ISSN 0135-3500. Зап.Санкт-Петербургского горного ин-та. 1993. Том 137

УДК 553.45:553.261

А.И.ПЕРТЕЛЬ

МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ РУД И ФОРМАЦИОННЫЙ ТИП КАРНАБСКОГО ОЛОВОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Описаны 30 гипогенных рудных минералов Карнабского месторождения, в том числе такие достаточно редкие, как теллуроканфильдит, матильдит, мюргитит, штернбергит, менегинит. Выделены арсенопирит-касситеритовая и полисульфидная стадии минералообразования. Карнабское месторождение отнесено к полиформационным объектам.

Карнабское оловорудное месторождение (Западный Узбекистан) приурочено к западной части одноименного гранитоидного массива пермского возраста. Массив прорывает палеозойские терригенные и карбонатные породы. Северный и южный контакты массива субсогласны с падением осадочных пород рамы, круто наклонены к северу и часто сопровождаются тектоническими нарушениями и зонами дробления. Западный и восточный контакты массива пологие, они перекрыты позднемеловыми базальными конгломератами.

Карнабский массив сложен крупнозернистыми порфировидными биотитовыми и двуслюдяными гранитами и гранодиоритами с постепенными переходами между ними. Позднепалеозойский магматизм завершился внедрением даек аплитов, микрогранитов, гранодиорит-порфиров, лампрофиров и порфиритов. Граниты обладают директивными текстурами, выраженными в ориентированном расположении кристаллов полевого шпата, чешуек биотита, оптических осей зерен кварца. Этой же ориентировке подчинены вытянутые ксенолиты вмещающих пород и участки микрогранитных "выплавок". Директивные текстуры имеют северо-западное направление и ориентированы косо по отношению к контактам массива. Наиболее крупными разрывными структурами являются широтные, по которым развиты микрогранитные и лампрофировые дайки, кварцевые жилы и зоны филлонитизации. Эти же разломы контролируют размещение почти всех рудных тел.

Среди рудных тел выделяются две разновидности. Наиболее крупные тела представляют собой оруденелые зоны дробления, филлонитизации и окварцевания. Они имеют близширотное простирание и крутое падение, мощность 0,3–3 м, иногда и больше. Для рудных тел этого типа вкрест простирания характерно зональное асимметричное строение. Висячий бок является наиболее тектонически нарушенным, к нему тяготеют филлониты, дробленые и рассланцованные граниты. Лежачий бок рудных тел сложен окварцованными гранитами с кварцевыми прожилками и жилами мощностью до 2 м. Рудные тела второго типа – это линейные штокверки вне зон рассланцевания и дробления. Они сложены березитизированными

гранитами с прожилками и вкрапленностью рудных минералов. Прожилки имеют длину до нескольких метров и мощность 2-10 см.

Геологическое строение Карнабского месторождения, метасоматиты и рудные тела достаточно охарактеризованы в статье Н.В.Котова и Л.Г.Порицкой[X], отчетах Карнабской ГРП, К.Б.Ильина, Т.Э.Видусова, Ю.В.Лира, С.С.Шакина и других. Однако описание минерального состава руд, приведенное в отчетах и статье, страдает схематичностью. Этот пробел и пытается восполнить данная работа, тем более, что детальное микроскопическое исследование руд с использованием микрорентгеноспектрального анализа (с ограниченным, к сожалению, доступом к микрозонду) показало сложный состав руд месторождения. Для этих руд характерны ассоциации минералов олова, серебра и висмута, а также наличие редких сульфовисмутитов и сульфостанчатов, с трудом диагностируемых простыми оптическими методами. Текст данной статьи не иллюстрируется микрофотографиями, поскольку многие минералы, кроме широко распространенных, имеют близкое отражение и не видны на фотографиях без дополнительной ретуши.

Руды Карнабского месторождения сложены следующими рудными минералами (звездочками отмечены минералы, не упомянутые в статье Н.В.Котова и Л.Г.Порицкой):

главные - касситерит, пирит, арсенопирит, сфалерит;

второстепенные - халькопирит, пирротин, марказит, галенит, менегинит*, матильдит*, рутил;

редкие или встреченные в малых количествах - фрейбергит, самородный висмут*, самородное серебро*, висмутин, канфильдит*, мирабилит*, пираргирит*, козалит*, полибазит*, штернбергит*, акантит, бурнонит*, станнин*, макинавит*, магнетит, ильменит*, анатаз*, сфен, вольфрамит*;

минералы зоны окисления - гидрогетит, ковеллин, халькозин, борнит, лейкоксен.

Галеновисмутит, буланжерит, фрейслебенит, молибденит и самородное золото, отмеченные в упомянутой выше статье, автор не обнаружил, вероятно, вследствие определенной ограниченности исследованного материала (было просмотрено около полутора сотен полированных шлифов).

К а с с и т е р и т является главным промышленным минералом. Содержание его колеблется от единичных зерен до 80 % объема рудных минералов. Это один из самых ранних рудных минералов, образующийся чуть раньше и одновременно с арсенопиритом I. Он представлен зернами размером 0,2-2 мм изометричного или короткостолбчатого облика, обычно раздробленными, трещиноватыми. Цвет зерен бурый и коричневый. Сдвойниковано менее 25 % зерен, двойники и тройники простые. Элементы-примеси в касситерите по данным ЛМА: железо, марганец, ниобий, титан, вольфрам (сотые доли процента); скандий - тысячные доли процента, индий не обнаружен. Средний коэффициент термоЭДС 75 мкВ/°С (данные И.А.Карякина). Обломки зерен касситерита I цементируются жильными мине-

---

[X] К о т о в Н.В., П о р и ц к а я Л.Г. Генетические особенности Карнабского олово-рудного месторождения (Западный Узбекистан) // Вестник ЛГУ. 1991. Сер. 7. Вып.1 (№ 7). С. 9-18.

ралами, сфалеритом, галенитом. Ко второй генерации отнесены очень мелкие (тысячные доли миллиметра) зернышки касситерита, заключенные в сфалерите, фрейбергите и станнине. Этот касситерит частично образуется в результате разложения станнина.

П и р и т чаще всего является преобладающим рудным минералом, лишь изредка уступая по количеству арсенопириту, сфалериту или касситериту. Нами выделены три генерации пирита. Для пирита I характерны неровные до зазубренных границы зерен, отсутствие огранки, трещиноватость с выполнением трещин сульфидами меди, свинца и цинка, отсутствие в нем захваченных включений других сульфидов. Этот пирит образовался несколько позже касситерита I, одновременно и чуть позже арсенопирита I и отчетливо раньше всех других сульфидов. Пирит II наиболее распространен. Это метакристаллы, обладающие зональностью и содержащие многочисленные включения окружающих минералов. Пирит II кристаллизовался одновременно с большинством сульфидов и сульфосолей цветных металлов. Пирит III образует тесные срастания с марказитом, слагающие агрегаты неправильной формы и прожилки. Он возник в конце полисульфидной стадии позже сульфидов цветных металлов и одновременно с сульфосолями серебра.

А р с е н о п и р и т присутствует в 2/3 исследованных штуфов, причем в ряде случаев он преобладает. Содержание его в целом коррелируется с количеством касситерита. Из двух генераций арсенопирита преобладающей является первая. Арсенопирит I представлен крупнозернистыми агрегатами и кристаллами, почти всегда раздробленными или сильно трещиноватыми, причем этот минерал и касситерит I испытали одинаковое тектоническое воздействие. Арсенопирит и пирит I образуют сростки кристаллов или зерен. Арсенопирит II ассоциирует с пиритом II и сульфидами цветных металлов. Его кристаллы не разбиты трещинами и иногда обладают ситовидным строением.

С ф а л е р и т является вторым по распространенности рудным минералом. Он образуется одновременно с фрейбергитом, бурнонитом, станнином, халькопиритом и галенитом, характерны аллотриоморфные срастания с ними. Сфалерит, как правило, содержит эмульсионную вкрапленность халькопирита или пирротина. Иногда он сечется прожилками пираргирита, менегинита, пирита III.

Х а л ь к о п и р и т, п и р р о т и н и м а р к а з и т присутствуют в рудах в весьма малых количествах (менее 3 %). Формы их выделений были указаны выше, при описании других минералов.

Г а л е н и т в рудах довольно част, но его количество не превышает 4 %. Он образует срастания с ровными границами со многими минералами меди, цинка и серебра. В то же время он рассекает кристаллы касситерита I и арсенопирита I, цементирует их обломки. Для галенита характерны высокие содержания висмута и серебра (табл.1). Формула его $(Pb_{0,89}Bi_{0,05}Ag_{0,05})_{0,99}S_1$.

М е н е г и н и т обнаружен всего в 18 % полированных шлифов, однако количество его составляет 5-20 % объема рудных минералов. Он образует аллотриоморфные агрегаты до нескольких миллиметров в поперечнике, а также длиннопризматические кристаллы длиной до 3 мм и шириной до 0,1 мм. Оптические

свойства менегинита стандартны: он белый со слабым зеленоватым оттенком, с сильным двуотражением и анизотропией. Для света с λ = 589 нм отражение R_g = 43 %, R_p = 36 %. Менегинит образовался в полисульфидную стадию одновременно с бурнонитом, фрейбергитом и галенитом, но раньше сульфосолей серебра типа пираргирита. Примеси в менегините небольшие, наиболее значимая - висмут (табл.I). Формула проанализированного менегинита $(Cu_{0,84}Fe_{0,04}Ag_{0,02})_{0,90}(Pb_{12,69}Bi_{0,34})_{13,03}Sb_{6,90}S_{24,18}$.

Таблица 1

Состав минералов по данным микрорентгеноспектрального анализа (лаборатория ВСЕГЕИ, микрозонд "Камека", аналитик С.Б.Матвиенко), %

Элемент	Галенит	Менегинит			Фрейбергит		Бурнонит		
		1-й анализ	2-й анализ	Среднее	1-й анализ	2-й анализ	1-й анализ	2-й анализ	Среднее
Cu	-	1,23	1,22	1,22	29,65	26,02	13,12	13,26	13,19
Pb	80,16	60,58	60,98	60,78	0,20	0,41	42,52	41,82	42,17
Zn	-	-	-	-	1,71	1,77	-		-
Fe	-	Нет	0,10	0,05	5,12	4,60	Нет	0,16	0,08
Ag	2,19	0,10	Нет	0,03	11,18	15,84	-	-	-
Bi	4,58	1,74	1,52	1,63	0,01	Нет	0,47	0,10	0,28
Cd	-	-	-	-	0,17	Нет	-		
Hg	-	-	-	-	Нет	Нет	-	-	
Sb	-	20,38	18,40	19,39	28,56	28,20	24,59	24,63	24,61
As	-	-	-	-	Нет	Нет	-	-	-
S	14,07	17,95	17,89	17,92	23,59	23,50	19,32	19,82	19,57
Сумма	101,00	101,98	100,11	101,04	101,09	100,34	100,02	100,03	100,02

Фрейбергит встречается довольно часто, но в небольших количествах. Обычно он представлен округлыми включениями в сфалерите и галените, угловатыми - в пирите, обломками - в арсенопирите I и пирите I. Он образует тесные срастания с галенитом, сфалеритом, халькопиритом, бурнонитом, станнином, сульфосолями серебра. Позже его образуются лишь акантит и пираргирит. Фрейбергит карнабских руд отличается сложным составом: для него характерны высокие содержания железа и цинка, а содержания серебра и меди колеблются в довольно широких пределах (табл.I). Состав фрейбергита из двух образцов следующий (первый образец взят с глубины 37,2 м, второй - с 380 м): I) $(Cu_{8,13}Ag_{1,81})_{9,94}(Fe_{1,59}Zn_{0,45}Cd_{0,03}Pb_{0,02})_{2,09}(Sb_{4,08}Bi_{0,07})_{4,15}S_{12,82}$. 2) $(Cu_{7,28}Ag_{2,61})_{9,89}(Fe_{1,46}Zn_{0,48}Pb_{0,04})_{1,98}Sb_{4,11}S_{13,02}$.

Бурнонит является достаточно редким минералом. Его агрегаты размером до 0,I мм образуют тесные аллотриоморфные, а изредка и графические срастания с фрейбергитом, менегинитом и галенитом. Оптические свойства его

стандартны, а состав близок к теоретическому (табл.I). Формула бурнонита (среднее из двух анализов) $(Cu_{1,00}Zn_{0,01}Fe_{0,01})_{1,02}Pb_{1,00}(Sb_{0,99}\times Bi_{0,01})_{1,00}S_{2,98}$.

Станнин обнаружен лишь в нескольких полированных шлифах, однако следует учесть возможность его пропуска из-за большой схожести в мелких зернах с фрейбергитом, бурнонитом и сульфосолями серебра. Станнин представлен либо мономинеральными включениями, либо срастаниями с фрейбергитом, расположенными в сфалерите. Поперечник вкрапленников - до 0,1 мм. Состав минерала близок к теоретическому (табл.2). Формула его $Cu_{2,04}\times (Fe_{0,88}Zn_{0,13}Pb_{0,01}Cd_{0,01})_{1,03}Sn_{1,03}S_{3,90}$.

Таблица 2

Состав минералов по данным микрорентгеноспектрального анализа (условия анализа см. в табл.1), %

Элемент	Станнин	Матильдит				Канфильдит	Висмутин
		1-й образец	2-й образец	3-й образец	Среднее		
Cu	29,67	-	-		-		0,15
Pb	0,45	2,18	1,38	0,52	1,36	1,36	4,09
Zn	1,95		-				
Fe	11,27	-	-	-		-	-
Ag	-	26,66	31,01	26,26	27,98	61,13	0,02
Bi	0,10	54,50	49,89	53,08	52,49	-	77,66
Cd	0,21	-	-				-
Sn	27,93	-	-	-		10,44	-
Te	-	-	-		-	15,32	
S	28,49	18,04	17,72	18,11	17,95	12,43	19,88
Сумма	100,07	101,38	100,00	97,97	99,78	100,68	101,80

Матильдит обнаружен в 28 % полированных шлифов, но в ряде случаев диагностика нуждается в подтверждении аналитическими методами. Отражение его близко к отражению галенита, двуотражение обычно не наблюдается, анизотропия средняя. Матильдит представлен зернами поперечником до 0,05 мм, расположенными в жильных минералах, а чаще в галените или сфалерите. Матильдит почти всегда образует срастания с висмут- и серебросодержащими минералами: висмутином, фрейбергитом, миаргиритом, канфильдитом, акантитом, полибазитом, козалитом. Он слагает каймы вокруг канфильдита. В матильдите нередки включения мелких зернышек самородного висмута, но чаще в матильдит включены зерна висмутина, а уже в него - зерна самородного висмута. Проанализирован матильдит из трех образцов (два - из керна скважин, глубина 350 и 386 м, один - из шахты 5). Обращают на себя внимание довольно широкие колебания содержаний серебра - от 26,2 до 31 % и висмута - от

49,9 до 54,5 % (табл.2). В целом же состав минерала близок к стехиометрическому: $Ag_{0,97}(Bi_{0,93}Pb_{0,03})_{0,96}S_{2,07}$.

К а н ф и л ь д и т установлен в нескольких полированных шлифах в небольшом количестве (доли процента). Цвет его светло-серый со слабым сиреневатым оттенком. При $\lambda = 589$ нм отражение около 25 %, двуотражение не наблюдается, анизотропия слабая. Канфильдит не отличим от аргиродита и похож на многие минералы: станнин, галлит и др. Канфильдит представлен угловатыми ксеноморфными зернами поперечником менее 0,05 мм, заключенными в жильных минералах, но чаще он образует срастания с матильдитом, висмутином и фрейбергитом. Микрорентгеноспектральный анализ минерала показал довольно значительную примесь свинца (1,36 %), очень высокое содержание теллура (15,32 %) и резко пониженные количества серебра и серы. Рентгеноструктурные исследования карнабского канфильдита не производились ввиду малого размера его зерен, поэтому позиция теллура в кристаллической решетке не ясна. Возможная формула $(Ag_{7,28}Pb_{0,09})_{7,37}Sn_{1,12}(S_{4,97}Te_{1,54})_{6,51}$. Однако тогда мы имеем дефицит катионной группы (7,37 вместо 8) и избыток анионной (6,51 вместо 6) по сравнению с теоретическим составом. Возможно, теллур в кристаллической решетке частично занимает позицию металлов. Эту разновидность минерала можно назвать теллуроканфильдитом.

В и с м у т и н, представленный округлыми зернами размером до 0,08 мм, заключен либо в матильдите, либо в сфалерите. В висмутине нередко содержатся мелкие зернышки самородного висмута, а крупные зерна висмута окаймляются висмутином. Висмутин содержит примесь свинца (табл.2). Формула его $(Bi_{1,83} \times Pb_{0,10}Cu_{0,01})_{1,94}S_{3,06}$. Самородный в и с м у т довольно част, но содержание его ничтожно, только в двух шлифах оно достигает 2 %. Обычный размер зерен висмута – сотые доли миллиметра, максимальные – 0,5 мм.

Перечисленные ниже минералы серебра относятся к числу редких, встреченных лишь в одном-пяти полированных шлифах в малых количествах. П и р а р г и р и т представлен небольшими зернами, расположенными на границе галенита и сфалерита, и тонкими прожилками в миаргирите, сфалерите и галените. В менегините пираргирит развивается по трещинам спайности. Мелкие зерна м и а р г и р и т а заключены в галените, сфалерите и нерудных минералах, часто они образуют срастания с пираргиритом. К о з а л и т дает вытянутые зерна длиной около 0,01 мм, включенные в галенит. Ш т е р н б е р г и т в виде мелких округлых зерен и пластин заключен в галенит, менегинит и арсенопирит. Минерал определяется довольно легко по желтовато-розовому цвету, среднему отражению, ясному двуотражению, сильной анизотропии и низкой твердости. Зерна п о л и б а з и т а располагаются в сфалерите. Для минерала характерны сиреневатый цвет, сильная анизотропия и светотравление. А к а н т и т отмечен в виде нескольких мелких зернышек в галените. Самородное с е р е б р о образует зерна поперечником тысячные доли миллиметра, включенные в пираргирит, полибазит и жильный минерал.

М а к и н а в и т представлен несколькими пластинами в халькопирите. Магнетит встречается редко и в ничтожном количестве. Он образует мелкие зер-

на и тончайшие субграфические срастания с пиритом III и марказитом. В о л ь ф р а м и т встречен только в одном шлифе. Это призматические кристаллы длиной до I мм среди жильных минералов. Оксиды титана - р у т и л, а н а т а з и и л ь м е н и т - являются большей частью акцессорными минералами рудовмещающих гранитов. Однако при росте метакристаллов пирита реже арсенопирита и касситерита они захватывались последними, не подвергаясь каким-либо существенным изменениям. Среди этих минералов преобладает рутил. Вторичные минералы - ковеллин, халькозин, борнит, гидрогетит и лейкоксен - встречены лишь в полированных шлифах, отобранных в разведочной шахте 5.

Как мы видим, руды Карнабского месторождения отличаются сложностью минерального состава и ассоциацией минералов олова, свинца, цинка, висмута и серебра. Изучение взаимоотношений между минералами позволяет выделить две главные парагенетические ассоциации, характерные для двух стадий минералообразования. Наиболее ранняя и важнейшая в промышленном отношении ассоциация - касситерит I + арсенопирит I + пирит I. Сначала кристаллизовался касситерит, затем касситерит совместно с арсенопиритом, заканчивалась стадия совместным ростом арсенопирита и пирита (табл.3). Эта ассоциация сопровождается грейзенизацией рудовмещающих гранитов.

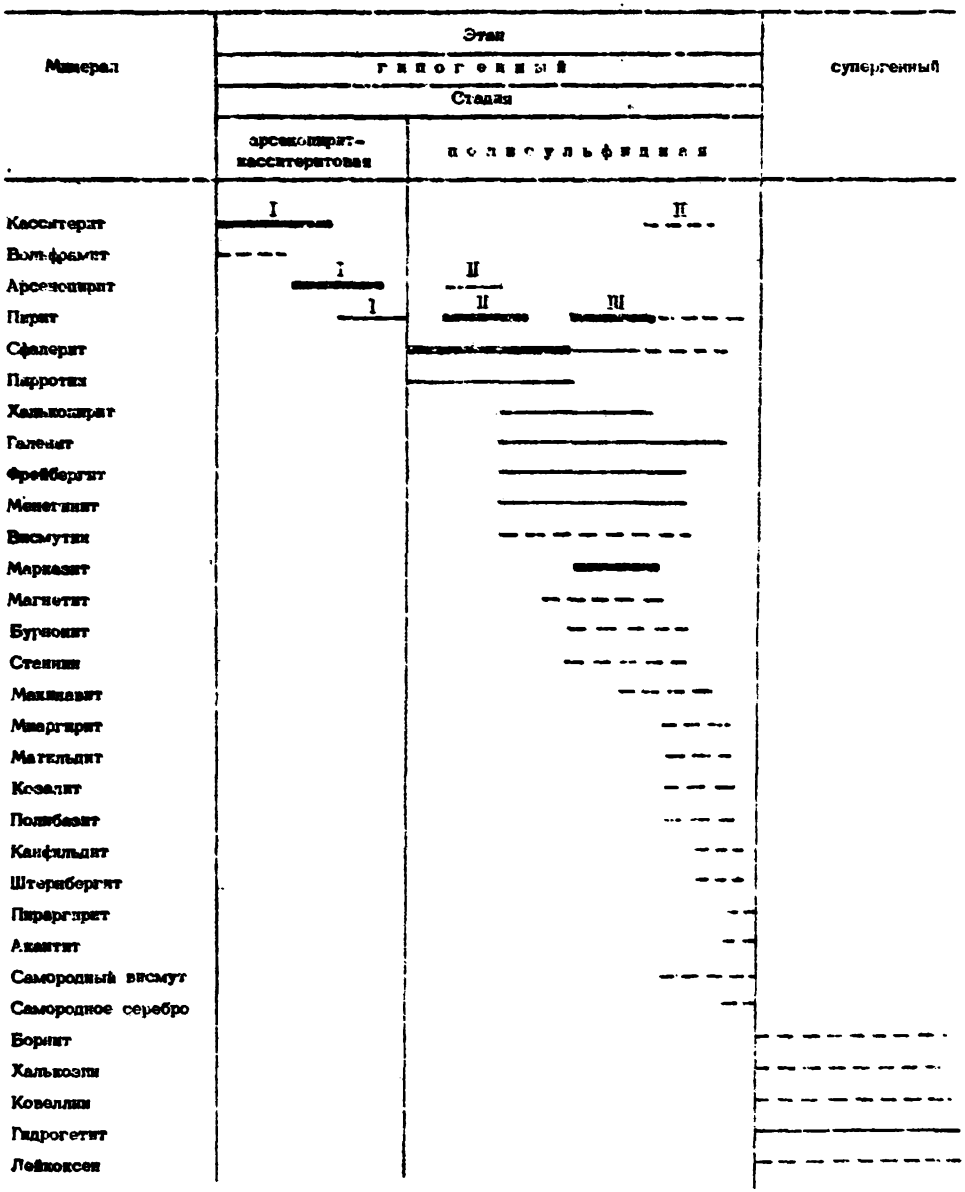
После минералообразования первой стадии наблюдаются перерыв и проявление интенсивных тектонических подвижек, приведших к катаклазу минералов первой стадии. Вторая стадия - полисульфидная - была весьма растянута во времени и сопровождалась слабыми локальными тектоническими движениями. Началась она с образования сфалерита, пирита II, арсенопирита II и, возможно, пирротина. В это же время происходила незначительная перекристаллизация (регенерация) минералов первой стадии. Далее формировалась ассоциация сфалерит + халькопирит + пирротин + галенит + фрейбергит + менегинит + бурнонит + станнин. В конце образования этой ассоциации к ней добавились пирит III и марказит, висмутин, касситерит II. Сульфосоли серебра - матильдит, миаргирит, козалит, полибазит - возникли вместе с поздними порциями сфалерита, галенита, фрейбергита. Завершилась стадия отложением канфильдита, штернбергита, пираргирита, акантита, самородных висмута и серебра. Возможно, полисульфидную стадию, весьма продолжительную по времени и сложную по набору минералов, следовало бы разделить на две подстадии: пирит-халькопирит-сфалеритовую и сульфосольную. Однако подобное деление было бы условным, поскольку процесс минералообразования был непрерывным. Сульфидное оруденение сопровождалось березитизацией вмещающих пород.

Элементы вертикальной зональности в распределении рудных минералов четко не устанавливаются. В одних скважинах (№ 514, 1325) отмечается приуроченность менегинита, галенита, станнина и бурнонита к верхним горизонтам, в других (№ 515, 516) - к средним.

Если исходить лишь из минерального состава руд и ассоциации касситерита с минералами серебра, Карнабское месторождение можно было бы отнести к малоглубинной олово-серебряной формации. Однако касситерит месторождения по огранке, цвету, коэффициенту термоЭДС близок к касситеритам касситерит-кварцевой формации. Оловянное оруденение сопровождается грейзенизацией гранитов.

Таблица 3

Последовательность образования рудных минералов



Примечание. Распространенность минерала: ▬ – широкая, ——— – средняя, – – – – незначительная. Римскими цифрами обозначены генерации минералов.

Обращают на себя внимание и следующие факты: отсутствие почковидных, длиннопризматических и радиально-лучистых агрегатов касситерита, ничтожное содержание индия в касситерите и отсутствие синхронных с касситеритом сульфидов цветных металлов и минералов серебра. Все это указывает на принадлежность этого оловянного оруденения, скорее всего, к достаточно глубинной кварц-касситеритовой формации, но не к сульфидно-касситеритовой или олово-серебряной. Совмещение серебряной и висмутовой минерализации с оловянной объясняется, вероятнее всего, структурно-тектоническими факторами: приуроченностью разнотемпературного и, возможно, разновозрастного оруденения к одним и тем же долгоживущим зонам дробления и рассланцевания. Карнабское месторождение является примером совмещения двух формаций: высокотемпературной кварц-касситеритовой (грейзеновой) и средне-низкотемпературной серебро-полиметаллической (березитовой).