

Т. М. АМИЧБА, Л. А. ВОРОНЦОВА,

КАССИТЕРИТЫ ОЛОВОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЯКУТИИ

Свойства касситерита из месторождений Якутии до настоящего времени слабо освещены в печати. Оловорудные месторождения Якутии разнообразны по своему генезису и представляют большинство оловорудных формаций. Наибольшее распространение и практический интерес представляют месторождения касситерито-кварцевой и касситерито-силикатно-сульфидной формации.

Касситерит принадлежит к числу типоморфных минералов оловорудных месторождений. Он образуется практически на всех стадиях эндогенного рудообразования и способен концентрироваться в россыпях. Содержащие касситерит рудные месторождения различны по своей промышленной ценности. Поэтому для постановки целенаправленных поисков с давних времен исследователи стремились выявить отличительные особенности касситерита месторождений разных рудных формаций (Шнейдер, 1937; Готман, 1941; Болдырева, 1941; Вазбудкий, 1941; Дудыкина, 1959; Григорьев, 1951; Доломанова и др., 1969; Лугов и др., 1971). Нами были исследованы касситериты сорока оловорудных месторождений и рудопроявлений Якутии, принадлежащих к касситерито-кварцевой и касситерито-силикатно-сульфидной формациям, и связанных с ними россыпей. Ниже приводятся результаты исследования свойств касситерита, несущих наибольшую информацию об условиях рудообразования изучаемых месторождений.

Минеральные ассоциации, наиболее типичные для касситерита месторождений грейзенового типа касситерито-кварцевой формации — это кварц, светлая слюда, топаз, флюорит, полевопшпат. Месторождения собственно кварцевого типа указанной формации содержат в рудных телах, помимо кварца, вольфрамит, шеелит, арсенопирит, пирит; в подчиненном количестве присутствуют топаз, флюорит, светлая слюда, гетит, халькопирит. Отдельные месторождения касситерито-кварцевой формации (месторождения Крайний, Зимовье, Кутурук) отличаются присутствием в рудных телах значительных концентраций турмалина, преимущественно шерла, кристаллизация которого связана с дорудной стадией минералообразования. Среди месторождений касситерито-силикатно-сульфидной формации отчетливо выделяются две группы месторождений. Месторождения одной группы характеризуются тесной связью с субвулканическими телами, преобладанием среди жильных минералов турмалина, а среди сульфидов ранних — пирита и арсенопирита (месторождения Чокурдах, Чурпунья, Северный Чохчур). Несколько менее четко выражены отмеченные черты у месторождений группы Тенгюргестях. Другую группу месторождений описываемой формации объединяет расположение их в осадочных породах, преобладание среди жильных — хлорита, а среди сульфидов поздних — пирротина, халькопирита сфалерита и др. (Улахан-Эгелях, Эге-Хая, Кестюбят, Июньское и др.).

Наибольшим размером кристаллов (20 — 30 мм) характеризуется касситерит месторождений кварцевого типа касситерито-кварцевой формации (месторождения Крайний, Тенкели, Кербенг). Наиболее мелкие кристаллы (0,05 — 0,25 мм) у касситеритов месторождений грейзенового типа касситерито-кварцевой формации (месторождение Одинокое) и хлоритового типа касситерито-силикатно-сульфидной формации (месторождения

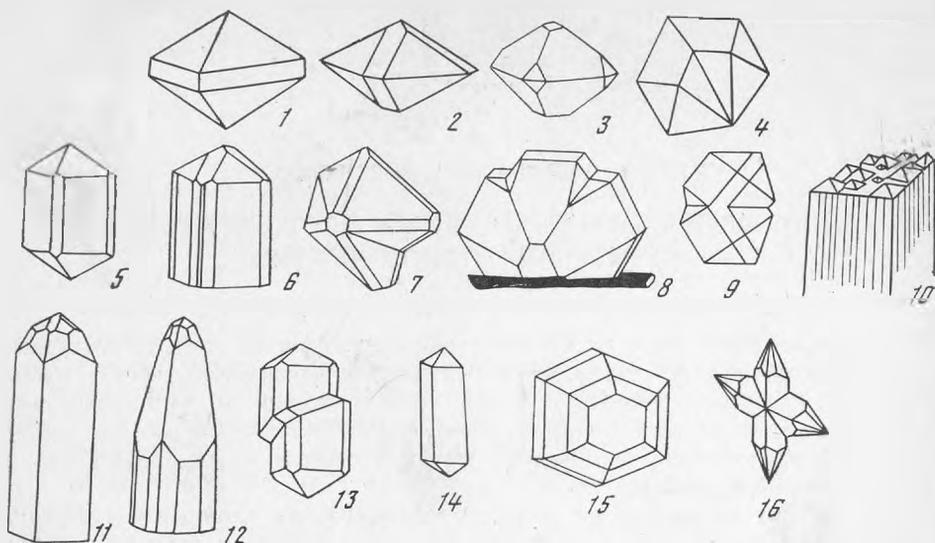


Рис. 1. Форма кристаллов касситерита из месторождений Северо-Восточной Якутии

Улахан-Эгелях, Кестюбят). На фоне указанной закономерности существует отчетливая тенденция уменьшения размеров зерен касситерита в пределах одного и того же месторождения от центра к периферии и от ранних стадий минерализации к поздним. Например, в кварцевых жилах эндо- и экзоконтактных областей Тенкелейского месторождения средний размер кристаллов касситерита 1—3 мм, в наиболее удаленных зонах трещиноватости — 0,10—0,25 мм. Ранние стадии минерализации месторождения Депутатское (кварцевые жилы, кварц-турмалиновые образования) характеризуются размером зерен касситерита 0,2—0,5 мм, поздний касситерит, парагенетически связанный с сульфидами, имеет средние размеры 0,05—0,07 мм.

Касситерит из месторождений грейзенового типа касситерито-кварцевой формации (Кестер, Полярное, Одинокое, Ыттыр-Халан) характеризуется изометрическим обликом дипирамидальных или дипирамидально-призматических укороченных по (001) кристаллов. По форме зерен к ним приближается касситерит пегматоидных образований в гранитах месторождения Крайнего (рис. 1). Большим разнообразием кристаллографических форм отличается касситерит месторождений кварцевого типа касситерито-кварцевой формации, характеризующийся дипирамидально-призматическим незначительно удлиненным (удлинение 1—1,5) по (001) габитусом за счет преимущественного развития граней пояса призм. Грани призмы (110) несут штриховку, неровные. При замере на двукружном гониометре дают дополнительные сигналы, что объясняется, по-видимому, наличием вичинальных граней. Среди граней пирамиды, как правило, гладких, преимущественно развиты грани (111), реже — (101).

Грани пинакоида (001) иногда усложнены множеством шипов. Часто касситерит имеет многоглавое строение кристаллов (рис. 1, 10), обычны двойники, тройники по (101) изометричного облика (рис. 1, 7—9), а также неупорядоченные сростки, часто друзовидного строения. Касситерит месторождений касситерито-силикатно-сульфидной формации характеризуется наибольшим разнообразием морфологических форм кристаллов. Преобладают удлиненные дипирамидально-призматические кристаллы с преимущественным развитием граней пояса призм (110), (100), (430), (210), (310) и часто деформированной сложной головкой за счет развития граней тетрагональных и дитетрагональных пирамид (111), (101), (321) и др. Часты двойники по (101), обычны тройники, шестер-

ники (рис. 1, 11—15). Для касситеритов наиболее низкотемпературных минеральных ассоциаций подобных месторождений характерны длинно-призматические — до игольчатых (удлинение до 7) — формы четко индивидуализированных кристаллов с гладкими гранями. Для некоторых месторождений довольно обычны кристаллы в виде уплощенной призмы (месторождение Тенгюргестях). Встречаются коленчатые двойники, тонкоигольчатые звездообразные сростки (Кестюбят, Тенгюргестях) (рис. 1, 16), а также изометричные сростки — шестерники с правильным шестиугольником в сечении (месторождение Тенгюргестях) (рис. 1, 15).

Окраска касситерита разнообразна. Особенное богатство цветов и оттенков наблюдается при микроскопических исследованиях. Большая часть кристаллов касситерита характеризуется неравномерным распределением окраски. Границы между окрашенными зонами в зональноокрашенных зернах, как правило, четкие и следуют направлениям роста граней кристалла. Пятнистое и пятнистоструйчатое распределение окраски часто приурочено к зонам трещиноватости в кристалле. Значительное количество зерен касситерита месторождения Крайнего обладает секториальным распределением окраски. Часто окрашенные участки связаны с включениями железосодержащих минералов, например магнетита, в виде ореола, повторяющих форму минерала-включения. Наиболее темная окраска характерна для касситерита грейзенов (месторождения Кестер, Полярное, Одинокое). Более светлые касситериты — в месторождениях касситеритосиликатно-сульфидной формации.

Причины окраски касситерита разными исследователями трактуются неоднозначно. Чаще всего окраску связывают с наличием микровключений в касситеритах (Григорьев, 1954; Долманова, 1959; Neuhaus, Noll, 1949). Г. Б. Жилинский (1955) и П. В. Бабкин (1960) объясняют неоднородную окраску неравномерным распределением примесей при росте кристаллов касситерита. Г. Л. Вазбуцкий (1941) и И. З. Евзикова (1965) считают, что первоначально касситериты темно окрашены, появление светлых участков и зерен связано с выносом красящих веществ при понижении концентрации растворов на последних стадиях рудообразовательного процесса. По данным P. L. Grabb и P. Hannaford (1966), существует зависимость между окраской касситеритов и их магнитными свойствами.

Некоторые из перечисленных положений могут быть проиллюстрированы примерами изученных нами касситеритов, подтверждающими зависимость между окраской касситерита, его магнитными свойствами и составом механических включений, неравномерным распределением примесей при росте кристаллов, вторичным обесцвечиванием темных кристаллов касситерита. При анализе данных химического состава различно окрашенных касситеритов установлена зависимость окраски от состава элементов-примесей. Темноокрашенные касситериты, как правило, характеризуются повышенными содержаниями тантала, ниобия, марганца и железа по сравнению со светлоокрашенными (табл. 1). Исключение составляют темноокрашенные касситериты Хотон-Хая и Улахан-Эгелях, которые содержат несколько меньше ниобия, чем светлоокрашенные на тех же месторождениях. По-видимому, примеси тантала и ниобия оказывают существенное влияние на окраску касситеритов из месторождений касситеритокварцевой формации. При окрашивании касситеритов из месторождений касситеритосиликатно-сульфидной формации первостепенное значение имеют другие элементы, такие как железо, марганец.

Наиболее резким *плеохроизмом* в вишнево-бурых, коричневых и коричнево-желтых тонах обладают касситериты месторождений грейзенового типа Кестер, Полярное, Одинокое. Значительная часть касситерита месторождений кварцевого типа касситеритокварцевой формации обладает слабым плеохроизмом, проявляющимся в некотором изменении интенсивности окраски. Исключением из этого правила является темноокрашенный касситерит рудопроявления Баки, характеризующийся заметным

Таблица 1

Зависимость окраски касситеритов от состава элементов-примесей
(по результатам химических и количественных спектральных анализов)

Месторождение	Содержание, вес. %							
	Ta ₂ O ₅		Nb ₂ O ₅		Fe ₂ O ₃		MnO	
	1 *	2	1	2	1	2	1	2
Полярное	0,055	0,010	0,250	0,035	0,66	0,19	0,59	0,11
Крайний	0,045	0,007	0,210	0,010	0,38	0,17	Нет	Нет
Хонор	—	—	—	—	0,50	0,49	0,015	0,011
Кугурук	—	—	—	—	0,23	0,17	0,014	0,010
Тенгюргестях	0,021	Нет	0,081	0,003**	0,60	0,34	—	—
Хотон-Хая	Нет	»	0,003**	0,004	0,68	0,24	—	—
Улахан-Эгелях	0,003**	0,003**	0,011	0,015	—	—	0,090	0,012

* 1 — темный; 2 — светлый. Знак «—» обозначает «Нет данных». ** Менее указанной величины.

плеохроизмом в коричневых тонах. Касситерит месторождений касситерито-силикатно-сульфидной формации отличается наиболее слабым плеохроизмом, часто едва различимым, за исключением темноокрашенного касситерита месторождений Чурпунья и Депутатское, заметно плеохроизирующих в коричневых тонах.

Для 60 образцов касситерита из месторождений разного генезиса, отличающихся окраской, определены *микротвердость* и *отражательная способность*. Величины спектров отражения, замеренные на приборе ПООС-1 по эталону СТФ-3 ($R=13,4\%$ при $\lambda=582\pm 3$ nm), не показывают существенных различий. Колебания значений микротвердости (849 — 1450 кг/мм²) более значительны. Установлено, что касситериты, обладающие наиболее высокой микротвердостью, характеризуются наличием изоморфных парамагнитных ионов (по данным исследований магнитной восприимчивости). Довольно отчетливо прослеживается зависимость величины микротвердости касситерита от его окраски и генетического типа месторождения. Как следует из табл. 2, наименьшие значения микротвердости характеризуют темноокрашенный касситерит месторождений грейзенового типа касситерито-кварцевой формации (месторождения Кестер, Полярное, Крайний). Наибольшие значения получены для светлоокрашенных касситеритов месторождений касситерито-силикатно-сульфидной формации (месторождения Эге-Хая, Тенгюргестях, Улахан-Эгелях).

Исследования *магнитной восприимчивости* (χ) касситеритов из месторождений касситерито-кварцевой формации в полях различной напряженности показали, что она не зависит от напряженности магнитного поля и имеет большей частью отрицательный характер, последнее свидетельствует о диамагнитности исследованных касситеритов. Некоторые колебания величины χ для названных касситеритов (от $0,26 \cdot 10^{-6}$ см³/г до 0) указывают на присутствие в них незначительных количеств (до 0,2%) парамагнитных ионов железа, марганца, титана и вольфрама в виде изоморфной примеси (Смелянская, Добровольская, 1971). Положительные значения магнитной восприимчивости характерны для касситеритов месторождений касситерито-силикатно-сульфидной формации и связаны главным образом с присутствием магнитных микровключений в виде самостоятельных фаз, на что указывает зависимость величины χ от напряженности магнитного поля. Темноокрашенные разновидности касситеритов любого месторождения всегда обладают более высокими значениями χ по сравнению со светлыми разновидностями. При дроблении немагнитных темноокрашенных кас-

ситеритов были выделены фракции черных обломков зерен касситерита, обладающих ферромагнитными свойствами (притягиваются подковообразным магнитом и стальной иглой). Р. L. Stabb и Р. Hannaford (1966) обнаружили присутствие парамагнитного ферростанната (SnFeO_3 или SnFe_2O_6), а М. А. Гришин и соавторы (1970) установили обогащение железом, марганцем, титаном, хромом подобных участков в зернах касситерита.

Параметры элементарной ячейки касситерита прецизионно определялись в лаборатории рентгеноструктурного анализа Н. Петровой. Установлены вариации параметров: $a=4,7351-4,7387$; $c=3,1832-3,1857$. Отмечено закономерное увеличение параметра c от касситеритов из высокотемпературных минеральных ассоциаций к низкотемпературным, а также от темных касситеритов к светлым в пределах одного и того же месторождения (на примере касситеритов из месторождений Полярное, Тенкели, Депутатское) (табл. 2). Установленная зависимость, как справедливо замечают Е. И. Доломанова и соавторы (1969) и Г. Н. Гончаров и соавторы (1971), по-видимому, может быть объяснена присутствием заметных количеств элементов-примесей в высокотемпературных темноокрашенных касситеритах, снижающих параметры элементарной ячейки касситерита.

Химический состав касситеритов варьирует в образцах, различающихся принадлежностью к месторождениям разного генезиса и окраской (табл. 1, 3). В результате исследования касситеритов в их составе обнаружено 40 элементов-примесей. Наибольший интерес представляют типоморфные элементы-примеси — тантал, ниобий, скандий, индий, цирконий, гафний, галлий, висмут, марганец, мышьяк, ванадий, титан, кобальт, никель. В месторождениях грейзенового типа касситерито-кварцевой формации (Кестер, Полярное, Одинокое) установлены самые высокие содержания тантала, ниобия, галлия, циркония и гафния. Полученные данные вполне соответствуют представлению большинства исследователей о том, что названные элементы являются индикаторами высокотемпературного процесса рудообразования (Готман, 1941; Григорьев, 1965; Иванов, 1964; Некрасов, 1966, 1968; Никулин, 1966; Доломанова и др., 1969; Лугов и др., 1971).

По составу элементов-примесей к ним приближаются касситериты из зон грейзенизации Крайнего и Депутатского месторождений и мономинеральных касситеритовых прожилков в брекчированных кварцевых порфирах участка Южный (месторождение Тенкели). Как следует из табл. 4, касситериты из кварцевых, кварц-турмалиновых и карбонатно-хлоритовых жил тех же месторождений характеризуются более низкими содержаниями перечисленных элементов. Повышенные содержания индия, ванадия, цинка, свинца характерны для касситеритов из месторождений касситерито-силикатно-сульфидной формации (рис. 2).

Большой интерес представляют взаимоотношения некоторых элементов-примесей в касситеритах из месторождений разного генезиса. Были проанализированы отношения гафния к цирконию, титана и марганца к железу, тантала к ниобию, ниобия к индию (табл. 3). Гафний-циркониевое отношение, близкое к единице в касситеритах Полярного месторождения, подтверждает высокотемпературный режим образования руд этого месторождения. Связь марганца и титана с железом в касситеритах использовалась М. Н. Рудаковой (1968) при установлении глубины образования интрузивных тел. Для наиболее глубинных образований она получила наибольшие значения отношений марганца к железу и наименьшие — титана к железу. Как следует из табл. 3 и рис. 2, наибольшие значения отношения марганца к железу и наименьшие — титана к железу характерны для касситерита Ыттыр-Халан и Полярного месторождений (грейзеновый тип касситерито-кварцевой формации). Противоположные результаты получены для касситеритов месторождений Эге-Хая, Улахан-Эгелях (хлоритовый тип касситерито-силикатно-сульфидной формации). При анализе

Таблица 2

Зависимость микротвердости, магнитной восприимчивости и параметров элементарной ячейки касситерита от его окраски и происхождения

Рудная формация	Месторождение	Образец	Окраска касситерита *	Магнитная восприимчивость		Микротвердость, Н, кг/мм ²			Параметры ячейки, А	
				Истинное	Среднее	Среднее по 10 измерениям	Среднее по 30—50 измере- ниям	Среднее по 15 измерениям	a	c
Касситерито-кварцевая кварцевая	Кестер	20	ч	-0,26	-0,09	978	845	902	4,7386±0,0001	3,1844±0,0001
		6	ч							
		2	ч							
		3	б							
		5005	к							
	Полярное	180	ч	881	1040	1075	1140	4,7386±0,0001	3,1849±0,0004	
		181	тк							
		2382	к							
		2384	сж							
		3646	тк							
	Одинокое Биллях	3310	тк	1145	1206	4,7370±0,0001	3,1850±0,0002			
		3305	ск							
	Крайний	2331	ч	880	1100	964	1116	4,7368±0,0001	3,1844±0,0001	
		2331/1	тк							
		2332	к							
	Порфиновый	2327	к	1102	1102	1140	1140	4,7387±0,0001	3,1848±0,0003	
		2327/1	ск							
	Тенкели	2302	тк	-0,26	-0,26	1042	1238	4,7373±0,0001	3,1843±0,0001	
		2303	к							
	Суор	2343	тк	0,26	-0,05	1138	4,7380±0,0001	3,1857±0,0001		
	Кутурук	13	бк							
	Киргилях	8	к	-0,10	-0,21	1297	4,7362±0,0001	3,1832±0,0005		
27		ск								
Хонор	25	тк				4,7376±0,0001	3,1849±0,0002			
						4,7362±0,0002	3,1839±0,0002			

Хонор

25

тж

-0,21

1297

4,7362±0,0002

3,1839±0,0002

Касситерито-кварцевая

Олохтох	23 57 2200 4015 4102	тж тж к сж сж	-0,12	-0,16 -0,15 -0,03		1297 1297 1206	4,7368±0,0002 4,7369±0,0003	3,1839±0,0002 3,1850±0,010
Катилдх	102	сж						
Арсенолигитовый	545	к	-0,22				4,7369±0,0003	3,1850±0,010
Кейи-Тасс	1503	к						
Делугатское	2556 2562 608 605 206	тж сж к сж сж			1145 1280	1206 1290 1410 1360	4,7378±0,0001 4,7386±0,0001	3,1835±0,0002 3,1846±0,0001
Эге-Хай	30	жс	0,04					
Тентгорестях	569 282 78	ч к к	Около нуля 0,22	0,12 0,10		1450 1400	4,7363±0,0003	3,1846±0,0004
Улахан-Эгелях	77 1748 1602 1169 1277 1522 117	сж тж к к сж сж к	Около нуля		Данные Е. К. Аксеновой, ВИМС	1100 1359 1340 1233 1233		Данные Н. С. Петровой (ВИМС)
Кестюбият			0,12		Данные Н. В. Дю- бровицкой, ВИМС			

* н — коричневый, сж — светло-коричневый, ч — черный, тж — темно-коричневый, сж — бурый, сжс — светло-желтый, жс — желтый.

Таблица 3

Элементы-примеси в касситеритах оловорудных месторождений и сопутствующих россыпей Северо-Восточной Якутии
(по данным количественных, химических, спектральных и рентгено-спектральных анализов)

Руд- ная фор- мация	Месторождение	Ta ₂ O ₅	Nb ₂ O ₅	Sc ₂ O ₃	In ₂ O ₃	Zr	Hf	Ga	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	Nb/In	Ta/Nb	Hf/Zr	Mn/Fe	Ti/Fe	
Касситерито-кварцевая	грейзено- вый тип	Кестер	0,690	1,500	0,025	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		Полярное	0,230	0,390	0,090	0,0006	0,047	0,035	0,0013	0,340	0,043	0,350	650	0,4	0,74	0,9	0,1
		Одинокое	0,030	0,210	0,0012	0,0015	0,063	—	0,0028	—	0,450	—	140	0,1	—	—	—
		Ыттыр-Халан	0,040	0,160	0,0041	0,009	—	—	—	0,650	0,130	0,080	17	0,2	—	0,1	0,2
	кварцевый тип	Биллях	0,013	0,043	0,004	0,0004	0,047	0,0016	0,0004	—	—	—	107	0,3	0,034	0,09	0,6
		Крайний	0,040	0,080	0,012	0,002	0,030	—	<0,0005	0,520	0,100	—	40	0,5			
		Бакы	0,020	0,360	Не обн.	—	0,125	—	—	<0,0005	—	—	—	0,06	0,017	0,03	0,7
		Тенкели	0,010	0,096	0,009	0,0017	0,030	—	0,0007	0,520	0,300	0,050	56	0,1			
		Суор	0,003	0,041	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,07	0,017	0,03	1,7
		Кутурук	0,012	0,050	0,002	0,0004	0,032	Не обн.	Не обн.	0,510	0,300	0,010	125	0,2			
Киргилах		0,001	0,009	0,002	0,0005	0,003	»	0,0002	0,490	0,260	0,010	18	0,1	0,017	0,03	0,7	
Хонор		Не обн.	0,004	0,004	0,001	0,008	»	0,0006	0,400	0,280	0,014	4	0,1				
Олохтох		0,007	0,020	0,0004	<0,0003	0,024	»	0,0002	0,290	0,500	0,010	66	0,3	0,017	0,03	1,7	
Кигилах		0,015	0,050	0,0008	Не обн.	0,036	0,00065	Не обн.	—	—	—	—	0,3				
Зимовье	Не обн.	0,021	0,00057	0,00075	0,032	—	—	<0,0005	—	0,240	—	28	—	0,04	—	—	
Арсенопиритовый	<0,003	0,026	0,0012	Не обн.	0,023	Не обн.	0,0002	—	—	—	—	—					
Гранитный	<0,003	0,020	0,002	0,0005	—	—	»	—	—	—	—	40	—	—	—	—	
Касситерит-силикатно- сульфидная	Депутатское	0,0015	0,030	0,0019	0,011	0,024	»	0,0008	—	0,250	—	3	0,05	0,03	—	—	
	Чокурдах	0,0005	0,017	0,0042	0,0017	0,024	»	<0,0005	—	0,250	—	10	—				
	Чурпунья	Не обн.	0,035	0,00038	0,0038	0,040	—	—	—	0,060	—	8	—	0,02	0,6		
	Дьяхтардаах	»	0,037	0,003	0,0073	0,043	Не обн.	0,00073	—	0,430	—	5	—				
	Эге-Хая	»	0,0015	0,004	0,001	0,001	»	0,0006	0,255	0,290	<0,010	1,5	—	0,02	0,7		
	Тенгюргестях	»	<0,002	0,0035	0,003	0,0013	»	0,0006	0,400	0,270	0,010	0,6	—				
	Хотон-Хая	»	0,003	0,005	0,005	—	—	—	0,400	0,280	0,010	0,6	—	0,01	1,7		
	Улахан-Эгелях	»	<0,003	0,005	0,030	—	—	—	0,420	0,700	<0,010	0,1	—				
	Укачилкан	»	0,028	0,0013	0,0019	0,022	—	—	<0,0005	—	0,380	—	14	—	—	—	

Таблица 4

Элементы-примеси в касситеритах различных рудных тел месторождений *, вес. %

Формация и место- рождение	Тип минерализации	Ta ₂ O ₅	Nb ₂ O ₅	Sc ₂ O ₃	In ₂ O ₃	Ta/Nb	
Касситерит-кварце- вая	Крайний	Грейзенизированный гранит	0,08	0,112	—	—	0,8
		Кварцево-турмалиновые жилы и пегматоидные образования в гранитах	0,02	0,035	0,006	0,0018	0,3
	Тенкели	Кварцевые прожилки в квар- цевых порфирах	0,02	0,161	0,013	0,0008	0,1
		Кварцевые прожилки в рого- виках	0,0009	0,035	0,0045	0,0027	0,02
Касситерит-силикат- но-сульфидная	Депутатское	Грейзенизированные кварце- вые порфиры	0,0015	0,193	—	—	0,07
		Кварцевые жилы	—	0,027	—	0,02	—
		Кварц-турмалиновые образо- вания	—	0,025	—	—	—
		Кварц-карбонатно-хлоритовые жилы	—	0,029	—	0,011	—

* Знак «—» означает «не обнаружено».

тантало-ниобиевого отношения отмечается резкое обеднение танталом касситерита в месторождениях касситерито-силикатно-сульфидной формации (Депутатское, Чокурдах, Улахан-Эгелях и др.) (рис. 2). Ниобий-индиевое отношение — наиболее чувствительный индикатор глубины рудообразования (Никулин, 1966) — закономерно снижается в касситеритах в направлении от месторождений грейзенового типа касситерито-кварцевой формации к месторождениям хлоритового типа касситерито-силикатно-сульфидной формации (табл. 3, рис. 2).

Часто на фоне общего закономерного изменения химического состава касситеритов, связанного с условиями образования месторождений, обнаруживаются некоторые особенности его состава, обусловленные геохимической специализацией отдельных рудных узлов или составом вмещающих пород. Так, повышенные содержания титана, ванадия, никеля и кобальта, как правило, устанавливаются в касситеритах из рудных тел, расположенных в песчанико-сланцевых породах, из которых названные элементы, видимо, частично заимствуются (месторождения Дьяхтардах, Укачилкан, Депутатское и др.). В касситеритах Бакинського массива, породы которого характеризуются повышенными содержаниями титана, установлены самые высокие содержания титана, циркония, стронция, иттрия и лантана (рис. 2). Касситериты и некоторые другие минералы Полярного отличаются повышенными содержаниями скандия, что также характерно для руд этого месторождения (табл. 3).

Микровключения исследовались в касситеритах Полярного и Тенкелийского месторождений. В темноокрашенных кристаллах касситерита Тенкелийского месторождения были установлены включения рутила, арсепирита, гематита. В касситерите Полярного месторождения встречены включения циркона, рутила, магнетита и тантало-ниобатов, диагностированных нами как иксиолит и вольфрам-иксиолит (табл. 5). Последние устанавливаются в наиболее раннем касситерите, который отличается изометричной формой, темной окраской, сильным плеохроизмом. Иксиолит и вольфрамо-иксиолит образуют в касситерите довольно частые мелкие неупорядоченные включения двух морфологических типов: изоме-

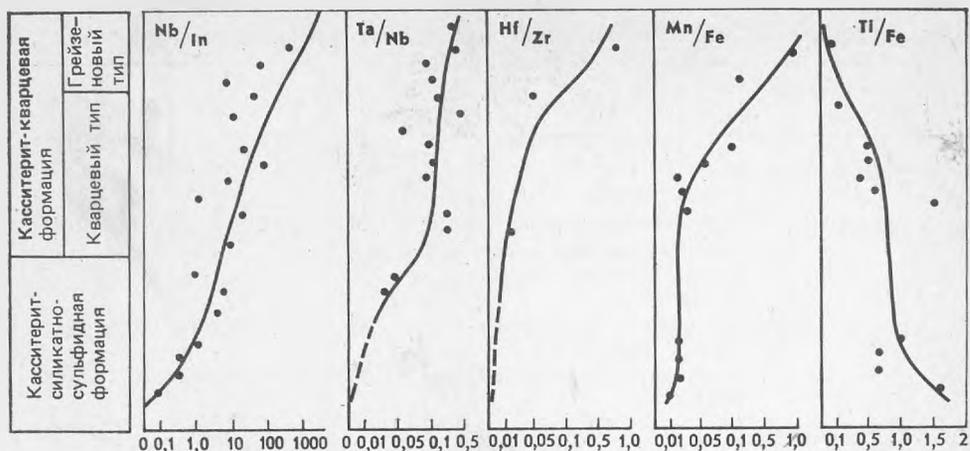


Рис. 2. Взаимоотношение элементов-примесей в касситеритах из месторождений Северо-Восточной Якутии

тричные и удлиненно-призматические до игольчатых. Размер зерен минералов-включений колеблется от 0,006 мм до 0,02 мм.

В исследованном касситерите встречены более мелкие (0,003 мм) включения минералов, близкие по внешнему виду охарактеризованным выше. При площадном электронном зондировании густоокрашенных уча-

Таблица 5

Химический состав тантало-ниобатов, образующих включения в касситерите месторождения Полярное, вес. %

Минерал	Nb ₂ O ₅	Ta ₂ O ₅	Sc ₂ O ₃	WO ₃	TiO ₂	FeO	MnO	SnO ₂
Иксиолит	63,1	13,3	1,5	2,5	1,0	3,1	12,5	2
Вольфрам-иксиолит	38,1	10,9	4,0	27,9	0,6	3,5	12,0	2

Аналитик Л. С. Дубакина, рентгеноспектральная лаборатория ВИМС.

стков, а также зон трещиноватости в касситерите устанавливаются поля с содержаниями 2 — 5 % ниобия и вольфрама. Возможно, здесь присутствуют еще более мелкие включения упомянутых минералов, не различимых при обычных увеличениях микроскопа (Амичба, Дубакина. 1976).

* * *

Детальный анализ особенностей касситерита изученных месторождений позволяет сделать ряд выводов.

Наиболее устойчивыми типоморфными признаками, однозначно определяющими условия рудообразования месторождения, являются состав и содержание элементов-примесей в касситерите. Показательны как абсолютные значения содержаний элементов-примесей, так и соотношения некоторых из них. Касситериты месторождений грейзенового типа характеризуются наиболее высокими содержаниями пятиоксида ниобия (0,16—1,5%), тантала (0,04—0,69%), трехоксида скандия (0,001—0,1%), галлия (0,0013—0,0028%), гафния (до 0,035%), а также самыми высокими значениями отношений тантала к ниобию (0,1—0,5%), ниобия к индию (17—650%), гафния к цирконию (0,74%), марганца к железу (0,1—0,9%) и самыми низкими — титана к железу (0,1—0,2%).

В месторождениях собственно кварцевого типа касситерито-кварцевой формации касситериты также содержат пятиокись ниобия (0,0015—0,36%), тантала (0,001—0,04%), трехокись скандия (0,0004—0,012%), но в меньших количествах, и характеризуются меньшими значениями отношений тантала к ниобию (0,04—0,5%), ниобия к индию (4—125%), гафния к цирконию (0,017—0,034%), марганца к железу (0,017—0,034%) по сравнению с касситеритами из месторождений грейзенового типа. Касситериты месторождений касситерито-силикатно-сульфидной формации отличаются незначительными содержаниями тантала, ниобия, скандия и повышенными содержаниями трехокси индия (0,001—0,03%), цинка (0,016—0,062%) и характеризуются самыми низкими значениями отношений тантала к ниобию (0,03—0,05%), ниобия к индию (0,1—14%), марганца к железу (0,01—0,02%) и самыми высокими — титана к железу (0,6—1,7%).

Элементы-примеси изоморфно замещают олово в касситерите или входят в состав микровключений минералов, особенности которых могут служить типоморфными признаками касситерита.

В месторождениях грейзенового типа касситерито-кварцевой формации касситериты содержат микровключения циркона, рутила, магнетита и тантало-ниобатов (иксиолита и вольфрамо-иксиолита). Касситериты месторождений собственно кварцевого типа касситерито-кварцевой формации характеризуются наличием микровключений арсенопирита, пирита, гематита, рутила. Касситериты месторождений касситерито-силикатно-сульфидной формации отличаются незначительными содержаниями микровключений минералов, до настоящего времени слабо изученных. Микровключения циркона, рутила, пирита и арсенопирита довольно равномерно распределены в пределах зерен касситерита. Тантало-ниобаты и магнетит, как правило, приурочены к граням (111), а также к ослабленным, трещиноватым участкам зерен касситерита.

Окраска касситерита в значительной степени зависит от наличия элементов-примесей — тантала, ниобия, марганца и железа. Причем при окрашивании касситеритов из высокотемпературных месторождений доминирующее влияние оказывает присутствие тантала и ниобия, в окрашивании касситеритов из месторождений касситерито-силикатно-сульфидной формации железа. Как правило, наиболее темной окраской характеризуются касситериты месторождений грейзенового типа, а в пределах одного месторождения — ранние касситериты по отношению к более поздним.

Наблюдается отчетливая зависимость микротвердости, магнитной восприимчивости и параметров элементарной ячейки касситеритов от окраски. Как правило, темноокрашенные касситериты характеризуются минимальными значениями микротвердости, магнитной восприимчивости и параметров элементарной ячейки (особенно c) в противоположность светлоокрашенным. На фоне перечисленных закономерностей намечается заметное увеличение микротвердости и магнитной восприимчивости от касситеритов грейзеновых месторождений к касситеритам месторождений касситерито-силикатно-сульфидной формации.

Размеры и морфология кристаллов, наличие двойников, их характер довольно отчетливо отражают условия образования касситерита. Касситериты месторождений касситерито-кварцевой формации характеризуются наибольшими размерами кристаллов (до 30 мм) простого строения; обычны двойники и тройники по (101). Монокристаллы и упорядоченные сростки касситерита отличаются изометричным обликом. Среди касситеритов месторождений касситерито-силикатно-сульфидной формации преобладают удлиненно-призматические кристаллы (удлинение 1,5—3) сложного строения за счет развития граней пояса призм и пирамид. Часты коленчатые двойники, тройники и шестерники по (101).

ЛИТЕРАТУРА

- Амицба Т. М., Дубакина Л. С.* Вольфрамо-искениолит в рудах оловянно-вольфрамового месторождения Якутии.— В кн.: Новое в минералогических исследованиях. Материалы годичной сессии ВМО, 1976.
- Болдырева А. М.* Зависимость морфологических, физических и химических свойств касситерита от его генезиса.— Труды ИГН АН СССР, серия минералогии, вып. 54, № 12, 1941.
- Бабкин П. В.* Об аномалиях оптических свойств касситерита.— В кн.: Материалы по геологии и полезным ископаемым Северо-Востока СССР, 1960, № 14.
- Вазбуцкий Г. Л.* Природное изменение окраски и некоторых других свойств касситерита.— Зап. ВМО, серия 2, ч. 70, вып. 2, 1941.
- Воронцова Л. А.* и др. Некоторые свойства касситеритов оловорудных месторождений Северо-Востока СССР.— Зап. ВМО, 1976.
- Гончаров Г. Н., Филатов С. К.* Исследование структурных типоморфных особенностей касситерита Шерловой Горы.— Геохимия, 1971, № 4.
- Готман Я. Д.* Типоморфные особенности касситерита оловорудных месторождений СССР.— Труды Ин-та геол. наук АН СССР, серия минерал., вып. 46, № 9, 1941.
- Григорьев И. Ф.* Новые данные по кристаллохимии, типоморфным особенностям касситерита разного генезиса.— Труды Минерал. музея АН СССР, вып. 3, 1951.
- Гришин М. А., Плотников Л. В.* О находке магнитного касситерита в россыпях Депутатского рудного узла.— В кн.: Материалы по геологии и полезным ископаемым Якутской АССР, вып. 16. Якутск, 1970.
- Доломанова Е. И., Боярская Р. В., Ракчеев А. Д., Яковлевская Т. А.* Касситерит и его типоморфные особенности.— В кн.: Типоморфизм минералов, «Наука», 1969.
- Дудыкина А. С.* Парагенетические ассоциации элементов-примесей в касситеритах различных генетических типов оловорудных месторождений.— Труды ИГЕМ АН СССР, вып. 28, 1959.
- Евзикова И. З.* Принципы структурно-геометрического анализа граней кристаллов.— Зап. ВМО, ч. 94, вып. 2, 1965.
- Жилинский Г. Б.* Типоморфные особенности касситеритов Центрального Казахстана. Изд-во АН КазССР, 1955.
- Иванов В. В.* Геохимия, минералогия и генетические типы месторождений редких элементов. «Наука», 1964.
- Лугов С. Ф., Макеев Б. В., Никулин Н. Н., Потапова Т. М.* Эволюция минерального состава и некоторые черты геохимии оловорудных формаций Северо-Востока СССР.— В кн.: Новые данные по магматизму и минерализации в рудных районах востока СССР. «Наука», 1971.
- Некрасов И. Я.* Геохимия олова и редких элементов Верхояно-Чукотской складчатой области. «Наука», 1966.
- Некрасов И. Я.* Распределение тантала и ниобия в магматических и постмагматических породах и минералах Северо-Востока СССР.— В кн.: Экспериментальные и теоретические исследования минеральных равновесий. «Наука», 1968.
- Никулин Н. Н.* К вопросу об определении глубины формирования оловорудных тел по концентрации индия в касситеритах.— В кн.: Генетические типы, условия образования и закономерности размещения месторождений олова и вольфрама северо-западного сектора Тихоокеанского рудного пояса. Владивосток, Изд-во ДВФ СО АН СССР, 1966.
- Рудакова М. Н.* Оловоносные граниты и некоторые вопросы генезиса оловорудных месторождений Юго-Западной части Забайкалья. Автореф. дис., Л., 1968.
- Рудакова М. Н., Тихомиров Н. И.* Типы оловорудных месторождений Забайкалья.— Зап. ВМО, вып. 6, 1965.
- Смелянская Г. А., Добровольская Н. В.* О зависимости магнитных свойств касситерита от состава и условий образования.— Труды Минерал. музея АН СССР, вып. 20, 1971.
- Шнейдер Ю. А.* Морфолого-генетическая схема габитусов оловянного камня.— Проблемы советской геологии, т. 7, № 3, 1937.