

УДК 553.412'44

Роголина Л.И.¹, Воропаева Е.Н.¹, Невструев В.Г.²
 (1 — ФНБУ «Институт геологии и природопользования»
 ДВО РАН, 2 — ФНБУ «Институт тектоники и геофизики
 им. Ю.А. Косыгина» ДВО РАН)

МАЙМИНОВСКОЕ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ (ПРИМОРСКИЙ КРАЙ): МИНЕРАЛЬНЫЕ АССОЦИАЦИИ, ТИПОМОРФНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РУДНЫХ МИНЕРАЛОВ И УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ

*Рассмотрены минеральные ассоциации, геохимические особенности основных рудных минералов и условия рудообразования Майминовского полиметаллического месторождения, расположенного в Восточно-Сихотэ-Алинском плутоно-вулканогенном поясе Приморья. Получены новые данные по $\delta^{34}\text{S}$ в галените и сфалерите, указывающие на полигенность источников рудообразования. Впервые проведены термобарогеохимические исследования флюидных включений в минералах продуктивной рудной ассоциации, позволяющие говорить о гипабиссальных условиях образования руд. Изученные особенности химического состава извлекаемых минералов указывают на комплексность полезного ископаемого, что является практическим аспектом исследований. **Ключевые слова:** элементы-примеси, минералы, минеральные ассоциации, руда, месторождение.*

Rogulina L.I.¹, Voropaeva E.N.¹, Nevstruev V.G.² (1 — Institute of Geology and Nature Management Far Eastern Branch Russian Academy of Sciences, 2 — Institute of Tectonics and Geophysics of Yu.A. Kosygin Far Eastern Branch Russian Academy of Sciences)
 MAYMINOVSKOYE POLYMETALLIC DEPOSIT (PRIMORYE): MINERAL ASSOCIATIONS, TYPOMORPHIC PECULIARITY OF ORE MINERALS AND ORE FORMATION CONDITIONS

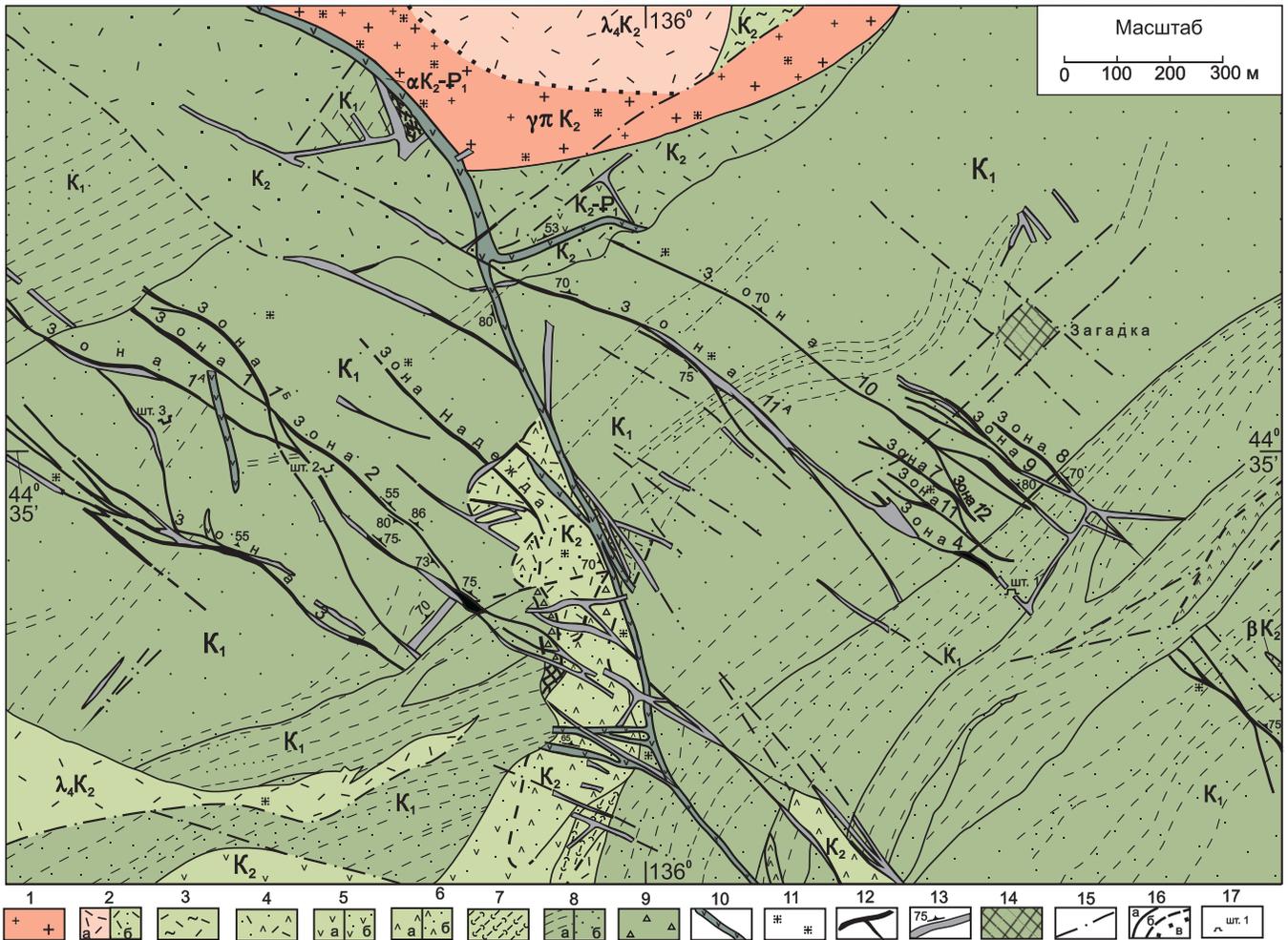
*Mineral associations, geochemical peculiarity of the main ore minerals and ore-forming conditions have been observed in ores of Mayminovskoe polymetallic deposit situated in the East Sikhote-Alin plutono-volcanogenic belt of Primorye. The new findings in galena and sphalerite under $\delta^{34}\text{S}$ have been obtained, indicating the polygeny of ore formation sources. Thermobarogeochemical investigation on fluid inclusions, for the first time carried out in minerals of productive ore association let us speak of hypabyssal ore-forming conditions. Studied peculiarity of chemical composition of the extracted minerals show the complexity of minerals, what occurs to be the practical aspect of the investigations. **Keywords:** admixtures elements, minerals, mineral associations, ore, deposit.*

Условия образования полезных ископаемых, эволюция рудообразующих процессов континентальных окраин и глубокая переработка минерального сырья являются одними из определяющих направлений в

федеральной программе Наук о Земле. Целью исследования является: минералого-геохимическое изучение руд и рудообразующих минералов, оценка возможности их комплексного извлечения и условия образования Майминовского полиметаллического месторождения. Образцы, отобранные авторами из жильных рудных тел и минерализованных зон дробления СЗ простирания: №№ 1, 4, 8, 9, 10, 11, 11А, а также штокверкового оруденения Загадка (поверхность, карьер, штольневые горизонты,) детально исследовались макро- и микроскопически.

Майминовское месторождение расположено к северо-востоку от г. Дальнегорск (35 км) и залегает в пределах Восточно-Сихотэ-Алинского плутоно-вулканогенного пояса среди нижнемеловых терригенных флишвидных пород Таухинского террейна, представленных алевролитами и песчаниками с прослоями гравелитов. На севере и в центральной части месторождения толща осадочных пород незначительно перекрыта эффузивами (K_2) кислого и среднего составов (рис. 1). Площадь месторождения приурочена к Арцевской рудноносной структуре, ограниченной двумя крупными нарушениями: субмеридиональным Монамаховским сдвигом и северо-западной Смысловской ослабленной зоной. В пределах площади широко развиты разломы северо-восточного, субмеридионального и северо-западного направлений. К последним, как правило, приурочены рудные тела. На Майминовском месторождении разведано более 30 жильных кулисообразно расположенных рудных тел, отрабатывается 13. Простирание рудных тел СЗ с углами падения $56\text{--}80^\circ$ на СВ, реже на ЮЗ. Морфология рудных тел сложная — это сочетание кварц-сульфидных жил переменной мощности с линейными зонами дробления метасоматически измененных пород, включающих мелкие прожилки и гнезда сульфидов. Кроме того, к северо-востоку от жильных рудных тел вскрыта, не выходящая на поверхность, штокверковая минерализация (Загадка). Геологические особенности оруденения, минеральный состав, сереброносность полиметаллических руд Майминовского месторождения отражены авторами ранее в работах [6–8].

Теоретические и практические аспекты выделения минеральных ассоциаций, парагенезисов, а также минеральный состав полиметаллических месторождений освещались исследователями в работах [1–3, 5]. Основываясь на этих представлениях, выделение минеральных ассоциаций нами проводилось по ряду признаков: текстурно-структурным взаимоотношениям, особенностям сростания минералов, их замещения и переотложения, внутрирудном метасоматозе, наличию разделяющих кратковременных периодов деформации и дробления, геохимическим критериям.



Геологическая карта Майминового месторождения (по материалам А.М. Кряквина, А.Н. Ушакова). Вулкано-плутонический комплекс (1–7): 1 — гранит-порфиры, 2 — а) риолиты, б) туфы риолитов, 3 — игнибриты риолитов, 4 — туфы риодацитов, 5 — а) андезиты, б) туфы андезитов, 6 — а) дациты, б) туфы дацитов, 7 — туффиты; терригенные породы (8–9): 8 — а) алевролиты, б) песчаники, 9 — полимиктовые брекчи; 10 — дайки базитов; 11 — грейзенизация; минерализованные зоны (12–14): 12 — кварц-сульфидные и сульфидно-кварцевые жилы, 13 — минерализованные зоны дробления и элементы залегания; 14 — штокверковая минерализация; 15 — разрывные нарушения; 16 — геологические границы: а) установленные, б) предполагаемые, в) фациальные; 17 — устья штолен и их номера.

В первичных рудах (рудные тела СЗ простираения) Майминового месторождения выделены следующие одновременные минеральные ассоциации: 1 — пирит-арсенопиритовая, 2 — галенит-сфалеритовая, 3 — блеклые руды-халькопиритовая (табл. 1). Все минеральные ассоциации пространственно совмещены в рудных телах. Смена ассоциаций происходила постепенно в одну стадию, хотя не исключена возможность перерыва в рудообразовании, на что указывают факторы обрастания ранним сфалеритом обломков метасоматитов с вкрапленностью арсенопирита; обнаружение минералов сфалерит-халькопирит-пиритового состава в обломках брекчированных метасоматически измененных песчаников, сцементированных кварцем и карбонатом. Основные рудные минералы месторождения по степени распространения представлены: сфалеритом, галенитом, халькопиритом, пиритом, пирротинном, арсенопиритом, блеклыми рудами. Редко встречаются: пираргирит, полибазит, стефанит, акантит, самородные Ag и Au, чаще отмечаются пираргирит и акантит, наиболее редко — полибазит, сте-

фанит, максимальные размеры их не превышают 0,05 мм, поэтому они определены микроскопическими методами. В зоне окисленных руд установлены: гетит, гидрогетит, англезит, церуссит, халькозин, ковеллин, азурит, малахит и минералы серебра (акантит, аргентоярозит, кераргирит). Среднее содержание серебра в первичных рудах составляет 159 г/т, в окисленных — 180 г/т при вариациях от 2 до 1748 г/т. В рудных минералах Майминового месторождения количество Ag также варьирует: в сфалерите — 51,2–1024 г/т; галените — 534–1009 г/т; халькопирите до 334 г/т, пирите — 53,5 г/т. Впервые нами в рудных телах месторождения обнаружено самородное Au в ассоциации с кварцем и минералами серебра. Размер оптически видимых зерен колеблется от 0,008 до 0,8 мм. Морфология их разнообразна: индивиды овальной и изометричной формы, пластинчатые и комковатые. Золото по оптическим свойствам — высокосеребристое и отвечает составу электрума.

Штокверковое оруденение (Загадка) характеризуется аналогичным минеральным составом и последова-

тельностью минерализации с незначительными изменениями. Так, в прожилковой и гнездовой минерализации халькопирит-галенит-сфалеритового состава по слоистости толщи в СВ прожилках отмечается железистый сфалерит (марматит). Прожилки же СЗ направления пирит-арсенопирит-галенит-сфалеритового состава, пересекающие слоистость, часто содержат маложелезистый сфалерит (клеюфан). В них также отмечены идиобласты позднего арсенопирита с реликтами галенита и сфалерита; пирит, который образует ксеноморфные зерна в тесной ассоциации с галенитом и сфалеритом. Подобные взаимоотношения указывают на частично переотложенный характер минерализации в СЗ прожилках. На позднее развитие СЗ прожилков указывают и видимые амплитуды их смещения относительно СВ. Различие рудной минерализации жильных тел и штокверка Загадка выражено в проявлении поздней серебряной ассоциации. Установлено, что самый

распространенный носитель серебра в жильных рудах месторождения — блеклые руды (фрайбергит). Он отмечается макро- и микроскопически, на некоторых участках рудных тел его количество достигает нескольких процентов. Количество пираргирита, полибазита, стефанита, акантита и самородного серебра (проба Ag 89,61–98,29 масс. %) не значительно. В штокверке Загадка пираргирит несколько преобладает над фрайбергитом. Он отмечается чаще в галените, кварце и по границе зерен халькопирит-сфалерит-кварцевой ассоциации на участках их интенсивного замещения поздним кварцем и листовыми силикатами. Наиболее крупные выделения пираргирита отмечены в микропрожилках позднего кварца, секущих галенит-халькопирит-сфалеритовые, а также вдоль границ пирит-арсенопирит-галенитовых СЗ прожилков.

Учитывая, что блеклые руды представляют изоморфную серию минералов, которые активно реагируют на изменение физико-химических условий минералообразования, нами изучены типоморфные особенности блеклых руд. Их химический состав может быть использован в качестве индикаторов рудного процесса [4]. Исследовался состав 17 образцов блеклой руды, отобранных из поверхностных горных выработок СЗ рудных тел. Химический состав блеклых руд Майминового рудного объекта определялся на разных приборах в различных институтах (табл. 2). И все же рентгеноспектральный анализ показывает, что содержание S и Sb в блеклых рудах варьирует незначительно — десятые доли %. Основные вариации состава обусловлены содержанием Ag и Cu, As отсутствует, исключая одну пробу (3,02 масс. %). Количество Ag в изученных образцах колеблется от 23,35 до 49,2 масс.%. По содержанию Ag выделяются три группы минералов: Ag до 30,0 масс.%; Ag от 32,2 до 36,2 масс.% и один анализ с Ag — 49,2 масс.%. Все образцы относятся к фрайбергитам и аргентотетраэдритам [9]. Кроме того, блеклые руды месторождения характеризуются следующими содержаниями Zn (среднее 1,68 масс. %) и Fe (среднее 4,74 масс. %). Пересчет фрайбергита на формулу $Me^{1+}_{10}Me^{2+}_2X^{3+}_4Y^{2+}_{13}$ показывает, что Cu в позиции Me^{1+} почти полностью замещается Ag. Экспериментально показано, что при снижении температуры синтеза в блеклых рудах увеличивается содержание Sb. Блеклые руды, как правило, входят в состав поздних гидротермальных ассоциаций, температура образования которых обычно 250–200 °С и практически всегда содержат Fe [10], поэтому фрайбергиты и аргентотетраэдриты являются своеобразным геотермометром.

Учитывая генетическую обусловленность характерных свойств и признаков минералов, были изучены геохимические параметры главных рудных минералов, с целью выяснения особенностей эволюции рудообразования и комплексности полезного ископаемого. Исследовались главные рудообразующие минералы зоны Загадка, как нового объекта добычи. Анализ мономинеральных проб галенита и сфалерита выполнен методом рентгенофлуоресцентного энергодисперсионного

Таблица 1
Схема последовательности минералообразования руд Майминового месторождения

Стадии Минералы	Майминоское		
	Пирит-арсенопиритовая	Галенит-сфалеритовая	Блеклые руды-халькопиритовая
Кварц			
Родонит			
Эпидот	■		
Серицит	■		
Хлорит	■		
Сидерит	■		
Кальцит		■	
Пирит	■	■	
Арсенопирит	■	■	
Сфалерит		■	
Галенит		■	
Сульфосоли Pb		■	
Халькопирит		■	
Блеклые руды			■
Пираргирит			■
Прустит			■
Стефанит			■
Самородное Ag			■
Самородное Au			■
Акантит			■
Ковеллин			■
Сервантит			■
Манганозит			■
Вернадит			■



Таблица 2
Химический состав блеклых руд

№ п/п	№ обр.	Масс. %								Формульные единицы в расчете на 29 атомов											
		Ag	Cu	Fe	Zn	Sb	As	S	сумма	Ag	Cu ¹⁺	сумма	Cu ²⁺	Fe	Zn	сумма	Sb	As	сумма	S	
1	165	23.35	22.99	4.45	1.09	25.80	0.36	22.75	100.95	3.94	6.06	10.00	0.52	1.45	0.30	2.27	3.85	0.09	3.94	12.9	
2	163	23.52	21.07	5.12	2.23	26.37	0.07	21.54	100.02	4.04	5.96	10.00	0.18	1.70	0.63	2.51	4.01	0.02	4.03	12.4	
3	589	32.20	14.90	5.10	1.00	25.00	0.90	20.80	99.90	5.74	4.26	10.00	0.25	1.76	0.29	2.30	3.95	0.23	4.18	12.5	
4	100	33.04	14.45	5.31	0.87	21.39	3.02	22.02	100.10	5.76	4.24	10.00	0.03	1.78	0.24	2.05	3.29	0.75	4.04	12.9	
5	629	33.80	13.80	4.80	1.30	25.70	0.10	20.30	99.80	6.14	3.86	10.00	0.40	1.68	0.39	2.47	4.14	0.00	4.14	12.4	
6	630	35.10	13.00	4.70	1.30	26.40	—	20.20	100.70	6.38	3.62	10.00	0.39	1.65	0.39	2.43	4.25	—	4.25	12.4	
7	137	35.53	12.87	5.24	0.45	24.61	0.38	20.05	99.53	6.50	3.50	10.00	0.51	1.86	0.14	2.51	4.00	0.10	4.10	12.4	
8	139	36.20	12.30	5.40	0.50	25.70	0.30	20.10	100.50	6.59	3.41	10.00	0.39	1.90	0.15	2.44	4.15	0.08	4.23	12.3	
9	137a	49.20	5.30	1.70	0.30	24.20	0.30	18.05	99.50	9.70	0.30	10.00	1.46	0.64	0.08	2.18	4.23	0.08	4.28	12.3	
10	10-1	34.94	11.55	4.50	2.95	26.42	—	19.64	100.00	6.43	3.61	10.00	0.04	1.60	0.90	2.54	4.06	—	4.06	12.16	
11	10-2	32.22	12.63	6.00	3.07	24.23	—	21.85	100.00	5.65	3.76	9.41	—	2.03	0.89	2.92	3.77	—	3.77	12.90	
12	10-3	35.87	11.66	4.92	—	27.23	—	20.32	100.00	6.60	3.40	10.00	0.24	1.75	—	1.99	4.43	—	4.43	12.58	
13	10-4	34.48	12.21	4.55	2.03	26.98	—	19.76	100.00	6.34	3.66	10.00	0.15	1.62	0.62	2.24	4.39	—	4.39	12.22	
14	30A1	32.59	14.18	4.58	1.88	26.85	—	19.92	100.00	5.93	4.07	10.00	0.31	1.61	0.57	2.49	4.33	—	4.33	12.19	
15	30A2	30.82	14.35	5.49	3.71	25.33	—	20.29	100.00	5.50	4.34	9.84	—	1.89	1.09	2.98	4.00	—	4.00	12.18	
16	30A3	30.71	15.03	5.41	3.33	25.40	—	20.13	100.00	5.48	4.52	10.00	0.04	1.86	0.98	2.84	4.02	—	4.02	12.09	
17	32Б	29.73	17.09	3.38	2.36	26.38	—	21.06	100.00	5.28	4.72	10.00	0.42	1.16	0.69	2.24	4.15	—	4.15	12.57	

Примечание. Анализы 1–3, 7, 8 выполнены В.С. Маловым, «MS-45 Cameca» (ИГЕМ РАН), ускоряющее напряжение 20 кВ, ток зонда 25 нА. Анализ 4 выполнен В.Ю. Карпенко, «Cam Scan 4D» со спектрометром Link (с системой ISIS) (Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН), ускоряющее напряжение 20 кВ, ток 40 нА. Анализы 5, 6, 9 выполнены Г.Н. Нечелюстовым, «Суперпроб-733» (ВИМС), ускоряющее напряжение 20 кВ, ток зонда 20 нА. Анализы 10-17 нормализованы к 100, выполнены Н.Н. Бариновым, «Carl Zeiss EVO 50XVP с INCA Energy 350 (Oxford Instruments)» для рентгеновского энерго-дисперсионного микроанализа (EDC), (ДВГИ ДВО РАН), ускоряющее напряжение 20 кВ.

«—» — содержание ниже предела чувствительности анализа.

элементного анализа (РФА-СИ) на встречных электронно-позитронных пучках (ВЭПП-3) в Сибирском Центре синхротронного и терагерцового излучения ИЯФ СО РАН (аналитик Ю.П. Колмогоров).

Установлены следующие элементы-примеси: в сфалерите — Fe, Cu, Ni, Cd, Ag, Sn, Sb и In; в галените — Fe, Cu, Ni, Cd, Ag, Sn, Sb и Te (табл. 3). Наиболее варьирует по содержанию в сфалерите Fe (10,6–19,1 %), Cu (0,29–1,75 %), Ag (52,8–340 г/т), Sb (23,7–109,0 г/т). Содержание In низкое и крайне неравномерное. На штольневом горизонте (+560 м) Sb несколько преобладает над содержанием его в скважинах (+500 м), 70,6 г/т и 45,5 г/т соответственно. В галените значительно варьирует содержание следующих элементов: Ag (0,09–0,2 %), Cu (0,09–0,3 %), Zn (1,3–10,9 %), Te (0–121,0 %). Мышьяк в галенитах, как и в сфалеритах не обнаружен, среднее содержание Ni и Ag близки по значению (0,13–0,16 %). Характер распределения элементов-примесей и форма их нахождения различны. Так, Cd, Ni, содержащиеся в сфалеритах в сопоставимых количествах, образуют, вероятно, изоморфную примесь; Fe, Pb, Cu, Ag, Sn, Sb — микровключения самостоятельных минералов, которые установлены оптической и рентгено-спектральной аппаратурой. Присутствие Fe в сфалерите связано с густой эмульсионной вкрапленностью пирротина и халькопирита, реже микрофазами пирита; Pb — с микровключениями галенита, а Ag, Sb и частично Cu — с микровкрапленностью сульфосолей и блеклой руды. Высокое содержание Ag, Cu, Sb в галенитах объясняется присутствием самостоятельных минералов, образованных при распаде твердых раство-

ров системы PbS-AgSbS вследствие понижения температуры рудообразования [11].

Минеральные включения на поверхности зерен галенита и сфалерита исследовались с помощью сканирующего электронного микроскопа VEGA 3 LMN, фирмы TESCAN с X-Max80 в ИТиГ ДВО РАН (Хабаровск). Выполнено 80 определений химического состава матрицы и микровключений в извлекаемых рудных минералах. Рентгеноспектральный анализ поверхности кристаллов сфалерита выявил микровключения галенита, пирита, ильменита, гематита, анатаза, кварца, калишпатов. На поверхности зерен галенита установлены микрофазы: сфалерита, арсенопирита, висмутина, бисмутита, ильменита, пирита. Кроме того, обнаружено присутствие Cl в галените и сфалерите. Результаты исследований показали, что характерной особенностью галенитов проанализированных проб является непостоянное присутствие на поверхности кристаллов Fe, Cu, Mn, Bi, As, Sb, причем Sb отмечен в галените на штольневом горизонте (+500 м), а Bi в скважине (+400 м). Впервые на Майминовском месторождении в зоне Загадка обнаружен Bi. Марганец, вероятнее всего, связан с кислородом и образует пленки. Игольчатые микрокристаллы и пленки арсенопирита, полевых шпатов, хлорита, развивающиеся по поверхности галенита, вероятно, отрицательно повлияют на качество концентрата.

На поверхности сфалерита постоянно присутствует примесь Fe, Na, Si, реже Mn, Al. Железо в основном обусловлено эмульсионной вкрапленностью пирротина; Na, Si, Al, Mn — минеральными пленками полевых

шпатов, хлоритов, оксидов. Кадмий, когерентный со сфалеритом, отмечен только в образце из скважины. Хлор, скорее всего, является остаточной концентрацией гидротермального раствора, что указывает на участие его в рудообразовании. Таким образом, на поверхности минералов существуют структурные (Cd в сфалерите) и неструктурные примеси: Bi, Cu, Mn в галените, а также Fe, Na, Si, Al в галените и сфалерите. Кроме того, обнаружены микровключения сульфидов серебра (Ag₂S, AgS) и метастабильная фаза AgO в тесной ассоциации с оксидами марганца: пиролюзитом, манганозитом.

Исследование условий формирования руд Майминовского месторождения проводилось с помощью стабильных изотопов серы в сульфидах и по флюидным включениям в минералах галенит-сфалеритовой ассоциации, отобранных из рудных тел № 10, 11, 11А. Изотопный состав серы сульфидов измерялся на масс-спектрометре MAT-Delta, анализ проводился в лаборатории изотопно-геохимических методов ИГМ СО РАН. Было проанализировано 9 проб галенита и сфалерита основной продуктивной галенит-сфалеритовой ассоциации зоны Загадка. Интервал значений δ³⁴S в основных рудных минералах следующий: в галените он изменяется от +0,9 до -1,2 ‰ (среднее - 0,68), а в сфалерите - от -0,2 до +6,7 ‰ (среднее +2,03). Соотношение изотопов серы δ³⁴S в галените колеблется

вблизи 0 ‰, имеют как положительные, так и отрицательные значения. В сфалерите отмечаются положительные значения, за исключением одного (-0,2 ‰). Изотопный состав серы (δ³⁴S) галенита и сфалерита характеризуется отрицательным и положительным диапазоном, это, вероятно, происходит в результате смешения серы, поступавшей в зону минералообразования из разных источников. Полученные термобаро-геохимические данные по сфалериту-I показали, что гомогенизация первичных газово-жидких включений в сфалерите-I в жидкую фазу происходит в интервале температур 230–225 °С. Гомогенизация двухфазовых включений в кварце-II с неподвижным пузырьком происходит в интервале температур 220–210 °С. Криометрические исследования флюидных включений показали, что первое заметное плавление льда замороженного раствора включения происходит при температуре - 38...-36 °С, что свидетельствует о наличии в растворе NaCl, KCl, MgCl₂, FeCl₃ и FeCl₂.

Выводы

1. Изменение элементного, минерального составов и закономерной смены минеральных ассоциаций в рудах Майминовского месторождения определило их пространственно-временные соотношения. В конце процесса полиметаллического рудообразования выделяется золотосеребряная минерализация, характерная для Au-Ag месторождений умеренно-сульфидной формации.

2. Установлено, что минералы и минеральные ассоциации северо-западных рудных тел сопоставимы с оруденением в штокверке Загадка.

3. Основные минералы-концентраты серебра — фрайбергит, аргентотетраэдрит, образуют микровключения в рудных минералах: галените, сфалерите, халькопирите, пирите, что необходимо учитывать при обогащении руд, так как два последних минерала не извлекаются в концентраты.

4. Установленные средние содержания примесей Cd (0,34 %) и Ag (161,6 г/т) в сфалеритах, а Ag (0,09–0,2 %) и Te (0–72,0–121,0 %) в галенитах указывают на комплексность руд и значимы для извлечения при комплексной переработке концентратов (методические рекомендации, ВИМС, 1982).

5. Наличие неструктурной примеси в природных

Таблица 3

Содержание элементов-примесей в сфалеритах и галенитах Майминовского месторождения

№ п/п	№ пр.	Содержание элементов в % и г/т									
		Fe %	Pb %	Ni	Cu	Cd	Ag	Sn	Sb	Te	In
Штокверк Загадка, сфалериты											
1	225-10	17,8	1,63	1122	9305	3066	185	3,33	28,8	—	—
2	225-12	14	0,3	1422	8797	3631	234	7,39	45,8	—	—
3	225-21	15	0,024	1364	15174	3476	125	6,03	31,3	—	1,87
4	225-23	13,7	0,019	1283	8854	3442	93	8,1	23,7	—	—
5	225-29	14,8	0,048	1080	7314	3423	340	6,53	109	—	—
6	228-5	15,4	0,4	1062	17469	3407	236	9,46	47,1	—	1,19
7	228-8	12,4	0,35	1167	4028	3166	58	6,5	32,6	—	4,67
8	ММ-43	19,1	0,035	1323	2964	3559	52,8	3,88	34,1	—	3,29
9	ММ-46	10,6	3,98	1333	4870	3635	131	8,93	107	—	—
Среднее		14,8	0,754	1240	8753	3423	161,6	6,68	51,0	—	2,75
№ п/п	№ пр.	Содержание элементов в % и г/т									
		Fe %	Zn%	Ni	Cu	Cd	Ag	Sn	Sb	Te	In
Штокверк Загадка, галениты											
10	225-12	2,74	1,28	1866	5030	856	2087	465	1128	121	—
11	225-29	2,68	5,86	1142	2711	545	1357	284	540	46,5	—
12	228-5	4,6	10,9	1094	13586	888	1846	428	839	72	—
13	228-10	2,94	8,62	1549	11431	937	1495	392	884	99	—
14	ММ-43	5,74	25,7	952	4127	997	981	178	672	40,5	—
15	ММ-46	1,39	3,88	1202	2327	864	1660	481	1186	91	—
Среднее		3,35	9,37	1301	6535	848	1571	371	875	78,3	—

Примечание: ММ — штольневой горизонт (+560), остальные — скважины, горизонт (+500); «—» — содержание ниже предела чувствительности метода.

образцах зоны Загадка (минеральные пленки и микро-включения), вероятно, будет отрицательно влиять на показатели извлечения полезного ископаемого и качества концентрата.

6. Высокая сереброносность и низкое содержание цинка в блеклых рудах исследуемого месторождения указывает на формирование рудных тел Маймино-ского месторождения в гипабиссальных условиях, что дополнительно подтверждается данными о температурах рудообразующих флюидов. Присутствие Si на поверхности образцов и в газовой-жидких включениях указывает на участие его в рудообразовании, а ассоциация минералов Ag с марганцевыми подчеркивают роль Mn в благороднометалльной минерализации.

7. Полученные данные по $\delta^{34}\text{S}$ в сульфидах с положительным и отрицательным диапазоном свидетельствуют о полигенности источников рудообразования, что увеличивает перспективы месторождения.

Авторы благодарят начальника геологического отдела ГМК «Дальполимметалл» А.Н. Новосельцева за помощь в проведении полевых работ.

Исследования выполнены при частичной поддержке проектов: ДВО РАН (№ 15-1-2-094, 2015–2017 гг.) и РФФИ (№ 16-05-00069, 2016-2018 гг.).

ЛИТЕРАТУРА

1. Добровольская, М.Г. Минеральные ассоциации и условия формирования свинцово-цинковых руд / М.Г. Добровольская, Т.Н. Шадлун. — М: Наука, 1974. — 208 с.
2. Добровольская, М.Г. Свинцово-цинковое оруденение (рудные формации, минеральные парагенезисы, особенности рудообразования) / М.Г. Добровольская. — М: Наука, 1989. — 216 с.
3. Добровольская, М.Г. Минеральные парагенезисы и стадии рудообразования в свинцово-цинковых месторождениях Дальнегорского рудного района (Южное Приморье) / М.Г. Добровольская, С.П. Балашова, О.Н. Заозерина, Т.И. Голованова // Геология рудных месторождений. — 1993. — Т. 35. — № 6. — С. 493–519.
4. Мозгова, Н.Н. Блеклые руды / Н.Н. Мозгова, А.И. Цепин. — М: Наука, 1983. — 280 с.
5. Петровская, Н.В. Развитие идей А.Е. Ферсмана в учении о типоморфизме минералов и минеральных ассоциаций / Н.В. Петровская, Ф.В. Чухров. — М: Наука, 1986. — С. 5–13.
6. Рогулина, Л.И. Благороднометалльная минерализация полиметаллических руд Маймино-ского месторождения (Приморье) / Л.И. Рогулина, О.Л. Свешникова, Е.Н. Воропаева // Записки РМО, 2010. — Ч. СXXXIX. — № 5. — С. 29–40.
7. Рогулина, Л.И. Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России: Матер. Всеросс. науч.-практ. конф. / Л.И. Рогулина, В.И. Теребилло, В.Г. Невструев, Е.Н. Воропаева. — Якутск: Изд. Дом СВФУ, 2015.
8. Рогулина, Л.И. Новые идеи в науках о Земле: Междунар. науч.-практ. конф. — Москва. МГРИ-РГГРУ. Доклады. — Т. 1 / Л.И. Рогулина. — М.: МГРИ-РГГРУ, 2015. — С. 394–395.
9. Спиридонов, Э.М. О видах и разновидностях блеклых руд и рациональной номенклатуре минералов группы. Некоторые замечания об условиях образования блеклых руд / Э.М. Спиридонов // Новые данные о минералах. — 1985. — Вып. 32 — С. 128–146.
10. Спиридонов, Э.М. Типоморфные особенности блеклых руд некоторых плутоногенных, вулканогенных, телетермальных месторождений золота / Э.М. Спиридонов // Геология рудных месторождений. — 1987. — № 6 — С. 83–91.
11. Keighin, Willam C. The system Ag-Sb-S from 600°C to 200°C / C. Keighin Willam, P.M. Honea // Mineral deposits. — 1969. — Vol. 4. — № 2. — P. 153–171.

© Рогулина Л.И., Воропаева Е.Н., Невструев В.Г., 2018

Рогулина Лариса Ивановна // rogulina@mail.ru
Воропаева Елена Николаевна // levorglav@mail.ru
Невструев Виктор Григорьевич // nevstruevvg@mail.ru

Шашорин Б.Н., Макаров А.И., Руднев В.В.,
Выдрич Д.Е. (ФГБУ «ВИМС»)

ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МАЛМЫЖСКОЙ РУДНО-МАГМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ И ВОЗМОЖНОСТИ ЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ПРОГНОЗИРОВАНИИ (СЕВЕРНЫЙ СИХОТЭ-АЛИНЬ)

*Для целей прогноза и поисков крупнообъемных штокверковых месторождений Au-Cu-порфирового типа на севере Сихотэ-Алинской металлогенической провинции по результатам компьютерной обработки информационных основ полей Δg и ΔT по программе «Каскад 3D» составлена трехмерная геофизическая модель геологического пространства недр, вмещающего в себя Малмыжскую Au-Cu-порфировую рудно-магматическую систему (РМС). С использованием той же программы обработки геофизических данных получены уникальные сведения, касающиеся плотностной инфраструктуры недр и намагниченности пород верхней части земной коры (до глубины ~ 7,5 км) территории листа М-54-XXXI. С применением полученных сведений оконтурены потенциально рудоносные обстановки ранга рудный узел, соответствующие геофизическим характеристикам Малмыжской Au-Cu-порфировой РМС. **Ключевые слова:** диоритовые и Au-Cu-порфировые центры, ареалы высоко — и умеренно магнитных пород, потенциально рудоносные обстановки.*

Shashorin B.N., Makarov A.I., Rudnev V.V., Vydrich D.E. (VIMS)

GEOLOGICAL-GEOPHYSICAL MODEL MALMYZHSKIY ORE-MAGMATIC SYSTEM AND THE POSSIBILITY OF ITS USE IN FORECASTING (THE NORTHERN SIKHOTE-ALIN)

*For the purposes of prediction and searches of the bulk stockwork deposits of Au-Cu-porphyry type in the North Sikhote-Alinskiy metallogenic province on the results of computer processing of the information basics field Δg and ΔT on the program «Cascade 3D» composed of three-dimensional geophysical model of the geological subsurface space that can accommodate Malmyzhskiy Au-Cu-porphyry ore-magmatic system (RMS). Using the same program of processing geophysical data to obtain unique information concerning the density of infrastructure in the subsoil, and the magnetization of rocks of the upper part of the crust (to a depth of ~ 7.5 km) in the area of sheet M-54-XXXI. With the use of the information outlined in potentially ore-bearing environment grade ore node corresponding geophysical characteristics Malmyzhskiy Au-Cu-porphyry RMS. **Keywords:** diorite and Au-Cu-porphyry centres, areas of high and moderately magnetic rocks, potentially ore-bearing environment.*

Малмыжская рудно-магматическая система (РМС), продуцирующая и вмещающая в себя крупнейшее в Хабаровском крае Au-Cu-порфировое месторождение Малмыж, располагается в пределах низкогорной гряды Малмыжских высот (лист ГГК РФ М-53) на право-