ОСОБЕННОСТИ МЕТАСОМАТОЗА И ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ ТАПСА-КААХЕМСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ТУВЫ

А. Ф. КОРОБЕЙНИКОВ, А. В. МАЦЮШЕВСКИЙ, Л. Б. МАЦЮШЕВСКАЯ (ТПИ)

В пределах района распространены нижнекембрийские существенно карбонатные и эффузивные породы, образующие складки широтного простирания. Складчатые структуры осложнены субширотными и субмеридиональными разрывами, определяющими глыбовое строение района и контролирующими интрузии гипербазитового и таннуольского гранодиоритового комплексов [3]. В приконтактовых частях гранодиоритовых массивов развиты золотоносные магнезиальные и известковые скарны. Последовательность формирования контактово-метасоматических и гидротермальных пород представлена в табл. 1.

Размещение контактово-метасоматических пород определялось контактом плутона, разрывными нарушениями и зонами трещиноватости. Скарны развиваются за счет карбонатных и алюмосиликатных пород. Среди них отчетливо обособляются два типа: магнезиальные, образовавшиеся в послемагматическую стадию и секущие магнезиальные. В свою очередь, известковые скарны рассекаются маломощными жилами аплитов и пегматитов. Процессы контактового метасоматоза завершились формированием мелких магнетитовых залежей, амфибол-хлоритовых и серпентиновых пород.

Магнезиальные скарны обычно в виде маломощных оторочек окаймляют выходы интрузивных пород среди доломитовых и бруситовых мраморов. Форма скарновых тел линзовидная, гнездовая или неправильно пластовая. Размеры тел от 2—3 до 10—20 метров в ширину при длине 5—30 метров. Границы с диоритами отчетливые, а со стороны карбонатных пород чаще постепенные. Внутреннее строение их зональное: у контакта с диоритами господствуют существенно шпинелевые породы, которые сменяются пироксен-паргаситовыми, затем флогопитовыми и, наконец, фассаит-гроссуляровыми скарнами и скарнированными мраморами (фассаит-доломитовыми и форстерит-доломитовыми кальцифирами). Строение отдельных скарновых зон весьма неоднородно: очень часто среди пироксеновой массы появляются шпинель и паргасит, придающие породе пятнистый облик. В других случаях скарны сложены шпинелью, пироксеном с примесью геленита.

Анализ баланса вещества при метасоматозе показал, что возникновение магнезиальных скарнов обязано процессам алюмомагнезиального метасоматоза карбонатных пород. При этом в зоны метасоматоза

привносились Si, Al, Fe и особенно Mg, а выносились Ca и CO_3, причем привнос вещества преобладал над выносом (табл. 2). Повышение концентрации Si, Al, Mg, Fe в зонах метасоматоза обусловливалось, скорее всего, как мобилизацией их из прилегающих эффузивных пород, так и особенно привносом растворами из глубинного магматического очага, сформировавшего гранодиоритовый плутон. В целом формирование скарнов происходило инфильтрационно-биметасоматическим путем. Среди описываемых парагенетических ассоциаций отчетливо обособляются две группы: 1) шпинель+фассаит+паргасит+флогопит+ +ксантофиллит (гистерогенный)±магнетит±форстерит (как примесь) ±доломит и кальцит (как реликт); 2) фассаит±геленит±доломит+ +кальцит (как реликт)+серпентин (гистерогенный). В конечном счете возникает ассоциация, отвечающая шпинель-пироксен-паргаситовым, шпинель-пироксен-геленитовым скарнам и доломит-пироксеновым кальцифирам.

Известковые скарны формируются за счет карбонатных и алюмо-силикатных пород в зонах инфильтрации послемагматических растворов приконтактового ореола гранодиоритовой интрузии. Среди них различаются эндо- и экзоскарны. Первые формируются за счет диоритов краевой фации интрузии и сложены диопсид-авгитом, гроссуляром, скаполитом и реликтовым плагиоклазом. В качестве примесей в них присутствуют сфен, апатит, циркон, ортит, гистерогенный тремолит-актинолит, магнетит, эпидот, хлорит и серпентин. Экзоскарны возникают на месте известняков, порфиритов, туфов и магнезиальных скарнов и состоят из диопсида, салита, граната, везувиана, волластонита, роговой обманки и реликтовых карбонатов. Из вторичных минералов в них развиты актинолит, магнетит, гематит, эпидот, хлорит, серпентин, тальк, пренит.

Известковые скарны чаще всего образуют линзовидные, пластовые и жилообразные тела, протягивающиеся вдоль контактов интрузивных тел и зон тектонических разрывов, и дают прерывистые оторочки вдоль контактов диоритов с известняками и реже порфиритами. Размеры скарновых тел достигают десятков и первых сотен метров по простиранию при мощности в 3—5 до 30—60 метров. Скарнирование существенно карбонатных пород происходит интенсивнее, чем эффузивных. Исходя из количественных соотношений главных породообразующих минералов, представляется возможным выделить пироксеновые, гранатовые и гранат-пироксеновые скарны.

Возникновение известковых скарнов обязано процессам известково-магнезиально-железистого инфильтрационного метасоматоза при подчиненном значении биметасоматических явлений. При этом образование пироксеновых и гранатовых скарнов на месте магнезиальных метасоматитов вызывалось привносом Si, Fe, Ca и выносом остальных петрогенных элементов и их перераспределением в краевых частях зон метасоматоза (табл. 2). Скарнирование диоритов обусловливалось привносом Fe, Ca, Mg и выносом остальных компонентов растворами. Наоборот, возникновение апокарбонатных скарнов сопровождалось привносом Si, Al, Fe, Mg и выносом избыточного кальция.

Послескарновые метасоматиты (магнетит-гематитовые руды) наиболее полно представлены в зонах инфильтрационного метасоматоза на участках скарновых тел, подвергшихся интенсивному дроблению вдоль тектонических зон. Во многих случаях магнезиальные и известковые скарны почти полностью замещаются более низкотемпературными минеральными образованиями. Среди них можно выделить (в порядке возрастной последовательности): 1) магнетитовые руды, 2) тремолит-актинолитовые, 3) хлорит-серпентиновые, 4) кварц-каль-

Таблица 1.

Схема классификации контактово-метасоматических и гидротермальных образований золоторудных проявлений Центральной Тувы

Тип процесса	Этапы минералообразования	Стадии минералообразования	Минеральные ассоциации
Магматический	Контактово-метаморфический	Контактовых роговиков и мраморов	Мраморы бруситовые апоперикласовые Плагиоклаз-пироксеновые роговики Плагиоклаз-роговообманковые роговики
Послемагматический	Контактово-метасоматический	Магнезиальных скарнов	Шпинель-пироксен-паргасит-флогопитовая Шпинель-пироксен-геленитовая Диопсидовая Диопсид-форстеритовые кальцифиры
		Известковых скарнов	Пироксен-гранатовая с (везувианом и скаполитом) Волластонитовая
		Послескарновых метасоматитов (магнетитовых руд)	Магнетит-актинолит-хлоритовая Кварц-кальцит-эпидотовая Серпентин-тальковая Кварц-гематитовая
	Гидротермальный	Кварцево-карбонатно-сульфидная	Кварцево-пирит-халькопиритовая Пирит-халькопирит-борнит-галенитовая Кварцево-карбонатная Кальцит-ломонтитовая
		Околорудных метасоматитов (гидротермально-измененных пород)	Серицит-кварц-карбонатная (березитовая) Карбонатная
Экзогенный		Гипергенная	Окисленных руд (гетит-лимонит-куприт-тенорит-самородная медь-малахит-азурит-хризоколла) Вторичных сульфидов (ковеллин-борнит-халькозин)

цит-эпидотовые и 5) кварц-гематитовые породы (табл. 1). Обычно в центре зон размещаются мелкие магнетитовые линзы, оторачивающиеся тремолит-актинолитовыми, хлоритовыми и серпентиновыми породами.

Серпентинизация скарнов и скарнированных известняков имеет широкое развитие. Серпентин замещает фассаит, доломит, шпинель, тремолит, образуя пятнистую вкрапленность, гнездовые и линзовидные выделения среди кальцитового агрегата. Процесс серпентинизации сопровождается привносом гидротермами магния в зоны скарнов и околоскарновых пород и выносом остальных петрогенных элементов (табл. 2).

Кварц-гематитовые образования среди карбонатных пород и скарнов приурочены к трещиноватости пород. Возможно, они являются самыми поздними продуктами деятельности растворов, обогащенных железом и кремнием в период выщелачивания скарнов. Скарнированные известняки вдоль трещинок постепенно замещаются кварцем роговиковой структуры и гематитом, вплоть до образования биминеральных кварц-гематитовых пород. Мощность таких тел не превышает первых метров, протяженность — первых десятков метров. Тела сложены кварцем, гематитом, реликтовым кальцитом, доломитом, пироксеном и серпентином. Текстура полос полосчатая, массивная или сетчатая, благодаря чередованию существенно гематитовых и кварцевых полос.

Карбонатно-кварц-золото-сульфидные руды

Гидротермальный золоторудный процесс наложен на скарны после дробления последних. В гидротермальную стадию возникло несколько новых минеральных ассоциаций: 1) карбонатно-кварц-золотосульфидная, 2) золото-кварцевая, 3) кальцит-ломонтитовая, 4) карбонатная и 5) березитовая (табл. 1). Последние две являются околорудными образованиями, причем четвертая развита в золотоносных скарнах, а пятая — в контактах золото-кварцевых жил, секущих гранодиориты. В целом отчетливо обособляются два типа руд: 1) кальцит-золото-медносульфидный прожилково-вкрапленный в скарнах и магнетитовых линзах и 2) кварцево-золоторудный жильный в гранодиоритах и реже в скарнах.

В пределах изучаемого района все известные золоторудные проявления размещаются в приконтактовой полосе гранодиоритового интрузива и приурочены главным образом к телам скарнов, магнетит-гематитовым линзам и реже кварцевым жилам апикальной части плутона.

Золото-сульфидный прожилково вкрапленный тип оруденения охотнее возникает в гранат-пироксеновых скарнах и магнетит-актинолит-хлоритовых линзах. Рудные тела представляют собой зоны карбонатизированных и окварцованных скарнов, пронизанных тонкими прожилками и рассеянной вкрапленностью карбонатов, кварца, сульфидов и золота. Форма рудных тел определяется характером тектонической трещиноватости и пористости, контролирующей оруденение. В общем случае она отвечает гнездовой и линзовидной.

Золото-кварцевым типом руд представлены единичные кварцевые жилы, залегающие в гранодиоритах. В зальбандах кварцевых жил породы подвержены березитизации. Протяженность зон околорудного изменения пород обычно соответствует размерам кварцевых жил и составляет первые десятки метров. Березиты сложены карбонатами, мусковитом, пиритом, кварцем, редкими альбитом и хлоритом. Формирование этих пород предшествует жилообразованию.

Таким образом, стадийность послемагматических процессов, неоднородный прогрев вмещающих пород, наличие резко выраженного околоинтрузивного температурного градиента обусловили появление разнотемпературных метасоматитов и наблюдаемые размещения их в пределах рудного поля. Высокотемпературные магнезиальные скарны магматической стадии приурочены непосредственно к контактам гранодиоритовых тел с карбонатными породами, а более низкотемпературные известковые сменяют их в сторону пород континента и проявляются вдоль тектонических зон.

Гидротермальные образования наоборот контролируются не степенью прогрева вмещающей среды, а наличием проводящих каналов (трещин, границ разнородных слоев, пористостью и т. п.) и размеща-

ются как внутри контактово-метасоматического ореола, так и за его пределами (кварцево-золоторудные жилы в апикальной части интрузива). Вероятная общность источника и путей движения послемагматических растворов привела к наложению поздних метасоматических и гидротермально-жильных ассоциаций на уже сформированные скарновые тела.

Особенности контактово-метасоматических и гидротермальных образований района следующие:

1. Наличие магнезиальных и известковых скарнов, что указывает на достаточно большую длительность контактово-метасоматических процессов. Термодинамические расчеты и термометрические исследования показывают, что они формировались при температурах 830—600°С и 600—400°С соответственно.

2. Пространственное совмещение в скарновых зонах специфических ассоциаций: шпинель+фассаит+паргаситовой, возникающей в условиях значительных глубин, шпинель-геленитовой, бруситовой, формирующейся в условиях малых глубин [1], — их высокотемпературный парагенезис, характер проявления и размещения позволяют полагать о формировании контактово-метасоматических и гидротермальных комплексов в гипабиссальной зоне глубинности, переходной к мезоабиссальной.

3. Интенсивная серпентинизация скарнов и околоскарновых пород. Согласно термодинамическим расчетам и экспериментальным данным [2, 4] температура процесса может быть принята в 300—200°С, которая отвечает минимальной температуре замещения пироксенов и кварц-доломитовых пород серпентином.

4. Широкое развитие замещений существенно карбонатных кварц-гематитовыми. За верхний температурный предел окварцевания доломитизированных известняков может быть принята минимальная температура образования тремолита за счет доломита и кварца, которая составляет 150°С [4].

5. Связь золотого оруденения с новым гидротермальным этапом, наложившимся на скарновый, в течение которого возникли актинолит-хлорит-тальк-кварц-карбонатные породы, несущие пирит, пирротин, халькопирит, борнит и галенит. Золото находится в срастании с андрадитом, пироксеном, магнетитом, актинолитом, хлоритом и особенно кварцем, кальцитом, борнитом и халькопиритом, которые оно обрастает или замещает.

Рудовмещающие скарны и диориты подвержены интенсивной карбонатизации и березитизации. По характеру околорудных процессов и температурам декрепитации кварцев можно предположить, что температуры минералообразующих растворов составляли 320—180°С. Наиболее перспективными в отношении золотоносности являются окварцованные, карбонатизированные и сульфидизированные участки скарнов в тектонических зонах с неоднократными внутриминерализационными подвижками.

6. На месторождении широко развита зона окисления, особенно на площадях развития разрывов и зон повышенной трещиноватости пород (до глубины 50—100 и более метров), которая, возможно, повлияла на распределение золота в рудных телах.

Появление вторичных медных минералов в зонах окисления скарнов (хризоколлы, малахита, азурита) может служить надежным поисковым признаком на медно-сульфидную золотоносную минерализацию.

Изменение состава и баланс вещества при контактовом метасоматозе карбонатных и алюмосилик

Окислы	755-а		417		313		51-а			51-б		51-в				51-г		
	Вес %	Колич. в-ва	Вес %	Колич. в-ва	Вес %	Колич. в-ва	Вес %	Колич. в-ва	Привнос + Вынос —	Вес %	Привнос + Вынос —	Вес %	Колич. в-ва	Привнос + Вынос —	Вес %	Колич. в-ва	Привнос + Вынос —	Вес %
SiO_2	54,84	154,0	1,05	2,83	0,58	1,56	10,58	33,6	+30,7	0,58	+32,0	51,26	168,3	+135,1	38,38	122,8	+89,7	51,26
TiO_2	0,74	2,1					0,10	0,3	+0,3	0,10	+0,3	н.о		−0,3	0,26	0,9	+0,6	н.о
Al_2O_3	16,89	48,5					50,47	174,0	+174,0	50,47	+174,0	2,13	7,1	−151,1	12,65	40,6	−117,4	2,13
Fe_2O_3	3,40	9,5					7,92	25,0	+25,0	7,92	+25,0	2,60	8,6	−16,2	15,27	49,2	+24,4	2,60
FeO	5,75	16,3					1,87	6,0	+6,0	1,87	+6,0	3,23	10,8	+4,9	0,27	0,9	−5,0	3,23
MnO	0,12	0,3					0,12	0,4	+0,4	0,12	+0,4	н.о		−3,8	0,40	1,3	−2,5	н.о
CaO	8,16	23,2	54,79	1,47	32,94	88,6	1,99	6,4	−140,6	1,99	−82,2	24,39	79,9	+73,6	32,10	102,7	+96,4	24,39
MgO	4,80	13,4	0,68	1,84	19,56	52,5	22,84	72,3	+70,4	22,84	+20,0	15,10	49,9	−22,0	0,07	0,2	−71,7	15,09
Na_2O	2,90	8,1					1,01	3,20	+3,2	1,01	+3,2	0,23	0,7	−2,5	0,11	0,4	−2,8	0,23
K_2O	0,95	2,7					0,65	2,30	+2,3	0,65	+2,3	0,10	0,3	−1,7	0,10	0,3	−1,7	0,09
P_2O_5	0,14	0,4					0,3	0,1	+0,1	0,3	+0,3	н.о		−0,1	н.о	н.о	−0,1	
п. п. п.	1,68	3,6	43,57	118,3	47,3	127,3	1,69	5,4	−112,9	0,69	−122,0	0,42	1,4	−3,9	0,22	0,7	−4,6	0,42
Сумма	100,37	282	100,09	270	100,38	270	99,26	315	+312	99,26	+269	99,45	327	+213,6	99,83	320	+210,5	
Объемный вес	282		270		270		3,15		−258	315	−189	327		−201,6	320		−206,7	327

755-а — неизмененный диорит краевой фации таннуольского гранодиоритового комплекса (рудное тело № 7); 417— мрамор из контактов с диоритами (известковый карьер, безрудная зона); 313— доломитизированный известняк (рудное тело № 3); 51-а — шпинель-пироксен-куммингтонит-флогопитовый скарн за счет мраморов (рудное тело № 8); 51-б — то же за счет доломитизированных известняков; 51-в — диопсидовый скарн за счет магнезиальных скарнов (обр. 51-а); 51-г — гранатовый скарн за счет магнезиальных скарнов (обр. 51-а); 837 — диопсидовый экзоскарн, образованный на месте мраморов (рудное тело № 8); 403-3 — гранатовый экзоскарн, возникший на месте мраморов (Безрудная зона); 755-б — скарнированный диорит (рудное тело № 7); 7125 — актинолитизированный диопсидовый экзоскарн из 1 рудного тела; 6 — скарнированный мрамор; 6—2— серпентинизированный оскарнованный мрамор.

Химические анализы выполнены в Центральной лаборатории Красноярского геологического управления

Таблица 2

атных пород Тардана (в граммах на 100 куб. см породы)

837	403-3		755-6			7125			6		6—2		
Привнос + Вынос —	Вес %	Привнос + Колич. —	Вес %	Колич. в-ва	Привнос + Вынос —	Вес %	Колич. в-ва	Привнос + Вынос —	Вес %	Колич. в-ва	Вес %	Колич. в-ва	Привнос + Вынос —
+165,5	38,38	+120,0	46,24	136,5	−17,5	64,3	178,0	+10,0	25,60	72,0	21,00	56,1	−15,6
	0,26	+0,9	0,25	0,7	−1,4	н.о							
+7,0	12,65	+40,6	17,17	50,8	+2,3	0,66	1,8	−5,3	1,1	3,1	0,4	1,1	−2,0
+8,5	15,27	+49,2	2,91	8,5	−1,0	2,18	6,0	−2,6	1,3	3,6	0,6	1,6	−2,6
+11,6	0,27	+0,9	6,18	18,3	+2,0	6,48	18,0	+7,2	1,65	4,6	0,1	0,3	−4,3
	0,40	+1,3	0,13	0,4	+0,1	0,30	0,8	+0,8					
−6,7	32,10	−44,3	12,76	38,0	+14,8	9,46	26,2	−53,7	39,0	108,1	20,0	53,6	−51,5
+48,2	0,07	−1,6	11,00	32,7	+19,3	14,67	40,5	−9,4	8,50	23,6	21,1	56,6	+33,0
+0,8	0,11	+0,4	1,12	3,3	−4,8	0,13	0,4	−0,3	0,1	0,03	0,1	0,2	−0,2
+0,3	0,10	+0,3	0,31	0,9	−1,8	0,10	0,3	0	0,05	0,02	0,1		
	н.о		0,04	0,1	−0,3								
−126,0	0,22	−126,6	2,34	6,8	+3,2	1,48	4,1	+2,7	22,86	63,6	36,1	97,1	+33,5
+232		+214,6	100,45	291	+41,7	99,87	276	+20,7	100,16	289	99,36	267	+66,5
−187,0	320	−168,4	291		−26,8	276		−70,6	289		267		−78,6

ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Жариков. Геология и метасоматические явления скарново-полиметаллических месторождений Западного Карамазара. М., Изд. АН СССР, 1959.

2. В. А. Николаев, В. В. Доливо-Добровольский. Основы теории процессов магматизма и метаморфизма. М., Госгеолтехиздат. 1961.

3. А. М. Хазагаров, А. И. Неймарк, К. М. Кильчичаков. Золотое оруденение в скарнах Тапса-Каахемского междуречья. Мат. геологич. конф., Красноярск, 1966.

4. И. П. Щербань. О температурах образования кварцево-доломитовых и кварцево-магнезитовых пород. Сб. «Минералогическая термометрия и барометрия», т. II. М., Изд. «Наука», 1968.