

МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ РУД И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ КВАРЦЕВЫХ ЖИЛ С ЗОЛОТОСЕРЕБРЯНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИЕЙ МИЛОГРАДОВСКОГО РУДОПРОЯВЛЕНИЯ (ПРИМОРСКИЙ КРАЙ)

Е. В. Ненахова

Воронежский государственный университет

Поступила в редакцию 16 августа 2016 г.

Аннотация: в статье приводятся результаты изучения особенностей золотосеребряной минерализации кварцевых жил, а также результаты вакуумной декриптометрии образцов кварца из главных рудных зон рудопроявления Милоградовское. Рудопроявление локализовано в пределах Лимовской кальдеры (размером 3×3,5 км), ограниченной дуговыми разломами. Золотосеребряное оруденение приурочено к кварцевым жилам в дайках игнимбритов и туфов риолитового и риодацитового состава. Основными полезными компонентами руд являются самородное золото различной пробы, электрум, акантит, галогениды серебра – кераргирит и эмболит, также отмечается самородное Ag, Pt и Pd. Сульфидная форма Ag резко преобладает над самородной. По минеральным ассоциациям устанавливается четыре стадии оруденения: 1 – сульфиды Fe, 2 – сульфиды Pb и Zn, 3 – сульфиды Ag, 4 – хлориды и бромиды Ag. Сделаны предварительные выводы о температурных условиях их образования.

Ключевые слова: Милоградовское рудопроявление, золото, кераргирит, акантит, вакуумная декриптация.

MINERAL COMPOSITION OF ORES AND FORMATION CONDITIONS OF QUARTZ VEINS WITH A GOLD-SILVER MINERALIZATION OF THE MILOGRADOVSKOE OCCURRENCE (PRIMORYE TERRITORY)

Abstract: the paper presents the results of the research of the main features of gold-silver mineralization and the results of vacuum decrepitation of quartz samples of the main ore zones of the ore occurrence Milogradovskoe. The occurrence is localized within the Limovsky caldera (the size 3×3,5 km) limited to arc breaks. Gold-silver mineralization is dated for quartz veins in dykes of ignimbrit and tuff of rhyolitic and riodacite composition. The main useful components of ores are native gold of various fineness, electrum, silver halogenides - the cerargyrite and embolit, native Ag, Pt and Pd. The sulphidic Ag form sharply prevails over native. On mineral associations four stages of mineralization are established: 1 – sulfides of Fe, 2 – sulfides of Pb and Zn, 3 – sulfides of Ag, 4 – chlorides and bromides of Ag. The preliminary conclusions about the temperature conditions of these associations are made.

Key words: Milogradovskoe occurrence, gold, acanthite, cerargyrite, vacuum decrepitation

Милоградовское рудопроявление расположено в пределах южной части Восточно-Сихотэ-Алинской золото-серебрудной минерагенической зоны, в пределах которой известны и другие золото-серебряные объекты – месторождение Союзное, рудопроявления Алтай, Ближнее, Приморское и др.

Рудопроявление приурочено к Маргаритовской полигенной вулканотектонической депрессии, включающей в себя три сопряженные кальдеры – Лимовскую, Бровкинскую и Ново-Петропавловскую.

Милоградовское рудопроявление локализовано в пределах Лимовской кальдеры (размером 3×3,5 км), ограниченной дуговыми разломами. Фундаментом, на котором она была заложена, являются игнимбриды и туфы приморской серии, возраст которых равен 83–85 млн лет [1]. Кальдера выполнена туфами и игнимбри-

тами риолитов и риодацитов сияновского и богопольского комплексов, возраст которых по данным U–Pb изотопного датирования равен 69–70 и 59–60 млн лет соответственно [1].

Для Лимовской кальдеры характерно широкое развитие субвулканических и дайковых внедрений – трахиандезитов, дацитов, кварцевых порфиров. Большинство даек сопровождается кварцевыми жилами с золотосеребряным оруденением. Возраст рудовмещающего комплекса по данным В.Г. Сахно составляет 48–52 млн лет [2]. Рудные тела представлены как отдельными кварцевыми жилами, так и рудными зонами, состоящими из серии кварцевых жил и прожилков. Достоверно установленная протяженность жил – до 1,5 км при мощности 0,7–3 м с редкими раздувами до 7 м. В настоящее время на Милоградовском рудо-

проявлении установлено 13 рудных зон – Южная, Карлик, Сюрприз, Ось, Загадка и др. Кроме того, имеются высокие перспективы обнаружения новых рудных тел.

На данной стадии изучения объекта одним из приоритетных направлений является исследование особенностей золотосеребряной минерализации, которая к настоящему времени остается недостаточно изученной. Важнейшей задачей при этом является выделение стадий рудообразования и установление их температурных параметров.

Основными полезными компонентами руд являются самородное золото различной пробыности, электрум, акантит, галогениды серебра – кераргирит и эмболит, также отмечается самородное серебро. Необходимо отметить резкое преобладание сульфидной формы серебра над самородной. Кроме того, в составе рудных жил В. Г. Сахно установлено наличие платины и палладия [3].

Кераргирит (хлораргирит) в значительных количествах наблюдался при изучении шлиховых проб, отобранных из элювиально-делювиальных отложений над кварцевыми жилами зоны Южной. Наиболее характерной формой выделения кераргирита являются кубические кристаллы размером 0,05–0,25 см, часто собранные в группы, образующие параллельные или почти параллельные срастания десятков мелких ин-

дивидов. Иногда отмечались мелкие идиоформные кристаллы кераргирита на поверхности зерен аканти-та, а также причудливые срастания кераргирита с хлоритом. Помимо кристаллов, кераргирит образует почковидные и восковидные массы. Часто на отдельных участках восковидных масс наблюдаются фрагменты мелких кристаллов кубической сингонии. Цвет поверхности индивидов весьма разнообразен – от белого и светло-серого с буроватым, реже сиреневатым оттенком до темно-серого, иногда почти черного. Характерен восковой, жирный блеск. Однако при раздавливании минерала иглой все зерна обнаруживают серебристо-белую сердцевину с металлическим или алмазным блеском. Часто на гранях кристаллов отмечаются следы разъедания в виде мелких кавернозных углублений.

Химический анализ образцов кераргирита, проведенный с помощью электронного микроскопа Jeol 6380LW с системой количественного энергодисперсионного анализа «Inca» (ВГУ, аналитик С. М. Пилюгин) показал, что содержания основных его компонентов колеблются в следующих пределах: серебро – 64,53– 75,09 %, хлор – 12,62–24,49 % (табл. 1). Большая часть анализов также показала значительные содержания брома – 0,6–6,4 %, в единичных случаях даже 14,31 % и 18,81 %, что позволяет отнести такие индивиды к редкой бромсодержащей разновидности керар-

Таблица 1

Химический состав зерен кераргирита, мас. %

№ обр.	Ag	Cl	Br	Cd	Te	I	сумма
5.1	75,09	20,08	-	4,82	-	-	100,00
5.2	72,78	19,88	4,40	2,93	-	-	100,00
5.3	71,63	23,14	1,69	2,93	-	-	100,00
5.4	72,70	23,95	2,63	0,72	-	-	100,00
5.6	72,07	24,49	0,6	2,85	-	-	100,00
5.7	69,86	21,48	4,51	4,15	-	-	100,00
5.8	70,65	24,05	0,91	2,90	-	-	100,00
5.9	71,73	22,65	0,64	3,55	0,72	0,72	100,00
5.10	72,94	22,95	-	4,11	-	-	100,00
5.11	69,75	23,32	2,04	4,89	-	-	100,00
5.12	70,68	24,14	0,95	3,33	0,91	-	100,00
5.13	73,76	22,14	-	4,11	-	-	100,00
5.14	71,93	21,77	2,13	4,18	-	-	100,00
8.1	72,23	23,74	1,35	2,68	-	-	100,00
8.2	74,65	21,93	0,37	3,05	-	-	100,00
8.4	64,53	12,62	18,81	2,48	0,77	0,79	100,00
8.5	67,29	15,23	14,31	2,05	1,13	-	100,00
8.6	72,88	22,58	-	4,54	-	-	100,00
8.7	73,48	22,99	0,39	2,09	1,05	-	100,00
8.8	71,25	22,97	2,73	3,05	-	-	100,00
8.9	72,34	21,06	3,68	2,92	-	-	100,00
8.10	71,61	23,04	1,30	4,05	-	-	100,00
8.11	72,75	23,57	-	2,61	1,07	-	100,00
9.1	71,53	20,57	6,40	-	1,50	-	100,00
9.2	71,24	23,98	0,63	2,85	0,63	0,67	100,00
9.3	71,84	24,44	0,61	2,50	-	0,6	100,00
9.4	72,45	23,74	-	3,01	0,80	-	100,00
9.5	72,57	24,33	-	3,10	-	-	100,00
9.6	72,57	23,86	0,8	2,76	-	-	100,00
9.7	69,26	21,36	5,80	2,33	0,68	0,57	100,00

Таблица 2

Химический состав акантита, мас. %

№ обр.	Ag	S	Zn	Fe	Pb	Sb	Cu	Сумма
1	82,08	16,59	1,33	-	-	-	-	100,00
2	81,47	16,81	1,72	-	-	-	-	100,00
3	78,90	18,89	2,21	-	-	-	-	100,00
4	81,90	16,85	1,25	-	-	-	-	100,00
5	81,51	17,15	0,88	0,57	-	-	-	100,11
6	80,89	16,19	2,92	-	-	-	-	100,00
7	85,10	14,90	-	-	-	-	-	100,00
8	82,32	15,63	2,06	-	-	-	-	100,00
9	83,30	16,70	-	-	-	-	-	100,00
10	80,94	17,53	1,53	-	-	-	-	100,00
11	84,44	15,56	-	-	-	-	-	100,00
12	80,96	17,52	1,51	-	-	-	-	100,00
13	83,80	15,56	0,64	-	-	-	-	100,00
14	84,24	15,76	-	-	-	-	-	100,00
15	81,66	16,51	1,83	-	-	-	-	100,00
16	81,17	16,78	2,05	-	-	-	-	100,00
17	82,40	14,36	1,64	0,37	1,23	-	-	100,00
18	81,84	15,63	2,54	-	-	-	-	100,00
19	81,48	16,38	1,76	0,37	-	-	-	100,00
20	80,54	17,50	1,55	-	-	-	0,41	100,00
21	83,18	15,51	0,81	-	-	-	0,50	100,00
22	80,01	16,64	3,35	-	-	-	-	100,00
23	75,19	16,00	-	-	-	8,81	-	100,00
24	80,18	17,87	1,58	-	-	-	0,37	100,00
25	79,99	17,27	2,45	0,28	-	-	-	100,00
3.5	85,66	12,75	-	-	1,06	-	-	100,00
3.15	87,39	12,61	-	-	-	-	-	100,00

гирита – эмболиту. В семи из тридцати исследованных образцов примеси брома не обнаружены. Помимо брома, практически для всех зерен характерны значительные содержания кадмия – 0,72–4,79 %. Кроме того, характерными примесями являются теллур – 0,68–1,50 % и, реже, йод – 0,6–0,79 %.

Вопрос о происхождении кераргирита Милоградского рудопоявления остается открытым. Общепринятым считается, что упомянутый минерал образуется при взаимодействии с хлорсодержащими просачивающимися поверхностными водами в зонах окисления серебряных месторождений. На наш взгляд для Милоградского рудопоявления такой вариант представляется вполне возможным, так как в пяти километрах от рудопоявления находится береговая линия морского бассейна и превышение составляет не более 200–300 м, что вполне допускает временное нахождение изучаемого участка в субаквальных условиях в недалеком геологическом прошлом. Этот вопрос требует дальнейших исследований.

Акантит является наиболее распространенной формой серебряного оруденения Милоградского рудопоявления. Он образует выделения неправильной формы, скелетные, редко дендритовидные, заполняет микротрещинки в кварце. Обладает характерным графитово-черным цветом и металлическим блеском. Размеры зерен – 0,05–0,25 мм.

Микронзондовый анализ образцов акантита показал следующие содержания основных компонентов: Ag –

75,19–87,39 %, S – 12,61–18,89 % (табл. 2). Наиболее типичной примесью является цинк (0,81–2,92 %), обнаруженный в двадцати проанализированных зернах из двадцати семи. В некоторых зернах присутствуют железо (0,28–0,57 %), медь (0,37–0,5 %), свинец (1,06–1,23 %). В единичном случае отмечено высокое содержание сурьмы – 8,81 %.

При изучении акантита под электронным микроскопом выявлена интересная особенность – значительная часть зерен имеет ядро, сложенное маложелезистым сфалеритом (0,3–0,5 % Fe, табл. 3), либо содержит мелкие сфалеритовые включения (рис. 1). Сфалерит часто содержит акантитовые прожилки или просечки. Наличие подобных агрегатов говорит о том, что акантит формировался на заключительных стадиях рудного процесса.

Таблица 3

Химический состав сфалеритовых включений в акантите, мас. %

№ п/п	Zn	S	Fe	Cu	Сумма
1	64,48	34,98	0,54	-	100,00
2	63,38	35,83	0,29	0,50	100,00

Помимо самостоятельных выделений и сростков со сфалеритом, акантит отмечается в виде каемок у пиритовых агрегатов, образуя колломорфные текстуры, выраженные в чередовании тончайших плавно изогнутых полос сульфидов серебра и железа (рис. 2). В подобных каймах характерно увеличение

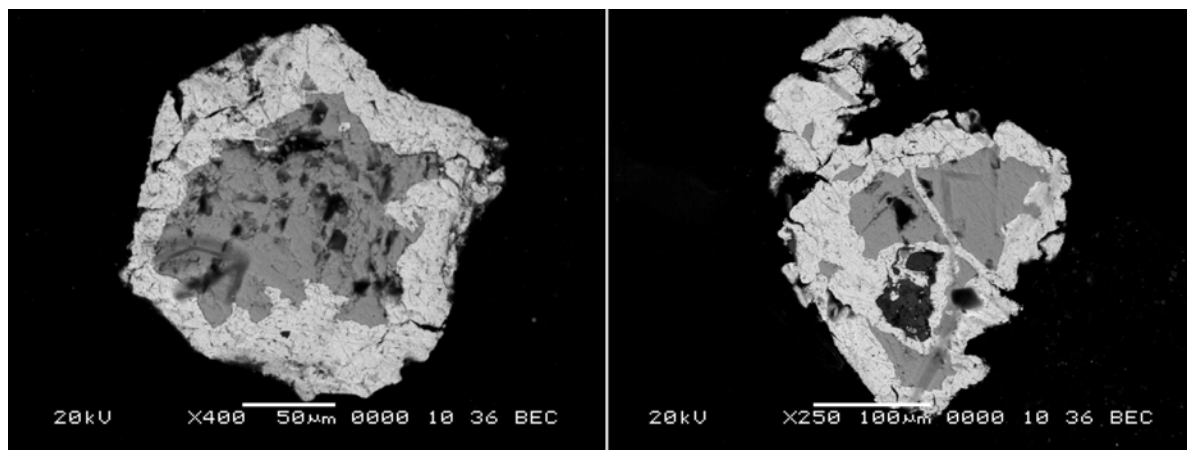


Рис. 1. Зерна акантита со сфалеритовыми ядрами.

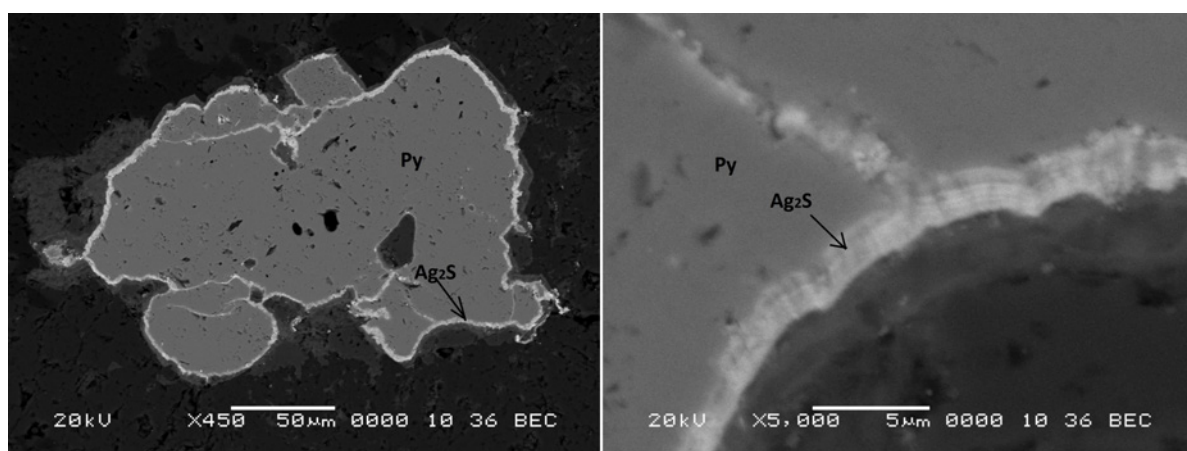


Рис. 2. Пирит-акантитовый агрегат под электронным микроскопом (слева – общий вид, справа – увеличенный фрагмент акантитовой каймы).

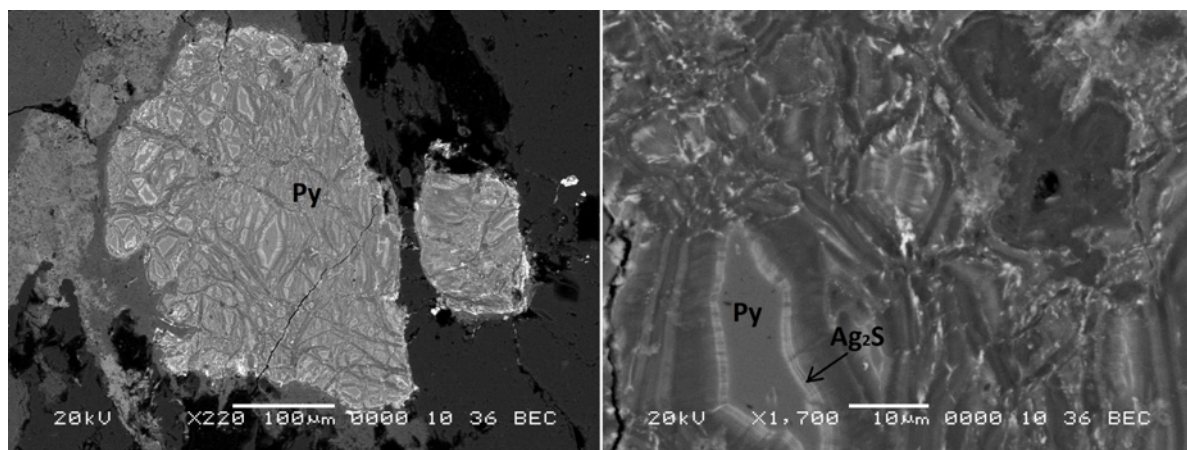


Рис. 3. Пирит-акантитовый агрегат с петельчатой структурой под электронным микроскопом (слева – общий вид, справа – увеличенный фрагмент).

содержаний серебра и, соответственно, уменьшение содержания железа по направлению к периферии.

Кроме вышеописанных агрегатов, встречаются пирит-акантитовые агрегаты со сложным взаимоотношением сульфидов серебра и железа, образующих петельчатую структуру, которая подчеркивается зональными колломорфными более светлыми (под электронным микроскопом) выделениями

акантита (рис. 3).

Самородное золото, электрум. Для золота Милоградского рудопроявления характерно чрезвычайное разнообразие форм (рис. 4). Широко распространены выделения неправильной формы: комковидные, пластинчатые, крючковатые, скелетные, губчатые, скрученно-нитевидные (часто в сростаниях с акантитом, коронадитом). Реже отмечаются дендритовидные

и проволоковидные образования, в единичных случаях – идиоморфные кубические кристаллы размером 0,05 мм (канавка ШК-1109, зона Южная). При изучении золота под электронным микроскопом отмечено, что в ряде зерен отмечаются фрагменты кристаллов кубической сингонии. Часто отмечается зональность, обусловленная наличием зон с различной пробностью золота. Повехность зерен обычно неровная, изъеденная, с многочисленными углублениями, часто покрытая черными налетами сульфидов серебра. Иногда золото покрыто бурой железистой «рубашкой» и тогда оно может попадать в магнитную фракцию.

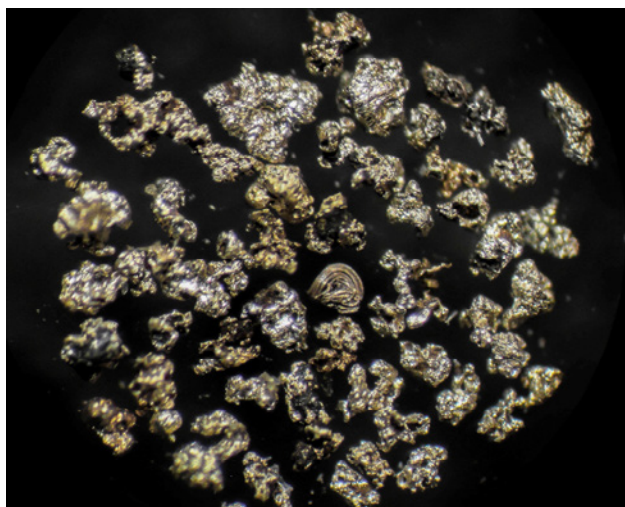


Рис. 4. Разнообразие морфологии выделений золота Милоградовского рудопроявления.

Пробность золота варьирует в широких пределах (табл. 4). Преобладающая пробность отвечает электруму (50–70 % Au). Наряду с таким встречается более высокопробное золото (80–87 % Au) и более низкопробное, содержащее 44–50 % Au.

Серебро самородное. Отмечено в виде единичных участков в зернах акантита из шлихов, отобранных из элювиально-делювиальных отложений над зоной Южной. Химический состав таких участков характеризуется незначительными примесями серы и хлора (табл. 5).

Вышеописанные минеральные парагенезисы требуют осмысления по температурному и флюидному режиму. В этой связи, для установления температурных параметров образования кварцевых жил с золото-серебряным оруденением, была произведена вакуумная декриптация двадцати образцов кварца, отобранных из различных частей зон Южная и Карлик. Декриптация выполнялась на приборе ВД-7М (вакуумный декриптометр ВД-7М) с датчиком вакуума ДТП (Южный Федеральный Университет, аналитик Н.С. Прокопов).

Гистограммы декриптации, полученные в результате обработки данных, указывают на многостадийность и прерывистость эволюции гидротермального процесса. Наблюдается несколько отчетливых пиков

Таблица 4

Химический состав зерен золота, мас. %.

№ п/п	№ обр.	Au	Ag	Сумма
1	Кр-1	86,16	13,84	100,00
2	Кр-2	87,07	12,93	100,00
3	А-1.1	46,00	54,00	100,00
4	А-1.2	44,12	55,88	100,00
5	А-6.1	54,28	45,72	100,00
6	А-6.7	44,47	55,53	100,00
7	А-6.003.1	55,36	44,64	100,00
8	А-6.004.2	76,86	23,14	100,0
9	А-6.004.3	81,18	18,82	100,00
10	А-6.004.4	52,38	47,62	100,00
11	А-6.004.5	68,14	31,86	100,00
12	А-6.004.6	64,62	35,38	100,00
13	А-6.004.7	57,61	42,39	100,00
14	А-6.004.8	62,89	48,14	100,00
15	А-8.006.1	59,70	40,30	100,00
16	А-8.006.2	46,01	53,99	100,00
17	А-9.005.1	54,44	45,56	100,00
18	А-9.005.2	63,57	36,43	100,00
19	А-9.005.3	62,28	37,72	100,00
20	А-9.006	45,53	54,47	100,00
21	А-9.007	70,20	29,80	100,00
22	А-11.001.1	43,68	56,32	100,00
23	А-11.001.2	56,50	43,50	100,00
24	А-14.001.1	61,33	38,67	100,00
25	А-14.002.1	68,86	31,14	100,00
26	А-14.003.1	50,99	49,01	100,00
27	А-14.003.2	82,99	17,01	100,00
28	А-14.003.3	62,14	37,86	100,00
29	А-14.003.4	64,47	35,53	100,00
30	А-14.003.5	58,18	41,82	100,00
31	А-16.001.2	52,74	47,26	100,00

Таблица 5

Химический состав образца акантита А-12.001, мас. %

№ анализа	Ag	S	Cl	сумма
А-12.001. точка 1	86,47	13,53	-	100,00
А-12.001. точка 2	98,16	1,02	0,82	100,00

газовыделения с максимумами, приходящимися на температурные интервалы 160°–220° и 300°–380°С (рис. 5). При этом, наибольшая интенсивность приходится на интервал 300°–380°. Кроме того, на некоторых декриптограммах отмечается высокотемпературный эффект газовыделения в интервале 540°–700°, как правило, с не очень значительными пиками, а также низкотемпературный эффект в интервале 20°–80°. Природа эффектов в низкотемпературном интервале, вероятнее всего, связана с декрипацией наиболее поздних вторичных флюидных включений.

Таким образом, вероятнее всего, отражением главных гидротермально-метасоматических процессов, отвечавших за формирование оруденения, являются пики газовыделения, приходящиеся на интервалы 300°–380° и 160°–220°.

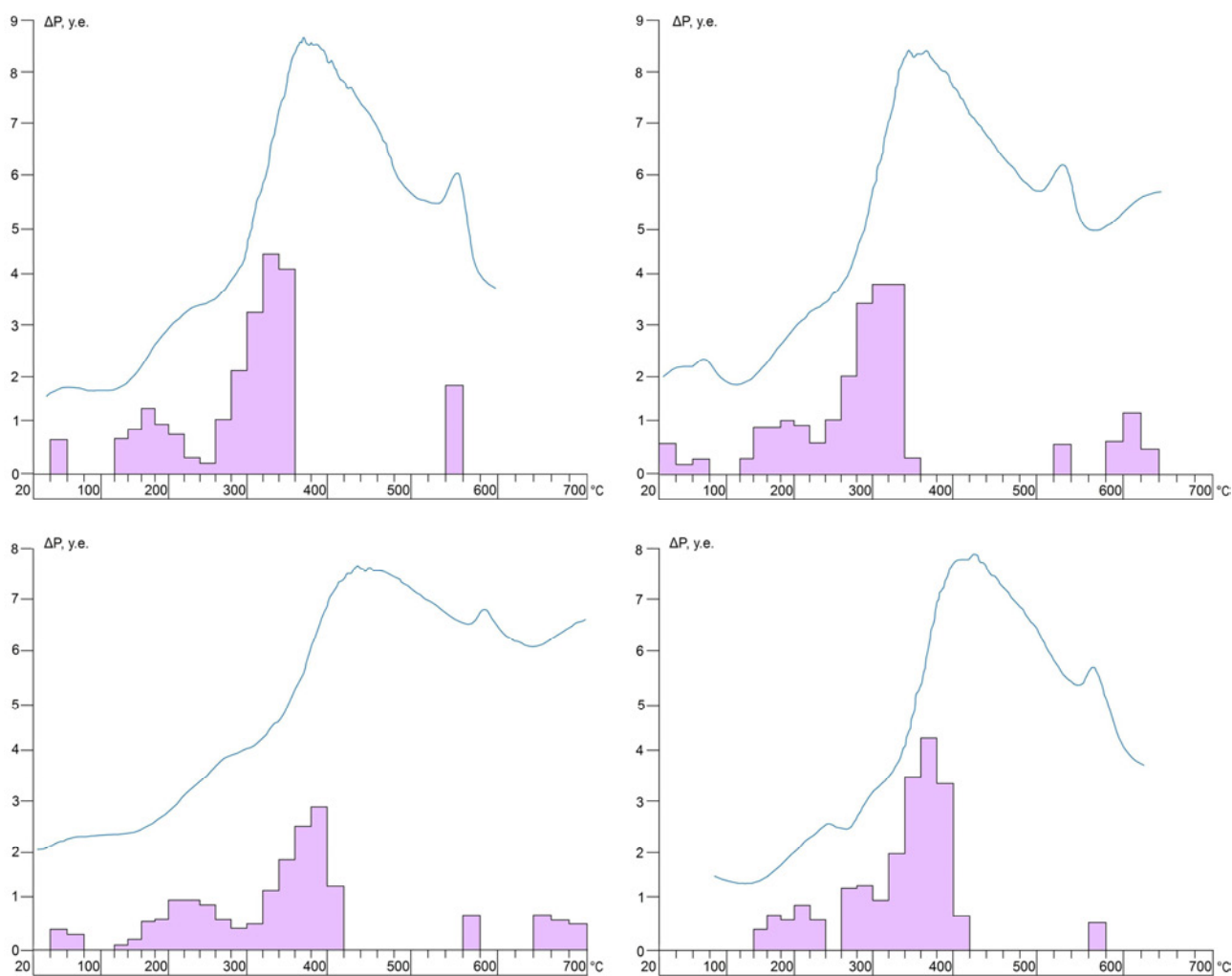


Рис. 5. Типовые диаграммы декриптации образцов кварца из зон Южная и Карлик.

Заключение

Особенности минеральных ассоциаций указывают, как минимум, на четырехстадийный процесс (первая стадия – сульфиды железа, вторая – сульфиды свинца и цинка, третья – сульфиды серебра, четвертая – хлориды и бромиды серебра), в то время как результаты декриптации дают два отчетливых температурных интервала. Вышеперечисленные стадии минералообразования, по-видимому, контролируются сопряженными температурными интервалами, при наложении которых создается двухпиковая, а не четырехпиковая картина декриптации. Не исключено, что в каких-то из стадий происходила смена флюидного режима и, как следствие, изменение минеральных парагенезисов. Ответы на поставленные вопросы предполагается получить при дальнейших исследованиях с использованием прецизионных, в том числе изотопных и хроматографических исследований флюидных фаз.

Воронежский государственный университет
 Ненахова Екатерина Викторовна, аспирант кафедры минералогии, петрографии и геохимии
 E-mail: nev_vsu@mail.ru
 Тел.: +7 920-462-37-86

Работа выполнена при финансовой поддержке АО «Приморзолото».

ЛИТЕРАТУРА

1. Сахно, В. Г. Первые данные U-Pb датирования вулканических пород Восточно-Сихоты-Алинского пояса / В. Г. Сахно, В. В. Акинин // Доклады Академии наук. – 2008. – Т. 418. – № 2. – С. 226–231.
2. Сахно, В. Г. Уран-свинцово-изотопное датирование магматических комплексов Милоградского золото-серебряного месторождения (Южное Приморье) / В. Г. Сахно, Ф. И. Ростовский, А. А. Аленичева // Доклады Академии наук. – 2010. – Т. 433. – № 2, июль. – С. 219–226.
3. Сахно, В. Г. Первые данные о находке самородной платины в породах золото-серебряного рудопроявления милоградской вулcano-структуры Южного Приморья (Россия) / В. Г. Сахно, А. Ю. Кузнецов, Н. Н. Баринov // Доклады Академии наук. – 2014. – Т. 454. – № 5. – С. 570–574.

Voronezh State University
 Nenakhova E. V., Postgraduate Student of the Mineralogy, Petrography and Geochemistry Department
 E-mail: nev_vsu@mail.ru
 Tel.: +7 920-462-37-86