

За выполнение аналитических определений автор выражает признательность В. Д. Абрамовой и Н. В. Трубкину. Работа выполнена при поддержке проекта РНФ № 14-17-00693-П.

Литература

Андреев А. В. Геологическое строение, условия локализации и закономерности формирования золотых руд месторождения Новогоднее-Монто (Полярный Урал) // Геология, полезные ископаемые и геоэкология северо-запада России. Матер. XIV молод. науч. конф. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2006. С. 7–9.

Викентьев И. В., Абрамова В. Д., Иванова Ю. Н., Тюкова Е. Э., Ковальчук Е. В., Бортников Н. С. Микропримеси в пирите золото-порфирового месторождения Петропавловское (Полярный Урал) по данным LA-ICP-MS // Доклады Академии наук. 2016. Т. 470. № 3. С. 326–330.

Викентьев И. В., Мансуров Р. Х., Иванова Ю. Н., Тюкова Е. Э., Соболев И. Д., Абрамова В. Д., Выхристенко Р. И., Трофимов А. П., Хубанов В. Б., Грознова Е. О., Двуреченская С. С., Кряжев С. Г. Золото-порфировое Петропавловское месторождение (Полярный Урал): геологическая позиция, минералогия и условия образования // Геология рудных месторождений. 2017. Т. 59. № 6. С. 501–541.

Кениг В. В., Бутаков К. В. Месторождения рудного золота Новогоднее-Монто и Петропавловское – новый золоторудный район на Полярном Урале // Разведка и охрана недр. 2013. № 11. С. 22–24.

Мансуров Р. Х., Андреев А. В., Двуреченская С. С., Викентьев И. В. Геолого-структурные особенности крупнообъемного прожилково-вкрапленного золотосульфидного оруденения Петропавловского месторождения (Полярный Урал) // Вестник института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2017. № 3 (267). С. 3–13.

Ivanova J., Tykova E., Abramova V., Kovalchuk E., Vikentyev I. Ores mineralogy and first data about «invisible» form of Au in pyrite of the Novogodnee-Monto deposit (the Polar Urals, Russia) // 13th Biennial Meeting of Society for Geology Applied to Mineral Deposit. Nancy, France. 2015. V. 1. P. 121–125.

Н. В. Сидорова, В. Д. Абрамова
Институт геологии рудных месторождений,
минералогии, петрографии и геохимии РАН, г. Москва
nsidorova989@mail.ru

Микропримеси в галените сульфидно-кварцевых жил золотоносных метасоматитов Березовского месторождения, Средний Урал

Метод масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой и лазерным способом отбора пробы (ЛА ИСП МС) хорошо зарекомендовал себя для анализа сульфидов. Одним из важных преимуществ этого метода является низкий предел обнаружения содержания Au (0.005–0.03 г/т) [Danyushevsky et al., 2011; Викентьев, 2015]. При анализе сульфидов из тыловых зон метасоматических колонок березитов и гумбеитов Березовского месторождения ранее основным исследуемым минералом был пирит [Сидорова, Абрамова, 2017]. В зерне пирита из сульфидно-швелит-кварцевого прожилка в гумбеитизированных гранодиоритах Шарташского массива при сканировании линии профиля был обнаружен пик содержания Au 0.3 г/т, совпавший с пиками

Pb, Bi, Ag и Sb, т.е., предположительно, указывающий на микровключение галенита. Это стало предпосылкой для анализа галенита и сравнения его состава для двух метасоматических формаций Березовского золоторудного поля. Цель работы – показать характер распределения микропримесей в галените тыловой зоны (сульфидно-кварцевых жил) гумбеитовой и березитовой метасоматических формаций.

Березовское месторождение на Среднем Урале – классический золоторудный объект кварцево-жильного типа, разрабатываемый с 1748 г. Месторождение расположено в надапикальной части Шарташского интрузива и представляет собой систему многочисленных даек гранитоидов, которые пересечены вкрест простирания золотоносными кварцевыми жилами. Золотосодержащими рудами являются сульфидно-кварцевые жилы и их зальбанды. Среди жил выделяют «лестничные» (полосовые) в дайках и «красичные». Первые приурочены к гранитоидным дайкам, березитизированным около жил, вторые залегают во вмещающих зеленокаменных породах и серпентинитах, лиственитизированных около жил [Бородаевский, Бородаевская, 1947; Vikent'eva et al., 2017]. Гумбеиты обнаружены на южной периферии месторождения вблизи Шарташского плутона, развиты вдоль широтных разрывов среди гранитоидов всех трех его фаз, также наложены на дайки гранодиорит-порфиров, микродиоритов и спессартитов и сопровождаются кварцевыми жилами с шеелитом, вольфрамрутилом, сульфидами и самородным золотом [Спиридонов и др., 1997].

Для анализа отобраны монофракции галенита из лестничных жил Ильинской дайки гранит-порфиров (гор. 325) и сульфидно-кварцевого прожилка с шеелитом (мощностью 3 см) в гумбеитизированных гранодиоритах карьера Изоплит Шарташского массива. В Перво-Павловской дайке плагиогранит-порфиров (гор. 387) скопления галенита не обнаружены в наблюдаемых лестничных жилах, т.к. галенит здесь срастается с айкинитом и развит по трещинам в пирите, поэтому профиль зондирования проходил через агрегаты зерен.

Состав изучен на рентгеноспектральном микроанализаторе JEOL JXA-8200 (аналитик Е. В. Ковальчук) и на квадрупольном масс-спектрометре XSeries, оснащенном приставкой для лазерного пробоотбора NewWave UP-213 (аналитик В. Д. Абрамова). Параметры измерения: частота 15–20 Гц, диаметр пучка лазера 30–80 мкм, плотность энергии 7–10 Дж/см². При сканировании линией скорость составила 5 мкм/с. Перед каждым измерением снимались холостые показания в течение 30 с. Расчет данных был произведен в приложении Iolite для программы IgorPro [Paton et al., 2011]. При относительно однородном составе кристаллов галенита для количественного расчета компонентов было взято среднее значение по всей линии анализируемого профиля. При неоднородном и зональном распределении элементов он был поделен на сегменты. Для анализа сульфидов использованы два стандарта: MASS1 (Геологическая служба США) – синтетический сульфид ZnCuFeS в виде прессованных гранул и домашний стандарт Po-stc, содержащий 20 г/т Au, Ag и ЭПГ в пирротиновой матрице и изготовленный по методу [Ballhaus et al., 2006].

Состав галенита имеет выраженные различия, уловимые даже РСМА. Наиболее обогащен примесями галенит богатых золотом жил Перво-Павловской дайки: 3 мас. % Bi, 1.4 мас. % Ag. По данным ЛА ИСП МС распределение примесей достаточно равномерное (табл.). Для галенита в сростании с айкинитом отмечаются колебания содержания Te (99–260 г/т), Ag (4931–5815 г/т) и Bi (10720–13300 г/т) вдоль одной линии профиля зондирования, при этом Au отмечено в виде дискретных пиков (0.4–0.6 г/т). Для агрегата зерен галенита, выполняющего трещины в пирите, характерно

Таблица

**Состав галенита сульфидно-кварцевых жил
березитовой и гумбеитовой формаций**

Место отбора	n		Cu	Zn	As	Se	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	Au	Tl	Bi		
Березиты	И	9	мин	0.2	0.4	1.9	1.3	1631	169	0.01	1.7	45	11	0.01	4.0	4070	
			макс	17	3.6	286	4.8	2660	326	0.16	10	127	177	0.40	6.3	7450	
			С _{ра}	3.7	1.3	38	3.2	2179	231	0.06	5.3	77	133	0.12	5.2	5750	
			С _г	1.8	1.1	8.7	2.8	2153	224	0.04	4.5	73	73	0.08	5.1	5623	
		ПП	2	мин	2.5	3.0	327	9.4	4931	12	0.01	0.1	0.5	99	0.04	1.6	10720
	макс			31	4.9	363	15.8	6914	35	0.02	0.16	1.6	414	1.13	3.1	13735	
			С _{ра}	13	3.8	346	12.5	5907	27	0.02	0.13	1.2	294	0.26	2.0	12857	
			С _г	9	3.7	346	12.3	5877	24	0.02	0.13	1.1	267	0.12	2.0	12815	
Гумбеиты	8	мин	0.6	0.5	6.7	3.9	962	161	0.01	0.4	80	153	0.01	2.1	1983		
		макс	196	1.5	21	7.7	1447	285	0.02	0.7	374	208	0.37	3.9	3563		
		С _{ра}	52	1.0	18	5.7	1228	202	0.01	0.6	211	186	0.13	3.2	2995		
		С _г	14	0.9	18	5.6	1221	199	0.01	0.6	193	185	0.09	3.1	2960		

Примечание. И – Ильинская дайка, ПП – Перво-Павловская дайка; n – количество профилей зондирования; С_{ра} – среднее арифметическое; С_г – среднее геометрическое.

равномерное распределение элементов-примесей; Au здесь также образует дискретные пики (рис. б), его содержания достигают 1.13 г/т, что обусловлено микроворостками или пленками золота на границе зерен галенита.

Галенит лестничных жил Ильинской дайки образует скопления и гнезда до нескольких сантиметров. Примесь Ag составляет 0.2 мас. %, Bi – 0.6–0.8 мас. %. При анализе методом ЛА ИСП МС по профилю с диаметром пучка лазера 30 мкм обнаружены пики Au (0.14–0.4 г/т), приуроченные к краям зерен (рис. а), что может свидетельствовать о наличии тонкой пленки золота (или обогащенного Au галенита) на поверхности кристаллов. При сканировании краевых частей этих же зерен галенита пучком лазера диаметром 80 мкм обнаружены единичные пики Au (0.05–0.08 г/т), при этом к краям зерен увеличивается содержание As (от 10 г/т в среднем по зерну до 264 г/т) и Te (от 11 до 174 г/т).

Галенит в сульфидно-кварцевом прожилке в гумбеитах образует небольшие гнезда (до 10×5 мм). Содержания Ag колеблется от 962 до 1447 г/т (в среднем ~1220 г/т); среднее содержание Bi ~2900 г/т. Характерна низкая концентрация Au (0.01–0.04 г/т) по всему кристаллу с увеличением содержаний на периферии до 0.37 г/т (рис. в, г). Вместе с Au увеличиваются содержания Cu (до 180 г/т) и Sb (до 300 г/т) к краям зерен, что может быть связано с тонкодисперсными включениями бурнонита CuPbSbS₃ – характерного минерала гумбеитов Шарташского массива. Остальные элементы-примеси распределены довольно равномерно (см. табл.).

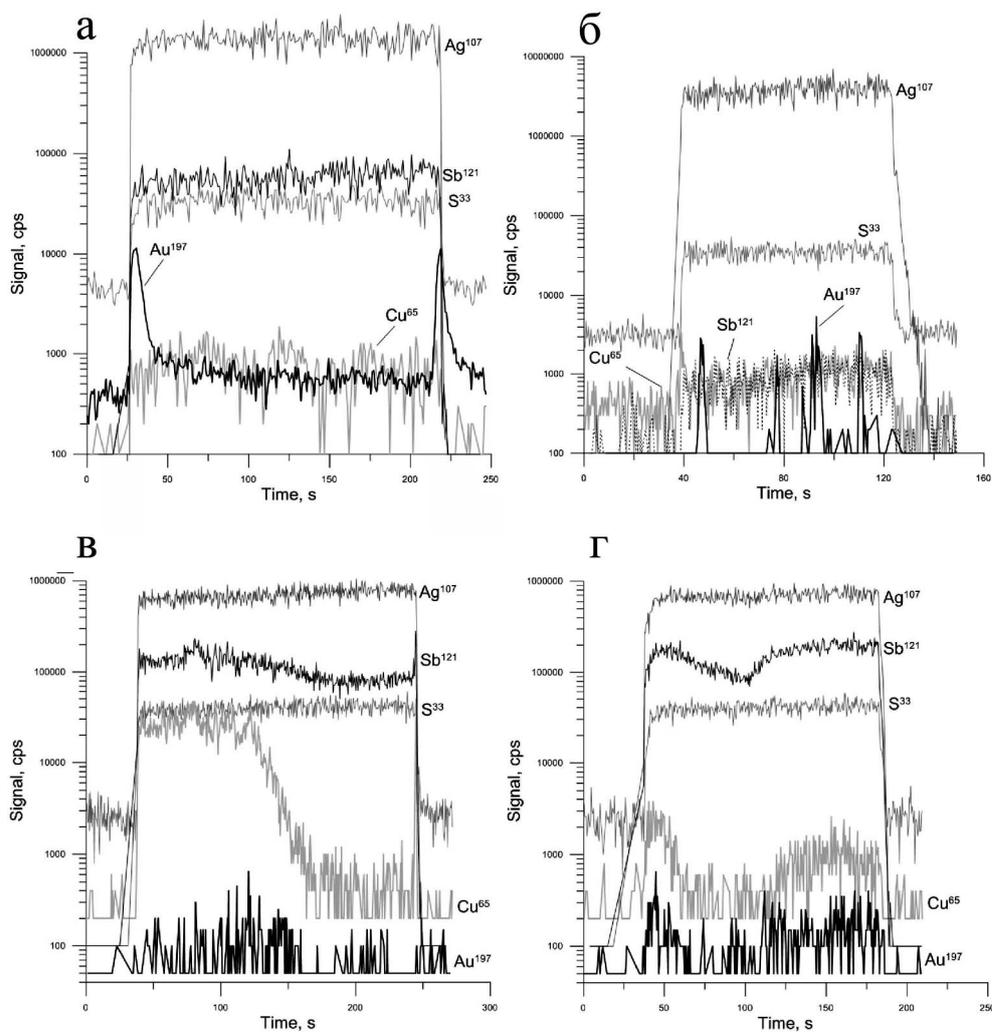


Рис. Графические изображения профилей зондирования зерен галенита: а, б – лестничных жил Ильинской (1) и Перво-Павловской (2) дайки; в, г – сульфидно-кварцевой жилы в гумбеитах Шарташского массива.

Длина профилей (мкм): 1 – 950; 2 – 428; 3 – 1031; 4 – 728. По вертикальной оси – количество импульсов в сек. (signal, cps), по горизонтальной оси – развертка времени (time, s).

Таким образом, детально проанализирован состав галенита сульфидно-кварцевых жил гумбеитовой и березитовой метасоматических формаций высокочувствительным методом ЛА ИСП МС. В галените лестничных жил в березитах самородное золото, предположительно, присутствует в виде тонких пленок на поверхности кристаллов. Для галенита сульфидно-сеепит-кварцевого прожилка в гумбеитах характерно «тонкодисперсное» распределение золота по всему кристаллу с увеличением его содержания к краям зерен, что согласуется с тонкодисперсным характером

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.: Металлургиздат, 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 лиственитах (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 лиственитами. 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