4 3	312	1,0893	6	1,0962	6
					411	1,0808	7	1,0810	5
					420	0,0592	6	1,0602	5
112	1,4367	4	1,4382	4	103	1,0371	3	1,0373	3

Примечание. Значения межплоскостных расстояний, взятые в квадратные скобки, соответствуют отражениям колумбит-танталита, присутствующего в касситерите в виде самостоятельной фазы.

Таблица 2

Химический анализ касситерита (в вес. %)

Компоненты	Светлый	Темный	Без разделения (Готман, 1941)	Компоненты	Светлый	Темный	Без разделения (Готман, 1941)
TiO <sub>2</sub>	0,36	0,20	0,08	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,28	1,60	2,26
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,28	0,18	0,38	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,90	1,95	—
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,05	0,09	0,71	WO <sub>3</sub>	Не опр.*	Не опр.*	—
FeO	0,20	0,69	—	ZrO <sub>2</sub>	0,18	0,16	—
MnO	0,02	0,06	0,045	SnO <sub>2</sub>	95,94	93,95	95,88
MgO	—	—	—	П.п.п.	0,47	0,44	0,51
				Сумма	100,01	100,30	100,62
				Аналитик	С. А. Абрамова	М. А. Полюбинская	М. А. Полюбинская

\* Спектральными полуколичественными анализами присутствие вольфрама в касситерите не установлено.

циркония и титана. Кроме указанных элементов, спектральными количественными анализами в минерале обнаружены бериллий — 0,01% (в обеих разновидностях) — и скандий — до 0,01% в темной и 0,003% в светлой разновидности.

Анализируя данные спектральных и химических анализов, следует отметить, что наличие кремния и алюминия объясняется присутствием в исследованных пробах кварца и полевого шпата, с которыми касситерит тесно сростается. Наличие ZrO<sub>2</sub> объясняется присутствием циркона. Присутствие титана можно объяснить изоморфизмом с оловом вследствие близости ионных радиусов и кристаллических структур. Не исключена возможность наличия в касситерите мелких включений рутила, на что указывают данные рентгеновского анализа (Григорьев, Доломанова, 1951). Форма нахождения

ния бериллия до настоящего времени не выяснена, хотя элемент широко распространен в касситеритах из пегматитов. О форме вхождения скандия в касситерит существует две точки зрения. В. М. Гольдшмидтом высказано предположение о том, что скандий входит в оловянный камень в качестве  $\text{ScNbO}_4$  и  $\text{ScTaO}_4$  (Гольдшмидт, Петерс, 1938). Л. Ф. Борисенко (1959), пересчитав химические и спектральные анализы, показал, что более вероятно изоморфное замещение в касситерите иона олова ( $\text{Sn}^{4+}$ ) ионом скандия ( $\text{Sc}^{3+}$ ).

Особый теоретический и, возможно, практический интерес в касситерите представляют тантал и ниобий. Следует отметить, что вопрос о форме вхождения этих элементов в касситерит имеет довольно продолжительную историю. Весьма примечательно то обстоятельство, что первоначально господствовало мнение об изоморфизме между оловом, танталом и ниобием (Schaller, 1912; Фиолетова, 1940; Quensel, 1951). Однако более поздние исследования позволили установить в природных образцах наличие двух самостоятельных фаз: касситерита и колумбита (Amark, 1944; Кузнецов, 1947; Рамдор, 1962) или касситерита и тапиолита (Newhaus, Noll, 1949; Григорьев, Доломанова, 1951; Корнетова, 1961). В результате обработки большого количества химических анализов оловосодержащих колумбитов и танталоносных касситеритов А. И. Гинзбургом была построена диаграмма системы  $(\text{Ta}, \text{Nb})_2\text{O}_5 - (\text{Fe}, \text{Mn})\text{O} - \text{SnO}_2$ , из которой видно, что между касситеритовой и колумбитовой фазами нет никаких переходов (Гинзбург, 1946). Качественно выполненный химический анализ касситерита позволил В. А. Корнетовой осуществить пересчет и установить, что железо и марганец, обычно сопутствующие в касситеритах танталу, ниобию и вольфраму, входят в состав минералов-примесей: тапиолита и вольфрамита (Корнетова, 1961).

Эти обстоятельства заставили многих исследователей отнестись к явлениям изоморфных замещений с большой осторожностью и направить усилия на совершенствование методов лабораторных исследований. Особый интерес в этом отношении представляет электронномикроскопическое изучение касситерита, проведенное работниками ИГЕМ АН СССР Г. С. Грицаенко и Р. В. Боярской, в результате которого в минерале установлено большое количество включений, различных по форме, величине и взаимной ориентировке. Исследования позволили авторам не только наблюдать гетерогенность, стоящую по размерности за пределами световой оптики, но с помощью реплик с извлечением производить исследования выявленных фаз (Грицаенко, Боярская, 1965).

Таким образом, результаты лабораторных изучений не подтверждают выдвинутое ранее предположение об изоморфном вхождении тантала и ниобия в кристаллическую решетку касситерита. Однако некоторые исследователи, в частности С. Д. Попов (1966), продолжают развивать прежние представления, предлагая новые схемы изоморфных замещений. Правда, признавая фактические данные некоторых исследователей, С. Д. Попов пытается найти компромиссное решение, объясняя, что присутствие ниобия в кристаллической решетке касситерита, с одной стороны, — следствие изоморфного изовалентного замещения олова преимущественно четырехвалентным и реже пятивалентным ниобием, а с другой — результат захвата тонкодисперсного колумбита в кристаллическую решетку касситерита в процессе его кристаллизации.

Исследования, проведенные авторами настоящей статьи, позволили установить в касситерите из пегматитов Центрального Кавказа присутствие двух тантало-ниобиевых минералов: колумбит-танталита и его тетрагональной разновидности — тапиолита. Пересчеты химических анализов, представленных в табл. 2, позволили выяснить, что тантал и ниобий как в темной, так и в светлой разновидности касситерита почти без участия связываются с железом и марганцем в химическую формулу

## Удельный вес касситерита

Характеристика касситерита	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Уд. вес	Исследователь
Без разделения (месторождение Билягидон) . . . . .	2,26	Не опр.	6,90	Готман, 1941
Без разделения (месторождение Чегем) . . . . .	2,78	» »	6,94	» »
Светлый (обр. 5) . . . . .	1,18	3:1	6,92	Кузнецов, 1967
Темный . . . . .	Не опр.	Не опр.	6,97	Михейкин, 1961
» (обр. 5) . . . . .	3,55	1:1,85	7,06	Кузнецов, 1967

(Fe, Mn)·(Ta, Nb)<sub>2</sub>O<sub>6</sub>, одинаково характерную для обоих тантало-ниобатов

Количественно-минералогические подсчеты показывают, что около 60% тантала и ниобия в касситерите приходится на колумбит-танталит образующий сравнительно крупные выделения. Остальное количество этих элементов связывается с тапиолитом, включения которого в большинстве случаев измеряются микронами и их долями. При этом наличие очень мелких включений тапиолита, как это отмечалось некоторыми исследователями (Григорьев, Долманова, 1951; Грицаенко, Боярская 1965), существенно влияет на окраску касситерита. В светлом касситерите содержание тапиолита значительно уменьшается и, судя по Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, минерал представлен существенно танталовой разностью (табл. 3)<sup>1</sup>. Учитывая количественные соотношения тантало-ниобиевых минералов и результаты химического анализа темной разновидности касситерита, можно высказать предположение о том, что колумбит-танталит по составу соответствует промежуточному члену изоморфного ряда с некоторым преобладанием ниобия над танталом. Содержание железа при этом значительно превалирует над марганцем в обоих тантало-ниобиевых минералах.

Присутствие в касситерите тантало-ниобатов заметно сказывается на его удельном весе. С увеличением Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>+Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> удельный вес касситерита увеличивается (табл. 3). Существенную роль при этом играет соотношение тантала и ниобия. Только танталовые разности минеральных групп колумбит-танталита и мооссит-тапиолита могут иметь удельный вес выше 6,7— удельного веса химически чистого касситерита, искусственно полученного Добре (Бетехтин, 1951).

Увеличение удельного веса касситерита из пегматитов Центрального Кавказа объясняется, по-видимому, присутствием тапиолита, удельный вес которого должен находиться в пределах 6,9—7,9; причем в существенно танталовых разностях ближе к последней величине (Бетехтин, 1951).

Включения тантало-ниобиевых минералов отчетливо наблюдаются в полированных зернах касситерита при обычных увеличениях (рис. 1).

Выделения тапиолита характеризуются неправильной формой иногда близкой к округлой. Размеры включений варьируют в пределах от долей миллиметра до долей микрона. По твердости минерал несколько отличается от касситерита и колумбит-танталита, что заметно проявляется в рельефе. Для сравнения приводятся величины твердости (в кг/мм<sup>2</sup>) измеренные для всех трех минералов в одном зерне касситерита прибором ПМТ-3:

Касситерит . . . . .	1170
Тапиолит . . . . .	836
Колумбит-танталит . . . . .	705

<sup>1</sup> Влияние колумбит-танталита должно быть незначительным, так как для химического анализа под бинокулярной лупой отбирали прозрачные зерна касситерита лишенные видимых включений.

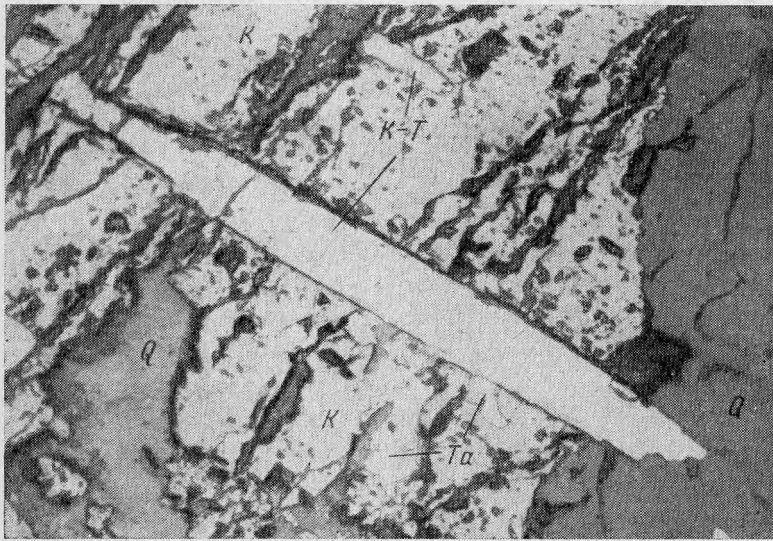


Рис. 1. Срастания касситерита (*K*) с тапиолитом (*Ta*) и колумбит-танталитом (*K—T*). Полированный шлиф, увел. 60

В отраженном свете тапиолит заметно анизотропный, внутренние рефлексы, отчетливо наблюдаемые в иммерсии, бурые, иногда малиновые. Для минерала характерны двойники, по которым он отличается от колумбит-танталита.

Более уверенно принадлежность исследованного минерала к тапиолиту была установлена после рентгенометрического анализа. Материал из вrostков минерала отбирали при помощи острия алмазной пирамиды прибора ПМТ-3 и затем вносили в шарики из резинового клея по методу, предложенному Hiemstra (1956). Съемку рентгенограммы производили

Таблица 4

Межплоскостные расстояния тапиолита

<i>hkl</i>	Крупные выделения (обр. 37)		Вrostки в касситерите (обр. 5)		<i>hkl</i>	Крупные выделения (обр. 37)		Вrostки в касситерите (обр. 5)	
	$\frac{d_x}{n}$	<i>I</i>	$\frac{d_x}{n}$	<i>I</i>		$\frac{d_x}{n}$	<i>I</i>	$\frac{d_x}{n}$	<i>I</i>
101	4,21	2	4,23	1	323	1,213	6	1,215	4
110	3,36	9	3,37	10	400	1,190	2	—	—
103	2,57	10	2,58	10	226	1,135	4	1,138	3
200	2,37	5	2,37	6	330	1,122	4	1,124	2
113	2,26	1	2,27	1	316	1,077	6	1,075	4
211	2,07	1	—	—	420	1,064	3	1,064	2
212	1,93	4	1,94	3	510	0,934	5	0,933	2
213	1,753	10	1,756	9	336	0,909	8	0,910	5
220	1,682	4	1,684	2	426	0,876	5	0,875	3
006	1,530	3	1,538	3	2.0.10	0,862	4	0,861	2
310	1,504	5	1,503	3	523	0,850	7	0,852	4
303	1,410	8	1,410	6	440	0,840	1	—	—
116	1,398	2	1,402	2	443	0,808	4	—	—
206	1,291	3	1,291	1	525	0,799	4	—	—

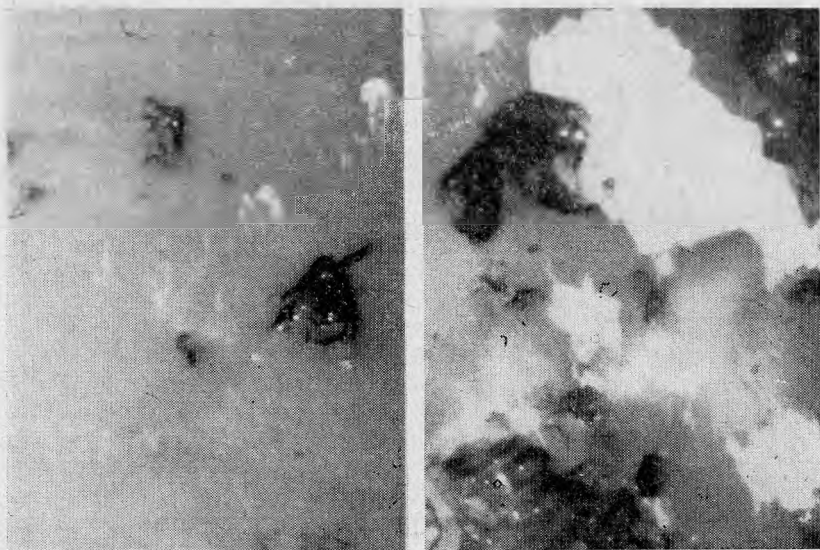


Рис. 2. Выделения тапиолита (светлое) и в касситерите (серое). Полир. шлиф, в иммерсии, увел. 722

в камере РКД-57,3 на нефилтрованном железном излучении (40 кэ, 16 мк). Для сравнения в табл. 4 приведены значения межплоскостных расстояний исследованного образца и тапиолита, образующего крупные скопления в пегматитах этого месторождения (Барсанов, Кузнецов, 1968).

Приведенные в таблице значения межплоскостных расстояний тапиолита из микроростков близко совпадают с данными других исследователей (Чень Дэ-цянь, Сидоренко, 1962; Рудовская, 1962).

В зернах касситерита выделения тапиолита распространены неравномерно. Наиболее крупные выделения минерала, измеряемые десятками и сотыми долями миллиметра, отмечаются чаще всего по периферии зерен касситерита. Включения характеризуются неправильной иногда округлой и каплеобразной формой и неровными контурами с частыми ответвлениями. Иногда в непосредственной близости от крупных включений тапиолита отмечаются очень тонкие, нитевидные выделения этого минерала (рис. 2). Часто крупные выделения тапиолита в отличие от колумбит-танталита окружены осветленными ореолами отчетливо наблюдаемыми в прозрачных шлифах.

Электронномикроскопические исследования, проведенные Н. И. Сергеевой на кафедре минералогии геологического факультета МГУ позволили установить в касситерите наличие мелких выделений рудного минерала, размеры которых измеряются долями микронов. Для включений характерны удлиненная форма и крайне неравномерное распределение. Часто выделения образуют зоны. По аналогии с исследованиями Г. С. Грицаенко и Р. В. Боярской (1966) эти субмикроскопические включения следует отнести к тапиолиту. Количество мелких включений заметно увеличивается в темноокрашенном касситерите где выделения минерала образуют густую сетку. Этим обстоятельством по-видимому, и объясняется слабое протравливание в касситерите темноокрашенных зон по сравнению со светлоокрашенными. Наличие значительного количества очень мелких включений, прочно сросшихся с касситеритом, тормозит реакцию восстановления олова.

Закономерное распределение тапиолита по зонам роста касситерита свидетельствует об одновременной или почти одновременной кристаллизации мелких включений тапиолита и касситерита (Григорьев, Д.

ломанова, 1951). Появление крупных, редко встречающихся выделений тапиолита связано, по-видимому, с процессами последующей перекристаллизации и укрупнения индивидов. Об этом свидетельствует неправильная, иногда округлая и каплеобразная форма выделений, характерная при перекристаллизации, как отмечал П. Рамдор (1962), даже для минералов с обычно резко выраженной склонностью к образованию пластинчатых или игольчатых форм.

Выделения колумбит-танталита в отличие от выделений тапиолита характеризуются более крупными размерами. Включения минерала в большинстве случаев измеряются долями миллиметра; иногда их размеры достигают в длину 1,0—1,5 мм.

В связи с темной окраской касситерита выделения колумбит-танталита неразличимы под биноклем. Черные пластинчатые включения минерала рельефно выделяются на светлой пленке металлического олова после обработки зерен касситерита соляной кислотой в присутствии цинка (рис. 3,4).

В полированных шлифах колумбит-танталит наблюдается в виде выделений таблитчатой и пластинчатой формы с резкими прямолинейными контурами. Поверхность зерен чистая. Минерал резко анизотропный. Цвет светло-серый со слабым кремоватым оттенком. Внутренние рефлексы отчетливые темно-красные. Отражательная способность выше, чем у окружающего касситерита. В некоторых включениях колумбит-танталита наблюдается система тонких трещин, ориентированных по удлинению зерен.

Сопоставление измеренной микротвердости (табл. 4) с данными С. И. Лебедевой (1963) позволило установить, что исследованный образец соответствует по химическому составу среднему члену колумбит-танталитового ряда с приблизительно одинаковым содержанием тантала и ниобия.

Рентгенометрические исследования колумбит-танталита проводились методом, описанным выше. Значения межплоскостных расстояний изученного минерала и танталита из пегматитов Ильменских гор (Михеев, 1957) приводятся в табл. 5. Следует отметить, что зерна колумбит-танталита для исследований были извлечены из фракции раздробленного касситерита 0,25 + 0,1 мм методом электромагнитной сепарации.

Некоторые особенности дифракционной картины изученного минерала, в частности смещение отражения 260 в сторону сильного отражения 162, дают основание отнести ее к I типу дифракционных картин, выделенных Н. М. Кумсковой (1962) для колумбитов. Особенно

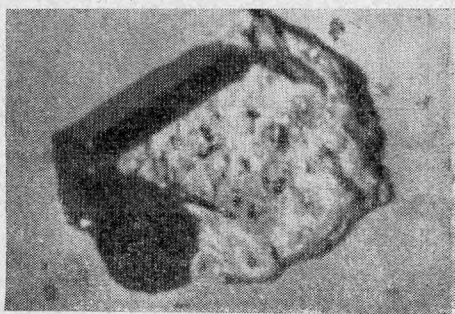


Рис. 3. Закономерно ориентированные включения колумбит-танталита (черное) в зерне касситерита (серое). Увел. 40

Рис. 4. Срастание колумбит-танталита (черное) с касситеритом (серое). Увел. 100. Фото В. И. Михайкина



## Межплоскостные расстояния колумбит-танталита

hkl	Танталит (Михеев, 1957)		Колумбит-танталит из касситерита (обр. 5)		hkl	Танталит (Михеев, 1957)		Колумбит-танталит из касситерита (обр. 5)		
	$\frac{d_{\alpha}}{n}$	I	$\frac{d_{\alpha}}{n}$	I		$\frac{d_{\alpha}}{n}$	I	$\frac{d_{\alpha}}{n}$	I	
031; 111	3,64	7	3,6618	8	320	1,308	2	1,3112	1	
131	2,97	10	2,9702	10		362; 2.10,0	1,246	2	1,2329	2
002	2,85	2	—	—			1,221	2	1,2225	2
	2,74	2	—	—	1,209		2	1,2034	5	
051; 200	2,55	5	2,5507	2	0.12.0	1,193	5	—	—	
150	2,49	5	2,5027	2		432; 005	1,187	2	—	—
060	2,36	5	2,3705	5			1,136	5	1,1315	2
221; 132	2,21	5	2,2120	4	460	1,126	5	1,1253	1	
231	2,09	5	2,0838	4		1,113	2	—	—	
250; 202	1,90	6	1,9111	4	293	1,101	2	1,1022	1	
062	1,83	2	1,8330	3		1,099	7	1,0979	2	
232	1,77	7	1,7832	6		1,088	5	1,0881	5	
260	1,74	7	1,7549	7		1,077	5	—	—	
162; 123	1,72	9	1,7210	8		1,071	5	—	—	
331	1,540	6	1,5458	6	1,047	2	—	—		
262; 341	1,487	2	1,4914	1	1,036	6	1,0396	3		
302; 350	1,458	9	1,4647	9	1,021	5	1,0250	2		
104; 1.10.0	1,378	5	1,382	2	1,007	5	1,0061	1		

наглядно эта особенность выявляется при сопоставлении диаграмм построенных по данным рентгенометрических исследований (рис. 5, II, III). В процессе расшифровки рентгенограммы черной разновидности касситерита установлены слабые отражения, не характерные для этого минерала. Анализ дополнительных линий показал, что они соответствуют наиболее интенсивным отражениям колумбит-танталита 131; 162; 302 (рис. 5, I, II).

Исследования позволили установить, что подавляющее количество вростков колумбит-танталита приурочено к периферии зерен касситерита. Включения распределяются в общем неравномерно. Часто в на-

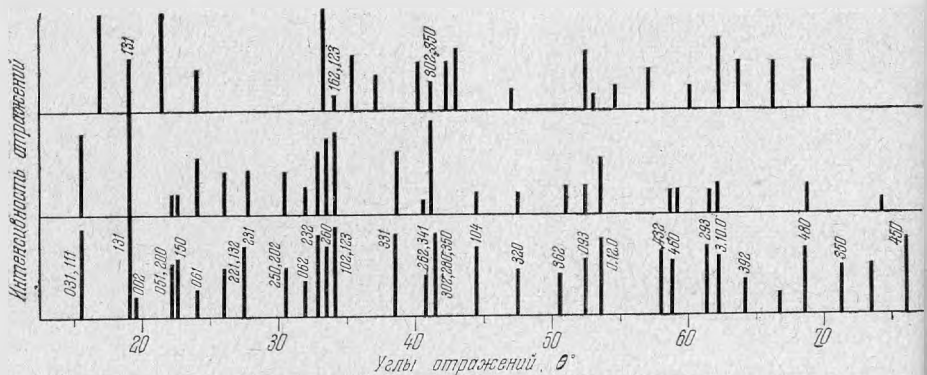


Рис. 5. Схемы рентгенограмм образцов

I — черный касситерит (обр. 5); II — колумбит-танталит (обр. 5); III — колумбит-танталит (Жумскова, 1962)

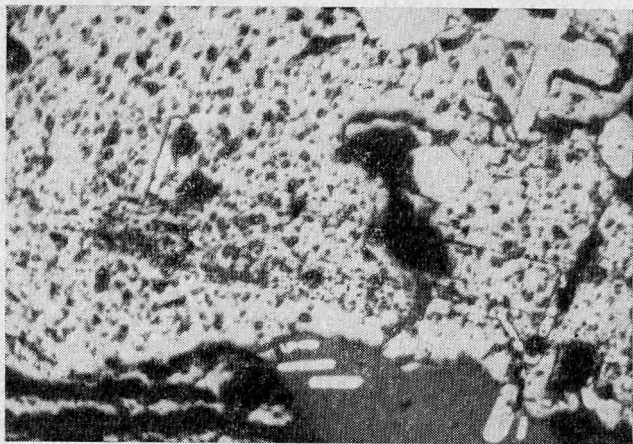


Рис. 6. Включения колумбит-танталита (светлое) в касситерите (серое) и кварце (темно-серое). Полир. шлиф, увел. 60

посредственной близости друг от друга встречаются несколько индивидов, ориентированных параллельно. Иногда пластинчатые выделения минерала пересекаются под углом, близким к прямому. В некоторых случаях включения колумбит-танталита пересекают выделения тапиолита и, не меняя своей ориентировки, выходят за пределы зерен касситерита в кварц (см. рис. 1).

Значительное количество зерен колумбит-танталита, аналогичных по форме, размерам и ориентировке, присутствует в кварце на некотором удалении от касситерита (рис. 6). Все эти факты свидетельствуют о более позднем наложении колумбит-танталитовой минерализации по трещинам, системы которых были общими для касситерита и окружающих его породообразующих минералов.

### Выводы

1. Касситерит из гранитных пегматитов Центрального Кавказа в качестве типоморфных элементов содержит тантал и ниобий. Сумма пятиокисей этих элементов достигает 3,55% в темной разновидности касситерита и уменьшается до 1,18% в светлой. Отношение  $Ta_2O_5:Nb_2O_5$  при этом изменяется соответственно от 1:0,85 до 3:1.

2. Различие в содержаниях тантала и ниобия не сказывается на характере дифракционной картины касситерита, что свидетельствует об отсутствии изоморфных замещений между этими элементами и оловом в кристаллической структуре касситерита. Тантал и ниобий вместе с железом и марганцем полностью входят в тапиолит и колумбит-танталит, присутствующие в виде включений с размерами от долей микрона до 1,0—1,5 мкм.

3. Включения тапиолита, измеряемые микронами, близки по времени образования к касситериту. Крупные выделения этого минерала возникли в результате перекристаллизации и укрупнения мелких, о чем свидетельствуют форма включений и осветление касситерита вблизи этих выделений. Появление включений колумбит-танталита связано с процессами более поздних замещений.

4. Наличие тантало-ниобиевых минералов существенно сказывается на некоторых физических свойствах касситерита. Разновидности, содержащие значительные количества этих минералов, темноокрашены, слабо протравлены, имеют несколько пониженную твердость, повышенный удельный вес и обладают значительной магнитной восприимчивостью.

5. Включения колумбит-танталита извлекаются из раздробленного касситерита методом электромагнитной сепарации, что может иметь, как отмечала В. А. Корнетова (1961), практическое значение. Сравнительно высокое содержание тантала придает этому минералу особую ценность.

Авторы выражают благодарность С. С. Борипанской, А. Г. Теремцкой и Е. И. Доломановой за ценные советы и практическую помощь при исследованиях.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Азаров А., Бургер М. Метод порошка в рентгенографии, 1961.
- Барсанов Г. П., Кузнецов К. М. О тапиолите из гранитных пегматитов Кавказа.— Вестн. МГУ, серия геол., 1968, № 2.
- Бетештин А. Г. Минералогия. Госгеолтехиздат. М., 1951.
- Болдырева А. М. Зависимость морфологических, физических и химических свойств касситерита от его генезиса.— Труды ИГН АН СССР, 1941, вып. 54.
- Борисенко Л. Ф. Скандий в редкоземельных минералах.— Труды ИМГРЭ, 1959, вып. 2.
- Боровик С. А., Готман Я. Д. О содержании редких и других элементов в касситеритах различного генезиса из месторождений СССР по данным спектрального анализа.— Докл. АН СССР, новая серия, 1939, 23, № 4.
- Гинзбург А. И. О химическом составе минералов группы колумбита — танталита.— В кн.: Вопросы минералогии, геохимии и петрографии. Изд-во АН СССР, 1946.
- Гольдшмидт В. М., Петерс К. К геохимии скандия.— Сб. статей по геохимии редких элементов. ГОНТИ, 1938.
- Готман Я. Д. К вопросу о свойствах касситерита в связи с условиями его образования и литература, приведенная в этой работе. Бюлл. Моск. об-ва испыт. природы отд. геол., 1938, 16, № 2.
- Готман Я. Д. Типоморфные особенности касситерита оловорудных месторождений СССР.— Труды ИГН АН СССР, 1941, № 6.
- Григорьев И. Ф., Доломанова Е. И. Новые данные по кристаллохимии и типоморфным особенностям касситерита разного генезиса.— Труды Мин. музея АН СССР, 1951, вып. 3.
- Гриценко Г. С., Боярская Р. В. Применение реплик с извлечением к изучению микронеоднородности рудных минералов.— Геол. рудн. месторожд., 1965, № 6.
- Дудыкина А. С. Парагенетические ассоциации элементов-примесей в касситеритах различных генетических типов оловорудных месторождений.— Труды ИГЕМ АН СССР, 1959, вып. 28.
- Ефремов Г. М. К вопросу о составе и геологии оловоносных пегматитов Северного Кавказа.— Труды Азовско-Черномор. геол. управления, 1940, сб. IX.
- Корнетова В. А. Об особенностях касситерита из пегматитовой жилы Восточного Эмбейкаля.— Труды Мин. музея АН СССР, 1961, вып. 12.
- Кузнецов В. И. К вопросу об изоморфизме Ta, Nb, Sn и Ti.— Мин. сб. Львовского геол. об-ва, 1947, вып. 1.
- Кузнецова Е. В. Минералого-геохимический очерк древнего кристаллического комплекса Центральной Балкарии.— Сов. геол., 1939, № 1.
- Кумскова Н. М. Рентгенографическое изучение минералов группы колумбит-танталита.— В сб. «Рентгенография минерального сырья», 1962, вып. 1.
- Лебедева С. И. Определение микротвердости минералов, 1963. Изд-во АН СССР.
- Михеев В. И. Рентгенометрический определитель. 1957. Геолтехиздат.
- Попов С. Д. Роль геонергетических показателей Ta, Nb, Zr, W и Ti при изоморфных вхождениях в кристаллических решетках сфена и касситерита.— В сб. «Геохимия эндогенных процессов» 1966 Изд-во АН СССР.
- Рамдор П. Рудные минералы и их сростания. ИЛ, 1962.
- Рудовская Л. Н. О находке тапиолита в гранитных пегматитах.— Записки Всес. му об-ва, 1962, ч. 91, вып. 3.
- Талдыкин С. И., Бочков П. Ф. Белягидонское месторождение олова.— Сборник трудов по геологии и полезным ископаемым Северного Кавказа. Ростов, 1939, вып. 1.
- Фиолетова А. Ф. Тантало-ниобаты северного склона Туркестанского хребта.— Труды ИГН АН СССР, мин.-геохим. серия, 1940, вып. 17, № 4.
- Чен Дэ-цзянь, Сидоренко Г. А. Первая находка тапиолита в СССР.— Труды ВНИИ, 1962, вып. 4.
- Amark K. An X-ray study of stanniferous columbite from Varutrask and of the related Finnish minerals ainalite and ixiolite.— Geol. Foren. Forh. Stockholm, 1941, N 3.
- Hiemstra S. A. An easy method to obtain X-ray diffraction patterns of small amount of mineral.— Amer. Min., 1956, 41, N 5—6.
- Newhaus A., Noll W. Zur Kristallchemie des Zinnsteins.— Naturwiss., 1949, H. 1.
- Quensel P. Cassiterite and stanniferous columbite.— Geol. Foren. Forh. Stockholm, 1941, 63, N 3.
- Schaller W. T. A study of the rutile group.— Bull. Geol. Surv. USA, 1912, 509.