

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МИКРОПРИМЕСЕЙ В СУЛЬФИДАХ СИНВУЛКАНИЧЕСКОГО И МЕТАМОРФОГЕННОГО ЭТАПОВ РУДООБРАЗОВАНИЯ НА ДЖУСИНСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

Е.И. Ярцев

Джусинское колчеданно-полиметаллическое месторождение, расположенное в Адамовском районе Оренбургской области является уникальным для Урала Объектом с крайне сложной историей формирования. Теренсайский рудный район, включающий месторождение невелик, установлено всего два промышленных рудных объекта: Джусинское и Барсучий Лог (отработано). Месторождение уникально по сравнению с другими уральскими колчеданными месторождениями по составу вмещающих вулканогенно-осадочных толщ (отличаются повышенной щелочностью), наиболее широким проявлением разнопланового метаморфизма, как регионального, так и локального контактового, по наличию промышленных скоплений баритовой и галенитовой минерализации, максимально широким развитием разновозрастных субвулканических и дайковых образований.

Джусинское месторождение локализовано в вулканогенно-осадочных толщах карамалыташской свиты эйфельского возраста [Косарев, Артющкова, 2007]. Свита принадлежит к базальт-андезит-дацит-риолитовой формации.

В структурном отношении месторождение приурочено к локальной зоне смятия, осложняющей Теренсайскую антиклиналь (Рис. 1). Рудные тела столбообразной формы локализованы в существенно дацитовой толще. Всего установлено 18 рудных тел, сложенных колчеданными и колчеданно-полиметаллическими рудами. Рудовмещающая толща прорывается силлоподобными телами габбро-порфириров раннеэйфельско-раннеживетского субвулканического комплекса и дайками диоритов раннекаменноугольного магнитогорского комплекса [Ярцев, Еремин, Викентьев, 2017].

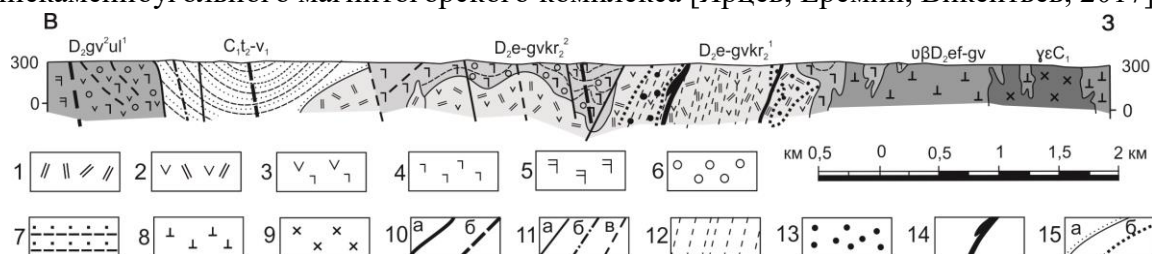


Рис. 1. Субширотный разрез через Теренсайскую антиклиналь и Джусинское месторождение [по В.И. Воробьеву, 1970 с изменениями Ярцев, 2018]: 1 – дациты; 2 – андезидациты; 3 – андезибазальты; 4 – базальты; 5 – пироксеновые базальты; 6 – туфы крупнообломочные; 7 – углисто-глинистые, углисто-глинисто-кремнистые, углисто-кремнистые, кремнистые сланцы, песчаники, гравелиты; 8 – габбро, габбро-порфириды; 9 – гранодиориты, граносиениты, плагиограниты; 10 – дайковые образования: а – диориты, габбро-диориты раннекаменноугольного магнитогорского интрузивного комплекса, б – субвулканические габбро-порфириды эйфельско-живетского возраста; 11 – разрывные нарушения: а – достоверные, б – установленные по данным дешифрирования аэрофотоснимков, в – предполагаемые; 12 – зоны повышенного рассланцевания; 13 – гидротермально-метасоматически измененные породы (окварцевание, серицитизация, хлоритизация); 14 – колчеданные залежи Джусинского месторождения; 15 – границы: а – несогласного залегания пород, в – гидротермально-измененных пород.

С помощью метода LA-ICP-MS проанализированы элементы-примеси в основных генерациях рудных минералов с применением точечной и профильной абляции с

использованием квадрупольного масс-спектрометра Thermo XSeries 2 и приставки для лазерной абляции NWR 213, аналитик – В.Д. Абрамова, ИГЕМ РАН. Для большинства минералов они проводились точечным анализом (диаметр пучка лазера 40 мкм), для кристаллически-зонального пирита – по профилям через зерно пирита.

Анализ распределений среднегеометрических содержаний микропримесей по основным рудным генерациям показал следующее. От ранней генерации пирита (Py-1, колломорфный) к поздней (Py-2, кристаллически-зональный) происходит значительное увеличение Cr; снижаются концентрации Mn, Ag, Cd, Tl, Bi. В халькопирите от ранней генерации (из медноколчеданных и колчеданно-полиметаллических руд) к поздней (из кварц-сульфидных жил заполнения) происходит сильное увеличение содержания серебра (почти в 80 раз, до 334 ppm ср. геом.), и заметное снижение концентраций Ga, Cd, Sn.

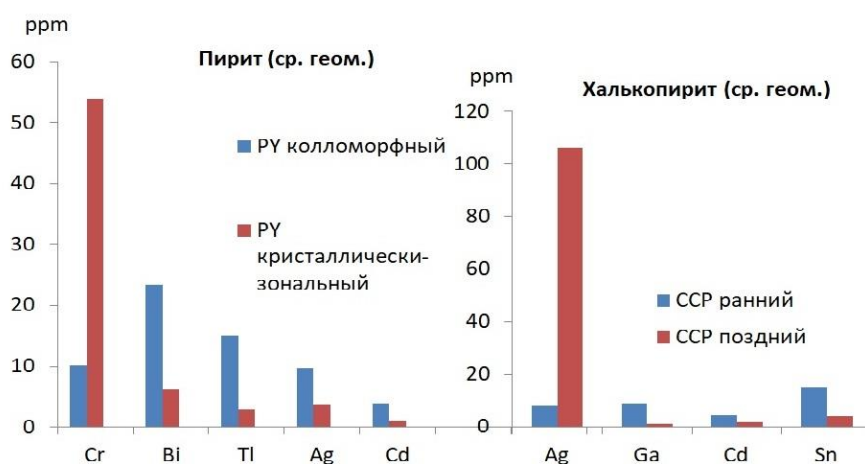


Рис. 2. Изменение содержаний некоторых микропримесей в ранних и поздних генерациях пирита и халькопирита.

Повышенные концентрации (относительно других сульфидов) серебра характерны для блеклой руды (ср. геом. 858 ppm), золота – для арсенопирита (до 57 ppm, ср. геом. 4 ppm, по сравнению с 0.14 – 1.82 ppm для остальных сульфидов, ср. геом. (Рис. 3)).

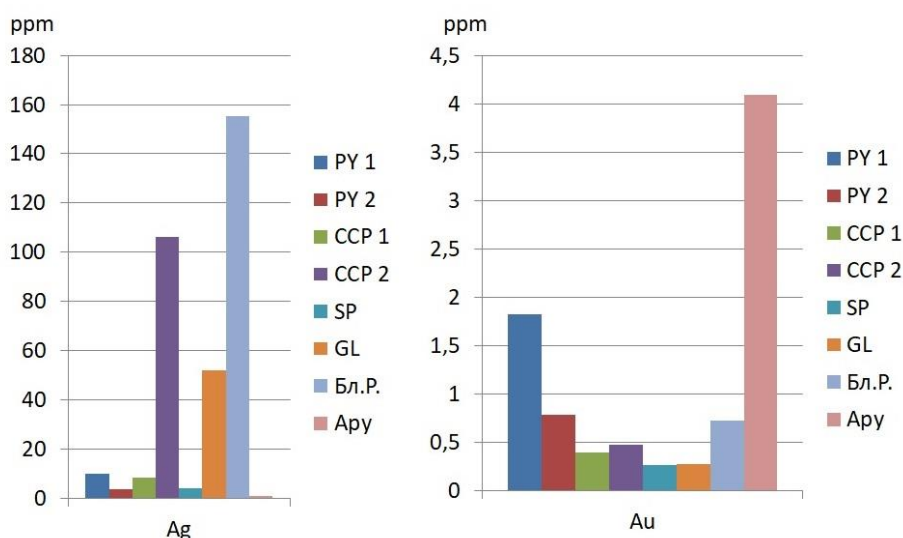


Рис. 3. Распределение золота и серебра в основных генерациях сульфидных минералов: PY – пирит (1 – колломорфный, 2 – кристаллически-зональный), CCP – халькопирит (1 – ранний из колчеданных руд, 2 – поздний из жил заполнения), SP – сфалерит, GL – галенит, Бл.Р. – минералы группы блеклых руд, Ару – арсенопирит.

При исследовании кристаллически-зонального пирита содержания микропримесей рассчитаны в профилях по сегментам (блокам), выделенным на основании изменений содержаний 4-х элементов (As, Co, Sb, Tl), которые обычно рассматриваются как типичные изоморфные примеси в его составе.

Выявлено неравномерное ступенчатое (соответствующее зонам роста), но без пиков распределение кобальта, подтверждающее изоморфное вхождение этого элемента в состав пирита (Рис. 4).

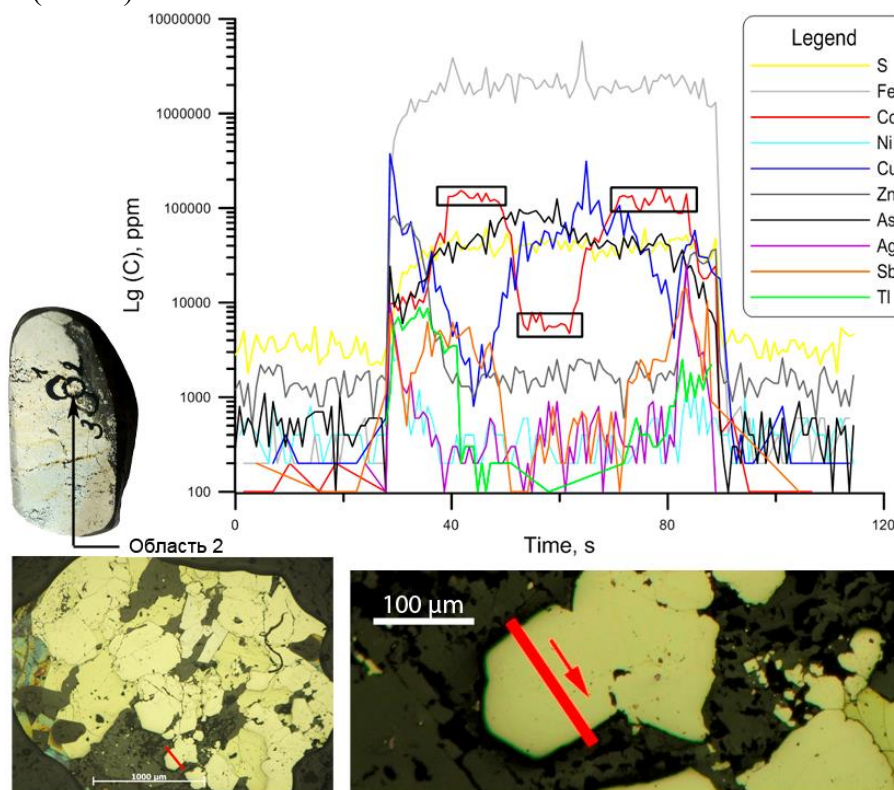


Рис. 4. Кривые распределения микропримесей по профилю через зерно кристаллически-зонального пирита.

Обработка данных LA-ICP-MS производилась статистическими методами (кластерный анализ, факторный анализ, метод главных компонент), как по отдельным минералам, так и по всей выборке с целью нахождения “сквозных” геохимических ассоциаций.

Ассоциации микропримесей, повторяющиеся во всех трех использованных видах статистического анализа (кластерный анализ, факторный анализ, метод главных компонент), выделены в группы.

По всей выборке сульфидов выделены ассоциации:

Zn-Cd-Hg;

Se-Pb-Ag-Bi;

W-Mo;

Ga-Ge-Sn;

Cd-Zn-Hg-Cr-Co-W.

Наиболее устойчивой из всех является ассоциация Zn-Cd-Hg, очевидно, отвечающая сфалериту с его характерными главными (Zn) и примесными (Cd, Hg) элементами.

Аналогичные анализы, произведённые по каждому сульфиду в отдельности, выявили в них по 3-4 группы коррелирующих элементов

На основании сходимости результатов факторного анализа, кластерного анализа (построение дендрограмм методом полной связи, расстояния объединения – 1-г Пирсона) и метода главных компонент в каждом минерале выделены характерные ассоциации микропримесей (Таблица 1).

Таблица 1.

Ассоциации элементов-примесей основных генераций рудных минералов.

Минералы	Группы ассоциаций элементов-примесей			
	Au-Ag	Bi-Se	Ртутная	Прочие
Py-1	Au-Ag-Cd	Se-Bi	Tl-Sb-Hg	
Py-2	As-Au-Ag-Cr		Tl-Sb-Hg	Pb-W
Ccp-1	Au-Ag-Pb-Bi-In	Se-Cu		Te-As
Ccp-2		Sn-Se	Cr-Hg-In	Ga-Ge-Co-W
Sp	Cd-Ag-Au-Cr		Hg-Bi-Ga-Sn	In-Tl-W
Gn	Au-Cr	Ag-Se	Hg-Bi-In	
Tnt-Ttr	Ag-As; Au-Sn-Te	Bi-Se		
Apy		Au-Bi-Se		Ge-Ag-In

Примечание: Py 2 – кристаллически-зональный (из руд); Apy – арсенопирит, Tnt – теннантит, Ttr – тетраэдрит.

Сходимость выделенных групп удовлетворительная и сводится к незначительным различиям, что говорит о наличии геолого-минералогических оснований выделения данных геохимических ассоциаций.

Помимо характерных только для конкретного минерала прослеживаются и “сквозные”, встречающиеся в разных сульфидах группы примесей, например:

Au-Bi-Se в арсенопирите,

Bi-Se в блеклой руде и колломорфном пирите;

корреляция Au с Ag в пирите 1 и 2, халькопирите и сфалерите.

Поскольку содержания Au в арсенопирите на несколько порядков выше, чем в блеклой руде, можно предположить, что золото, коррелирующее в арсенопирите с Bi и Se, перешло туда в процессе синметаморфического роста его кристаллов, развивающегося псевдоморфно по блеклой руде.

С учетом вышеизложенных данных, составлена схема последовательности минералообразования на месторождении, отражающая как синвулканические ассоциации, так и поздние наложенные (Рис. 5)

Этапы рудообразования			Гидротермально-осадочный			Метаморфогенный			Гипергенный
Минералы	Стадии		Предрудного метасоматоза	Серно-колчеданная	Полиметаллическая	Ранней регенерации руд	Контактового метаморфизма	Регионального метаморфизма (Поздней регенерации руд)	
	Генерации								
Г л а в н ы е	Py	Вмещающих метасоматитов	■				X		
		Колломорфный и концентрически-зональный		■			X		
		Кристалл.-зональный							■
		Азональный							■
	Ccp	Серноколчеданных руд			■			X	
		Зернистый и сдвойникованный Жилл заполнения			■				■
	Sp	Железистый				■		X	
Маложелезистый					■			■	
Gn				■				■	
Qz				■			X	■	
Cal				■			X	■	
Второстепенные	Tnt-Ttr				■		X		
	Apy				■		X	■	
	Brт				■		X	■	
	Ser				■		X	■	
	Chl				■		X	■	
Редкие	Mag						X	■	
	Gp						X	■	
	Au						X	■	
Гипергенн.	Cv						X		■
	Cct						X		■

Рис. 5. Схема последовательности минералообразования на Джусинском месторождении [Ярцев, 2018]: Py – пирит, Ccp – халькопирит, Sp – сфалерит, Gn – галенит, Qz – кварц, Cal – кальцит, Tnt – теннантит, Ttr – тетраэдрит, Apy – арсенопирит, Brт – барит, Ser – серицит, Chl – хлорит, Cv – ковеллин, Cct – халькозин, Mag – магнетит, Gp – гипс (эндогенный).

Литература

Воробьев В.И. Отчет о разведке Джусинского колчеданно-полиметаллического месторождения в Адамовском р-не за 1956-70гг. (по состоянию на I/VII-70г.). Оренбург, 1970 г.

Косарев А.М., Артюшкова О.В. Джусинский палеовулканический комплекс: стратиграфическое положение, геохимические особенности, геодинамические реконструкции // Геологический сборник № 6 / ИГ УНЦ РАН. Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2007. С. 174 – 180.

Ярцев Е.И., Еремин Н.И., Викентьев И.В. Субвулканические габбро-порфириты, интрузивные диориты и колчеданное оруденение Джусинского месторождения (Южный Урал) // Доклады Академии наук. 2017. Т. 476. № 2. С. 197–199.

Ярцев Е.И. Колчеданно-полиметаллическое оруденение в метаморфизованных вулканогенных толщах Южного Урала (на примере Джусинского месторождения): монография. – Казань: Бук, 2018. – 170 с.