

распределения включений бурнонита: либо наличие тонкодисперсного бурнонита способствовало осаждению мельчайшего самородного золота, либо золото обогащает сам бурнонит.

Работа выполнена при поддержке проекта РНФ № 14-17-00693-П.

Литература

Бородаевский Н. И., Бородаевская М. Б. Березовское рудное поле. М.: Metallurgizdat, 1947. 264 с.

Викентьев И. В. Исследование форм нахождения золота в сульфидах // Технологическая минералогия природных и техногенных месторождений. Сб. стат. IX сем. по технол. минер. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2015. С. 71–76.

Сидорова Н. В., Абрамова В. Д. Золотосодержащий пирит Березовского месторождения (Средний Урал) // Металлогения древних и современных океанов–2017. Дифференциация и причины разнообразия месторождений. Миасс: ИМин УрО РАН, 2017. С. 135–139.

Спиридонов Э. М., Бакшеев И. А., Середкин М. В., Куруленко Р. С., Прокофьев В. Ю., Устинов В. И., Прибавкин С. В., Филимонов С. В. Гумбеитовая формация Урала. М.: МГУ, 1997. 100 с.

Ballhaus C., Bockrath C., Wohlgemuth-Ueberwasser C., Laurenz V., Berndt J. Fractionation of the noble metals by physical processes // Contribution to Mineralogy and Petrology. 2006. Vol. 152. P. 667–684.

Danyushevsky L., Robinson Ph., Gilbert S., Norman M., Large R., McGoldrick P., Shelley M. Routine quantitative multi-element analysis of sulphide minerals by laser ablation ICP-MS: Standard development and consideration of matrix effects // Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis. 2011. № 11(1). P. 51–60.

Paton C., Hellstrom J., Paul B., Woodhead J., Hergt J. Iolite: Freeware for the visualisation and processing of mass spectrometric data // Journal of Analytical Atomic Spectroscopy. 2011. Vol. 26. P. 2508–2518.

Vikent'eva O. V., Bortnikov N. S., Vikentyev I. V., Groznova E. O., Lyubimtseva N. G., Murzin V. V. The Berезovsk giant intrusion-related gold-quartz deposit, Urals, Russia: Evidence for multiple magmatic and metamorphic fluid reservoirs // Ore Geology Reviews. 2017. Vol. 91. P. 837–863.

Е. О. Олейникова¹, Д. А. Артемьев²

¹ – Южно-Уральский государственный университет, филиал в г. Миассе
miass10oleynikova@mail.ru

² – Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс

Состав микропримесей пирита из золоторудных месторождений в ливственитах (Южный Урал) (научный руководитель д.г.-м.н. Е. В. Белогуб)

Работа проведена с целью установления особенностей содержаний микропримесей в пирите южноуральских золоторудных месторождений, связанных с ливственитами. В ходе работы изучен пирит из золотоносных ассоциаций Ганеевского, Алтын-Ташского и Октябрьского месторождений. В работе использованы образцы Е. В. Белогуб, К. А. Новоселова и М. В. Заботиной. Задачи работы включали: оптико-микроскопическое изучение золотоносных минеральных ассоциаций; получение и

интерпретацию аналитических данных; сравнительный анализ данных, полученных разными авторами для пирита золоторудных месторождений различной генетической принадлежности.

Содержания микропримесей в пирите месторождений Южного Урала получены с применением метода ИСП МС с лазерной абляцией на масс-спектрометре Agilent 7700x с программным комплексом MassHunter и лазерной приставкой New Wave Research UP-213 (Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс, аналитик Д. А. Артемьев). Параметры масс-спектрометра: RF Power – 1550 Вт, рабочий газ – Ar, скорость несущего потока 0.95 л/мин, плазмообразующий поток Ar – 15 л/мин, охлаждающий поток Ar – 0.9 л/мин. Калибровка масс-спектрометра осуществлялась на калибровочных мультиэлементных растворах. Параметры лазера: Nd:YAG, длина волны излучения 213 нм, энергия пучка (fluence) – 2.5–3.5 Дж/см², частота повторения импульсов 7 Гц, диаметр пятна абляции – 60–110 мкм, несущий газ – He, скорость потока 0.65 л/мин. Время работы лазера: 5 с (преабляция) + 25–30 с (холостой ход) + 50–60 с (время анализа). Время между преабляцией и анализом – 15–25 с. Для градуировки и расчета использовались международные стандарты: прессованный сульфид USGS MASS-1 [Wilson et al., 2002] и стекло NIST SRM-612. Расчет проводился в программе Iolite с использованием ⁵⁷Fe в качестве внутреннего стандарта.

Для сравнения привлекались данные по черносланцевому [Паленова и др., 2015; Maslennikov et al., 2009; Steadman et al., 2013] и осадочному [Large et al., 2011; Sack et al., 2013] пириту.

Пирит в золотоносных фуксит-альбит-кварц-карбонатных (листвениты) и серицит-кварц-карбонатных (березиты) породах указанных месторождений представлен рассеянной вкрапленностью идиоморфных и гипидиоморфных часто трещиноватых кристаллов и их скоплениями с размером сечения до 5 мм. Часто пирит содержит пойкилитовые включения породообразующих минералов, реже – халькопирита, пирротина, золота. Для пирита из лиственитов Ганеевского месторождения характерны сростания с халькопиритом [Заботина, 2017].

Листвениты и березиты Алтын-Ташского месторождения сложены кварцем, альбитом, карбонатами (магнезит и доломит), слюдами (серицит, парагонит и фуксит) и, частично, хлоритом, эпидотом и лейкоксеном. Количество рудных минералов низкое; основные: пирит, халькопирит и вторичные сульфиды меди. В пирите присутствуют включения халькопирита, реже галенита, сфалерита, пирротина, тетрадимита и золота. Редкие минералы кварцевых жил включают арсенипирит, сфалерит, галенит, молибденит, теннантит, борнит, айкинит, тетрадимит, теллуросисмутин, алтаит, мелонит, фробергит, самородный теллур, миллерит, гематит, линнеит, пентландит, самородное золото, электрум, гессит и (петцит?) [Belogub et al., 2017 и ссылки внутри].

В состав Буйдинского рудного поля входят Ганеевское и Октябрьское месторождения. Листвениты состоят из доломита и магнезита в различных пропорциях, кварца, альбита, фуксита и пирита, редко парагонита, халькопирита и золота. Березиты состоят из доломита, анкерита и, частично, Fe-магнезита, кварца, альбита, серицита, редко хлорита. Рудные минералы: пирит, халькопирит и самородное золото. Кварцевые жилы обычно содержат доломит, редкие сульфиды, коренное золото и Au- и Ag-теллуриды с включениями золота. В мощных кварцевых жилах галенит ассоциирует с теннантитом, айкинитом, полидимитом, миллеритом, золотом и теллу-

ридами. Магнетит и гематит встречаются в виде включений в пирите [Belogub et al., 2017 и ссылки внутри].

С пиритом указанных месторождений ассоциируют собственные минералы никеля и кобальта – никелин, тетраэдрит, мелонит и др. [Belogub et al., 2017]. В составе пирита ранее микронзондовым методом установлены примеси Co и Ni. По данным ЛА ИСП МС, в пирите также присутствуют Cu, Zn, As, Se, Ag и др. (табл.).

Т а б л и ц а

Средние содержания микропримесей в пирите южноуральских золоторудных месторождений, связанных с лиственитами и березитами (г/т)

	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Ag	Sn	Sb	Te	W	Hg	Pb	Au
Ганеевское														
Березит	179.4	209.9	20.6	3.6	4.2	20	0.4	0.4	0.1	4.3	1	4.2	0.5	1.8
Лиственит	405.9	59.7	88.2	18.7	443.7	49.7	0.3	0.2	2.5	1.3	0.3	19.5	1.2	0.2
Алтын-Таш														
	276.4	459.3	14.9	1.9	19.8	91.8	0.1	0.2	0.1	4.3	0.3	0.6	1.2	0
Октябрьское														
	481.6	330	25.2	877.3	472.5	22.8	0.7	0.7	2.9	2.6	1.6	0.2	38.6	1

Для сопоставления содержания примесей в пирите месторождений золота были вынесены на спайдер-диаграммы (рис. 1). Форма спектра для пирита изученных месторождений сходна в области тяжелых металлов (Tl, Pb, Hg) и значительно отличается в области цветных. Содержания Ag, Sn, Sb, Te, Au, W, Tl, Pb и Hg сходны.



Рис. 1. Состав микропримесей пирита по данным ЛА ИСП МС.

График построен на логарифмической прямой без учета ураганных показателей содержания химических элементов.

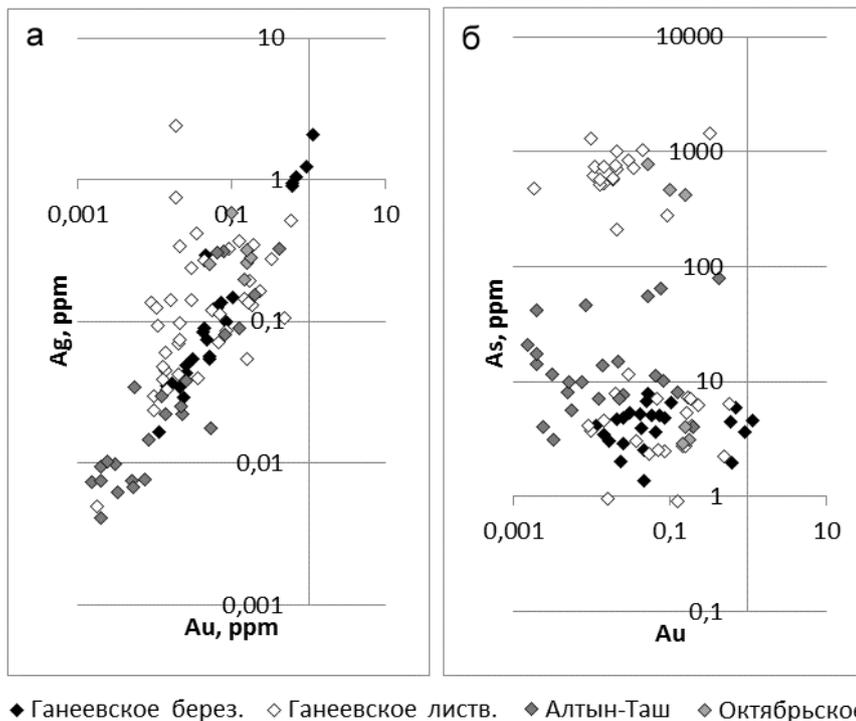


Рис. 2. Бинарные диаграммы зависимости элементов-примесей в пирите по данным ЛА ИСП МС.

Графики построены без учета ураганных показателей содержания химических элементов.

В пирите изученных месторождений содержания Co, Ni и Zn отличаются на несколько порядков. Концентрации Сг максимальны в пирите из лиственитов Ганеевского месторождения. Содержание As в пирите из лиственитов Октябрьского и Ганеевского месторождений незначительно выше, чем в пирите из лиственитов Алтын-Ташского месторождения и березитах Ганеевского месторождения. Содержание Se в пирите месторождений варьирует незначительно.

На бинарных диаграммах (рис. 2) прослеживается корреляционная зависимость между некоторыми элементами-примесями в пирите. Области точек, соответствующие всем изученным месторождениям, образуют значительно перекрывающиеся поля, что может указывать на сходство условий образования пирита.

Анализ данных, опубликованных по составу микропримесей в пирите золоторудных месторождений, связанных с осадочными породами, показывает, что пирит обогащен микропримесями на порядок и более, в особенности – его наиболее ранние генерации [Large et al., 2007; 2011; Maslennikov et al., 2009; Sack et al., 2013, Steadman et al., 2013; Паленова и др., 2015].

Таким образом, пирит из месторождений березит-лиственитового типа характеризуется низкими содержаниями примесей, которые формируют собственные минералы, а не рассеяны в пирите.

Литература

- Заботина М. В.* Минералогия и условия образования Ганеевского месторождения золота (Учалинский рудный район) // Дис. ... канд. геол.-мин. наук. Миасс, 2017.
- Паленова Е. Е., Белогуб Е. В., Плотинская О. Ю., Новоселов К. А., Масленников В. В., Котляров В. А., Блинов И. А., Кузьменко А. А., Грибоедова И. Г.* Эволюция состава пирита на золоторудных месторождениях Копыловское и Кавказ в черносланцевых толщах (Бодайбинский район, Россия) по данным РСМА и ЛА-ИСП-МС // Геология рудных месторождений. 2015. Т. 57. № 1. С. 71–92.
- Belogub E. V., Melekestseva I. Yu., Novoselov K. A., Zabortina M. V., Tretyakov G. A., Zaykov V. V., Yuminov A. M.* Listvenite-related gold deposits of the South Urals (Russia): A review // *Ore Geology Reviews*. 2017. Vol. 85. P. 247–270.
- Large R. R., Bull S. W., Maslennikov V. V.* A carbonaceous sedimentary source-rock model for Carlin-type and orogenic gold deposits // *Economic Geology*. 2011. Vol. 106. P. 331–358.
- Large R. R., Maslennikov V. V., François R., Danyushevsky L. V., Zhaoshan Ch.* Multistage Sedimentary and Metamorphic Origin of Pyrite and Gold in the Giant Sukhoi Log Deposit, Lena Gold Province, Russia // *Economic Geology*. 2007. Vol. 102. P. 1233–1267.
- Maslennikov V. V., Maslennikova S. P., Large R. R., Danyushevsky L. V.* Study of trace element zonation in vent chimneys from the Silurian Yaman-Kasy volcanic-hosted massive sulfide deposit (Southern Urals, Russia) using laser ablation-inductively coupled plasma mass spectrometry (LA-ICP MS) // *Economic Geology*. 2009. Vol. 104. P. 1111–1141.
- Sack P. J., Danyushevsky L. V., Large R. R., Gilbert S., Gregor D.* Sedimentary pyrite as a gold-source in sediment-hosted gold occurrences in the Selwyn Basin area, Eastern Yukon // *Yukon Exploration and Geology*. 2013. P. 195–220.
- Steadman A. J., Large R. R., Meffre S., Bull S. W.* Age, origin and significance of nodular sulfides in 2680 Ma carbonaceous black shale of the Eastern Goldfields Superterrane, Yilgar Craton, Western Australia // *Precambrian Research*. 2013. № 230. P. 227–247.
- Wilson S. A., Ridley W. L., Koenig A. E.* Development of sulfide calibration standards for the laser ablation inductively-coupled plasma mass spectrometry technique // *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*. 2002. № 17. P. 406–409.

Ю. А. Падучина

*Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс
padushina@mail.ru*

Минералогия месторождения золота Красная Жила (Учалинский район, Южный Урал) (научный руководитель д.г.-м.н. Е. В. Белогуб)

Золото длительное время является одним из самых востребованных драгоценных металлов, поэтому важно тщательно прорабатывать технологический процесс по его извлечению из руды. Поводом для выполнения минералогических работ было обращение ЗАО НПФ «Башкирская золотодобывающая компания», столкнувшейся с проблемой низкого извлечения золота из руд текущей добычи. Целью работы является характеристика руд и вмещающих пород месторождения Красная Жила. Статья написана по результатам написания выпускной квалификационной работы бакалавра.

Изучен материал, отобранный сотрудниками Института минералогии рО РАН в ходе полевых работ с карьера месторождения Красная Жила в 2014 г. С целью нахождения рудного золота была получена протолочная проба, разделенная бромформом и магнитной сепарацией с помощью магнита Сочнева. Для выяснения тек-