

УДК 549.324.3

Мышьяк и золото в дендритах пирита Мутновского Au-Ag-полиметаллического месторождения

В.М. Округин¹, О.А. Зобенько¹, В.Д. Абрамова², Д.А. Яблокова¹

¹*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006; e-mail: okrugin74@gmail.com*

²*Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Москва*

Представлены результаты изучения сульфидно-полиметаллических руд южного фланга зоны Определяющая Мутновского Au-Ag-полиметаллического месторождения с помощью аналитической сканирующей электронной микроскопии (SEM) и масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой и лазерным пробоотбором (LA-ICP-MS). Показано, что пирит содержит широкий спектр элементов-примесей. Предполагается, что золото входит в структуру пирита изоморфно.

Введение

Мутновское золото-серебро-полиметаллическое месторождение (МЗСПМ) – крупнейший рудный объект Южно-Камчатского горнорудного района [8]. Оно расположено в южной части сочленения Центрально- и Восточно-Камчатского вулканических поясов [5, 9]. В структурном отношении месторождение приурочено к Мутновско-Асачинскому вулканогенно-рудному металлогеническому центру магматической и гидротермальной деятельности, продолжающейся с миоцена по настоящее время [2].

Главная рудная зона Определяющая представлена стволовой жилой с многочисленными оперяющими маломощными жилами и прожилками и почти по центру пересекает все рудное поле в субмеридиональном направлении. В пределах рудной зоны выделяются два фланга – Северный и Южный, отличающиеся минеральными типами оруденения [10]. Северный фланг представлен малосульфидными золото-кварцевыми с адуляром и карбонатом рудами. Южный – сульфидно-полиметаллическими, сложенными пиритом, сфалеритом, галенитом, халькопиритом, сульфосолями сурьмы, мышьяка, теллура и серебра, теллуридами золота и серебра с кварцем и серицитом [6, 7].

Руды месторождения отличаются многообразием текстур и структур, отражающих сложность и многостадийность их формирования. Особого внимания заслуживают дендритовые текстуры и структуры, образованные оригинальными срастаниями рудных и жильных минералов [1].

В широком смысле дендриты представляют собой сложные, расходящиеся в стороны кристаллические древовидные ветвящиеся образования. Они возникают при ускоренной или стесненной кристаллизации в неравновесных условиях, когда ребра или вершины скелетного кристалла расщепляются по определенным законам [3, 4].

Методы исследования

Минеральный состав руд был изучен методом аналитической SEM в лаборатории вулканогенного рудообразования ИВиС ДВО РАН на сканирующем электронном микроскопе Vega III Tescan с энергодисперсионным спектрометром Oxford Instruments X-Max 50 mm². Образцы напылялись углеродом. Локальные определения составов выполнялись с использованием электронного луча с ускоряющим напряжением в 20 кэВ и током 1 нА.

Определение содержания элементов-примесей методом LA-ICP-MS проводилось в лаборатории анализа минерального вещества ИГЕМ РАН с помощью квадрупольного масс-спектрометра Thermo X Series 2 с системой лазерного пробоотбора New Wave UP213. Вскрытие зерен производилось профильной абляцией со скоростью 5 мкм/сек и

диаметром луча лазера 40 мкм. В качестве внутреннего стандарта использовался Fe⁵⁷, исходя из стехиометрии пирита, в качестве внешнего – MASS-1 (USSG). Полученные данные обрабатывались в приложении Iolite к программе IgorPro.

Результаты

Для руд Мутновского месторождения характерно широкое разнообразие минерального состава при большом диапазоне вариаций содержаний элементов-примесей в минералах. Главные рудные минералы – пирит, сфалерит, галенит; второстепенные – халькопирит, блеклые руды, марказит и алабандин [7, 10].

Пирит отличается удивительным разнообразием форм выделений – от единичных идиоморфных кристаллов до дендритовидных агрегатов причудливой формы в тесных сростаниях с галенитом, сфалеритом и блеклыми рудами. По данным многолетних детальных минералого-геохимических исследований, с применением рентгеноспектрального микрозондового анализа EMPA (Camebax 244) пирит характеризуется типичным для вулканогенной гидротермальной жильной комплексной полиметаллической минерализации Камчатки спектром элементов-примесей – As, Cu, Zn, Pb (таблица) [6].

Таблица. Предельные и средние содержания (ppm) микроэлементов в пирите Мутновского золото-серебро-полиметаллического месторождения по данным LA-ICP-MS (n – количество измерений).

	As	Cu	Zn	Au	Mn	Ag	Cd	Sb
Участок 2, n=5								
min	646,1	54,5	54,5	0,7	<ПО	20,6	<ПО	51,8
max	6034,2	790,3	1105,4	10,8	6,6	73,7	40,6	107,3
Сред.знач.	3159,1	239,3	329,9	3,7	-	42,4	-	74,1
Участок 3, n=4								
min	2226,8	92,4	304,4	1,6	5,5	32,9	4,1	48,6
max	6087,6	309,7	571,4	3	8,8	92,4	8	105,7
Сред.знач.	3824,8	177,8	452,6	2,3	7,2	51,9	6,1	82,5
Участок 16, n=5								
min	6301,2	379,1	203,5	5,3	52,9	44,8	<ПО	47,5
max	16607,4	2242,8	1164,1	9,1	88,6	157	14,4	287,3
Сред.знач.	11929,6	907,8	380,1	7,8	74,1	73,2	-	126,8
Участок 17, n=1								
	8437,2	339,1	24,6	9,5	82,2	53,5	-	167,1
Участок 18, n=1								
	16233,6	1244,2	349,8	11,5	63,6	75,3	3,5	75,8
Участок 20, n=2								
min	9825,6	408,5	453,9	8,8	54,5	69,4	4	81,7
max	15219	1190,8	784,9	11,7	152,2	347,1	4,1	105,2
Сред.знач.	12522,3	799,7	619,4	10,25	103,4	208,3	4,05	93,5
Участок 21, n=3								
min	9612	672,8	133,5	6	16,7	36,3	<ПО	24
max	18743	891,8	598,1	9,5	50,7	84,4	3,3	62,5
Сред.знач.	14097,6	786,8	318,6	7,5	31,9	60,3	-	46,5

Широкое применение методов аналитической SEM позволило выделить два типа дендритов пирита, различающихся микроструктурой, химическим составом, особенностями распределения химических элементов: 1. однородные близкие к стехиометричным (Fe 45,59-47,52; S 52,07-53,91); 2. неоднородные, как правило, зональные. Химическая неоднородность (зональность) обусловлена локальным обогащением отдельных зон такими элементами-примесями, как As (0,4-6,75 вес.%), Cu

(0,77-2,33 вес.%) и Zn (0,6-1,21 вес.%). Как правило, зональность классическая центрального типа, подчеркивающая грани роста кристаллов.

С помощью LA-ICP-MS установлено: - концентрации изотопов V^{51} , Co^{59} , Ni^{60} , Se^{77} , Te^{125} , In^{115} ниже предела обнаружения; - подтверждены (ранее установленные на SEM) примеси As, Cu, Zn (содержания варьируют 704,9-18743 ppm, 47,5-2242,8 ppm, от 24,6-1164,1 ppm, соответственно); - впервые установлены такие элементы, как Mn (до 152,2 ppm), Sb (до 287,3 ppm), Cd (до 40,6 ppm), Au (до 11,7 ppm), Ag (до 347,1 ppm; таблица).

Выявлены положительные корреляционные связи между содержаниями мышьяка и золота с серебром, меди с сурьмой, цинка с медью (рисунок). Обратная зависимость отмечается у концентраций марганца и меди. Для кадмия не обнаружено корреляционной зависимости с другими элементами.

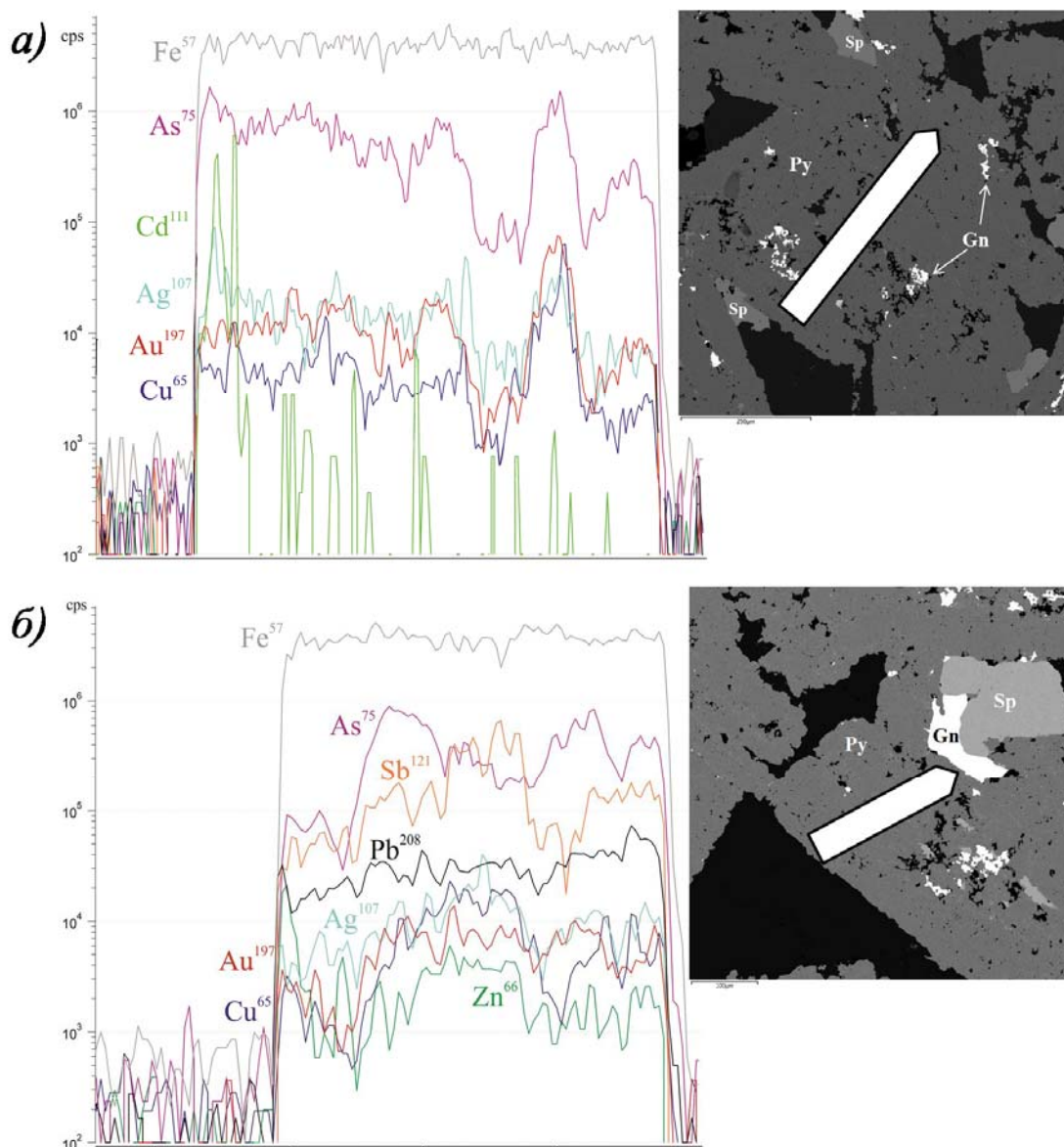


Рисунок. Распределение элементов-примесей в дендритах пирита Мутновского месторождения. Py – пирит, Sp – сфалерит, Gn – галенит. Cps - импульсы в секунды. Стрелками показано направление профилей лазерного пробоотбора. Фото BSE SEM Vega III Tescan.

Выводы

Впервые для Мутновского месторождения комплексом методов (SEM, LA-ICP-MS) были установлены в дендритах пирита наряду с мышьяком, медью и цинком такие

элементы-примеси, как марганец, сурьма, свинец, кадмий, золото и серебро. Наиболее ярко выражена зависимость концентраций мышьяка с золотом и серебром. По нашему мнению данные элементы входят изоморфно в структуру пирита, что не исключает присутствия мельчайших микровключений собственных минеральных форм золота, серебра, мышьяка и других рудообразующих элементов. Стоит отметить, что Мутновское месторождение по геолого-структурным особенностям, возрасту формирования, морфологии и размерам рудных тел, текстурно-структурным и минералого-геохимическим особенностям руд обнаруживает удивительное сходство с крупнейшим комплексным свинцово-цинковым месторождением Японии – Тойоха (о. Хоккайдо) и должно рассматриваться в качестве одного из перспективных источников Au, Ag, In, Cd, Pb, Zn, Cu Камчатского края.

Список литературы

1. *Андреева Е.Д., Ким А.У., Шишканова К.О., Мозжерина А.Ю.* О дендритах в рудах вулканогенных месторождений Курило-Камчатской островной дуги // Материалы X региональной молодежной научной конференции «Природная среда Камчатка», 12-13 апреля 2011 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН. С. 5-14.
2. *Василевский М.М.* Вулканогенно-рудные пояса и центры // Прогнозная оценка рудоносности вулканогенных формаций. М.: Недра, 1977. С. 86–95.
3. *Григорьев Д.П.* О различии минералогических терминов: скелет, дендрит и пойкилит // Известия вузов. Геология и разведка. № 8. 1965.
4. *Дымков Ю.М.* Минеральные индивиды и минеральные агрегаты // Генезис минеральных индивидов и агрегатов. М.: Наука. 1966.
5. Карта полезных ископаемых Камчатской области масштаба 1: 500 000. Краткая пояснительная записка. Каталог месторождений, проявлений, пунктов минерализаций и ореолов рассеяния полезных ископаемых // Главные редакторы: Литвинов А.Ф., Патока М.Г. (Камчатгеолком), Марковский Б.А. (ВСЕГЕИ). Петропавловск-Камчатский: СП КФ ВСЕГЕИ, 1999, 560 с.
6. *Мозжерина А.Ю., Шишканова К.О.* Некоторые особенности минералогии руд жильной зоны Определяющая (Южный фланг золото-серебро-полиметаллического месторождения Мутновское) // Материалы XI региональной молодежной научной конференции «Природная среда Камчатки». Петропавловск-Камчатский, 16 апреля 2012 г. С. 59-70.
7. *Округин В.М.* Мутновское серебро-полиметаллическое месторождение // Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России. В 2 кн. / Ред. А.И. Ханчук. Владивосток: Дальнаука, 2006, кн. 1. С. 712-716.
8. *Округин В.М., Андреева Е.Д., Ким А.У. и др.* Вулканогенные гидротермальные месторождения зоны перехода континент-океан (Камчатка, Япония) // Фундаментальные проблемы геологии месторождений полезных ископаемых и металлогении. Материалы XXI Международной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения академика В.И. Смирнова, 26-28 января 2010 г. М.: МГУ, 2010. С. 47-48.
9. *Петренко И.Д.* Золото-Серебряная Формация Камчатки. Петропавловск-Камчатский, 1999. 116 с.
10. *Takahashi R., Matsueda H., Okrugin Victor M., Shuji Ono.* Polimetallic and Au-Ag mineralization at the Mutnovskoe deposit in South Kamchatka // Resource Geology, vol. 56, no. 2, 2006. P. 141-156.