

Трофимов А. П., Фунтиков Б. В., Лючкин В. А., Пивоваров А. П., Таранина Б. Б. Геолого-геохимические особенности золоторудного железо-скарнового месторождения Новогоднее Монто на Полярном Урале // Геология и металлогения ультрамафит-мафитовых и гранитоидных интрузивных ассоциаций складчатых областей. Матер. науч. конф. (X Чтения А. Н. Заварицкого). Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2004. С. 449–452.

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

**Золотосодержащий пирит Березовского месторождения
(Средний Урал)**
(научный руководитель д.г.-м.н. И. В. Викентьев)

Современные методы исследования сульфидных минералов достаточно разнообразны и, в зависимости от поставленной задачи, имеют свои преимущества и ограничения. Для определения элементов-примесей в пирите (в том числе, Au) и их пространственного распределения хорошо зарекомендовал себя метод ЛА-ИСП-МС [Викентьев, 2015; 2016]. Для Березовского месторождения пирит является главным рудным минералом и нередко встречается в виде идиоморфных кристаллов, а также является одним из главных минералов-концентраторов золота, поскольку в нем присутствуют мелкие включения самородного золота [Золоторудные ..., 1984]. Данных о присутствии на месторождении Au в химически связанной форме в пирите или наноразмерных включений в нем (т. е. «невидимого» золота) в литературе нет; более того, бытует мнение, что все золото в рудах месторождения «видимое». В связи с этим, высокочувствительным методом ЛА-ИСП-МС был изучен пирит из рудных жил и березитов двух даек (Ильинской и Перво-Павловской). Цель публикации – показать характер распределения золота в кристаллах пирита Березовского месторождения.

Березовское золоторудное месторождение на Среднем Урале – классический золоторудный объект кварцево-жильного типа, разрабатываемый с 1748 г. Месторождение представляет разветвленную систему жильных интрузий гранитоидов (субмеридиональных и ССВ), которые пересечены вкрест простирающимися кварцевыми жилами. Золотосодержащими рудами являются сульфидно-кварцевые жилы и их зальбанды. Среди жил выделяют «лестничные» (полосовые) и «красичные». Первые приурочены к гранитоидным дайкам, березитизированным около жил, вторые залегают в зеленокаменных породах и серпентинитах, лиственитизированных около жил. На промышленных участках дайки пересекаются большим количеством сульфидно-кварцевых жил, их мощность, в среднем, составляет 5–7 см, длина ограничивается контактами даек. Ильинская дайка гранит-порфиров является ранней, а Перво-Павловская дайка плагиогранит-порфиров относится к поздним [Бородаевский, Бородаевская, 1947].

Для анализа были отобраны идиоморфные и субидиоморфные зерна пирита преимущественно кубической формы и размером от 0.5 до 2 мм в поперечнике. Зерна

были залиты полимерной смолой в шашки, отполированы и предварительно изучены с помощью оптического и электронного микроскопов, и проанализированы на рентгеноспектральном микроанализаторе JEOL JXA-8200 (ИГЕМ РАН, г. Москва). Методом ЛА-ИСП-МС образцы проанализированы на квадрупольном масс-спектрометре XSeries, оснащенный приставкой для лазерного пробоотбора NewWave UP-213, при частоте 15–20 Гц, диаметре пучка лазера 40–60 мкм и плотности энергии 7–10 Дж/см² (ИГЕМ РАН, г. Москва). При сканировании линией скорость составила 5 мкм/сек. Длительность каждого измерения для точки 60 сек. Перед каждым измерением снимались холостые показания в течение 30 сек. В качестве внутреннего стандарта использовался изотоп железа ⁵⁷Fe. Расчет данных был произведен в приложении Iolite для программы IgorPro [Paton et al., 2011]. При относительно однородном составе кристаллов пирита для количественного расчета компонентов было взято среднее значение по всей линии анализируемого профиля. При неоднородном и зональном распределении элементов линии были поделены на сегменты. Для анализа сульфидов были использованы два стандарта: MASS1 (Геологическая служба США) – синтетический полиметаллический сульфид ZnCuFeS в виде прессованных гранул, и домашний стандарт ро-stc, содержащий 20 г/т Au, Ag и ЭПГ в пирротиновой матрице и изготовленный по методу [Ballhaus et al., 2006].

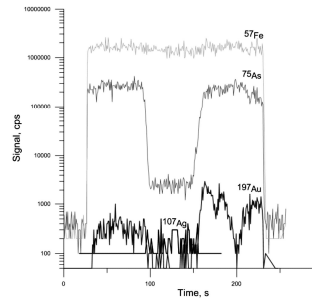
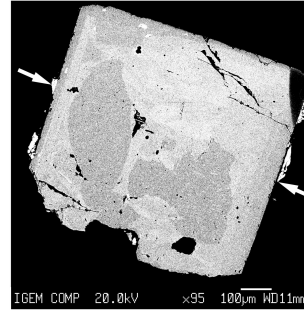
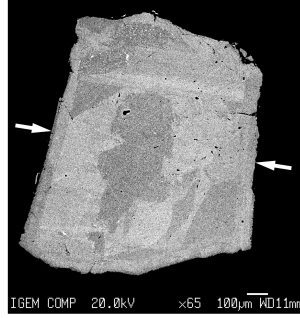
В большей части зерен пирита были выявлены включения других сульфидов, в основном, галенита, блеклой руды, халькопирита. Включения минералов округлой формы, размер их не превышает 30 мкм, при этом количество включений коррелирует с размером зерен. Для пирита размером более 1 мм характерно наличие трещин, по которым развивается блеклая руда в сростании с халькопиритом и самородным золотом. В преобладающем числе зерен пирита золото не установлено (его содержания находятся ниже или на пределе чувствительности, составляющем порядка 0.02 г/т). В 11 зернах пирита из двух соседних лестничных жил Перво-Павловской дайки (гор. 387, м/блок 115) содержания Au в центральной и внешних зонах составляют 16–22 г/т.

Помимо ростовой зональности в пирите была выявлена неоднородность (рис. 1, 2) в виде темных (в обратно-рассеянных электронах) участков неправильной формы, содержащих мелкие (от менее 1 до 15 мкм) включения ярких (в отраженных электронах) фаз. С помощью рентгеноспектрального микроанализатора удалось установить 2 типа включений: 1) включения халькопирита (размером более 10 мкм в поперечнике) и 2) Sn-содержащие включения овальной и вытянутой формы размером от первых микрометров до 8×3 и 1×10 мкм. В составе последних установлены (мас. %) Fe (42.7–39.4), S (51–48), Sn (3.4–5.1), Cu (3.7–5.8), Zn (0.3–0.5), In (до 0.3), Pb (до 0.2). Из-за малого размера Sn-содержащих фаз вполне возможно, что большая часть Fe и S были захвачены из «матрицы» (пирита), в которой находятся эти фазы.

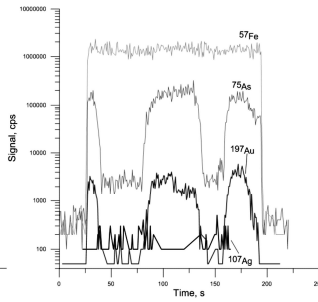
При анализе профилей зерен пирита обнаружена закономерность, проиллюстрированная на рисунке 1: светлые части зерен обогащены As и Au, а темные – Sn, Cu, Zn, Pb, Cd, In, Ag, Ga, Ge (обращает на себя внимание, что большинство элементов входит в состав станнина). При зондировании линий, минуя темные области с микровключениями, выявленные элементы-примеси (Au, Cu и As) распределены относительно однородно (рис. 2), для Au отмечено некоторое понижение сигнала к краям зерна пирита.

Рис. 1. Профили зондирования двух кристаллов пирита лестничных жил Перво-Павловской дайки.

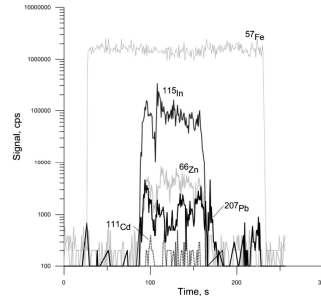
Длина профилей: слева – 1023 мкм; справа – 842 мкм. Здесь и на рис. 2, вертикальная ось – количество импульсов соответствующего элемента в сек. (signal, cps), горизонтальная ось – развертка времени (time, s); содержания элементов в интервалах профиля приведены в г/т.



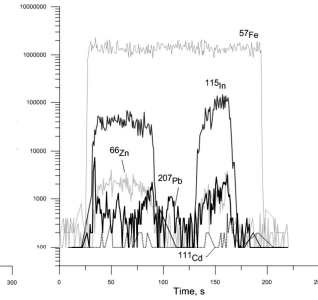
As	7 090	66	5 950
Au	2.1	0.4	4.8
Ag	-	0.7	-



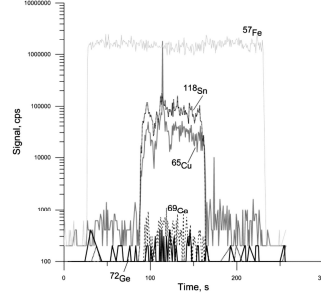
As	4308	60	5030	72	3337
Au	21	0.2	16	0.3	21.8
Ag	0.09	0.7	0.03	0.5	-



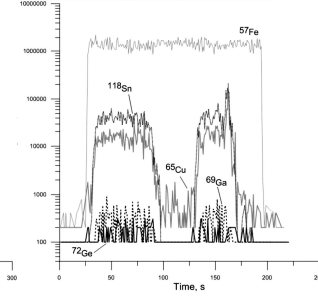
Zn	-	329	-
Cd	-	7	-
In	-	212	-
Pb	0.1	5.1	0.3



Zn	-	166	-	87.8	-
Cd	-	2.1	-	2.3	-
In	-	114	-	196	-
Pb	3.7	2.1	1.9	5.8	0.5



Cu	10.6	1 430	16.4
Ga	-	2.4	-
Ge	-	1.9	-
Sn	-	838	0.2



Cu	51	681	17 800	26
Ga	-	2.1	-	2.8
Ge	-	1.8	-	1.9
Sn	-	442	-	466

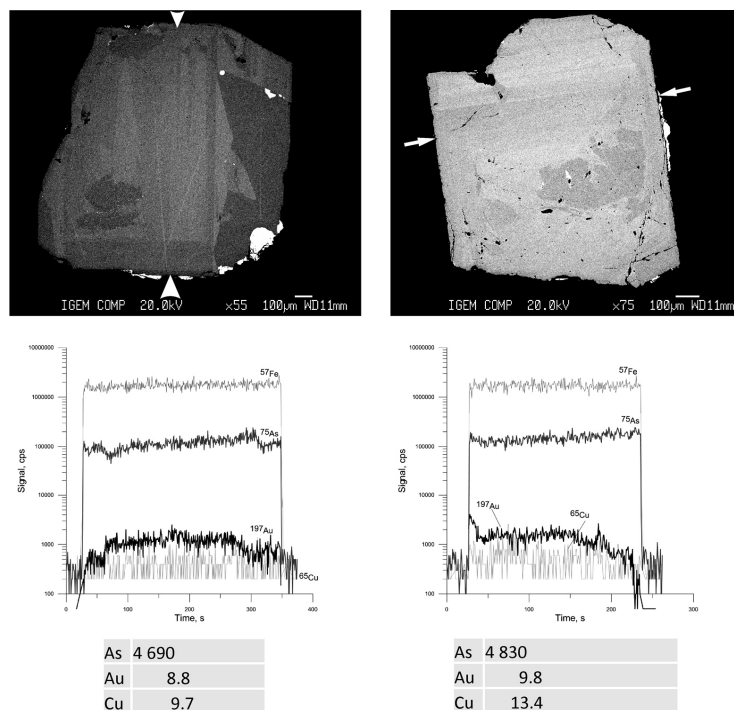


Рис. 2. Профили зондирования двух кристаллов пирита лестничных жил Перво-Павловской дайки.

Длина профилей: слева – 1604 мкм; справа – 1042 мкм.

Таким образом, впервые высокоточным методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой и лазерной абляцией получены данные об уровне содержания и пространственном распределении Au и сопутствующих элементов в зернах пирита крупнейшего на Урале Березовского золоторудного месторождения. Наряду с преобладающим на месторождении низкозолотоносным пиритом (содержащим только видимое золото), установлен высокозолотоносный пирит с зонально распределенным «невидимым» золотом, содержания которого в центральной и внешних зонах варьирует от 16 до 22 г/т.

Автор выражает благодарность Е. В. Ковальчук за электронно-микроскопические фотографии и микрозондовый анализ, а также Д. Е. Тонкачеву за помощь в расчетах данных ЛА-ИСП-МС. Работа выполнена при поддержке проекта РНФ № 14-17-00693.

Литература

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

Викентьев И. В., Абрамова В. Д., Иванова Ю. Н., Тюкова Е. Э., Ковальчук Е. В., Бортников Н. С. Золотоносность пирита золоторудного месторождения Петропавловское (Полярный Урал) по данным LA-ICP-MS, первые данные // Доклады академии наук. 2016. Т. 470. № 3. С. 326–330.

Викентьев И. В. Невидимое и микроскопическое золото в пирите: методы исследования и новые данные для колчеданных руд Урала // Геология рудных месторождений. 2015. Т. 57. № 4. С. 267–298.

Золоторудные месторождения. Т. 1 (Европейская часть СССР) / Под ред. *М. Б. Бородаевской, Н. И. Бородаевского*. М.: ЦНИГРИ, 1984. 291 с.

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.

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.

С. Ю. Степанов¹, А. А. Черепков²

¹ – Санкт-Петербургский горный университет,
г. Санкт-Петербург
Stepanov-1@yandex.ru

² – ООО «Березовский рудник», г. Екатеринбург

**Петрографо-геохимические особенности
апогранитовых золоторудных метасоматитов
Северной части Березовского рудного поля (Средний Урал)**
(научный руководитель д.г.-м.н. А. В. Козлов)

Березовское золоторудное месторождение располагается на Среднем Урале в окрестностях г. Екатеринбурга и отрабатывается уже на протяжении более 200 лет. Первоначально промышленный интерес представляли красичные жилы, а затем основной объем работ был направлен на отработку лестничных (полосовых) жил, залегающих в метасоматически преобразованных дайках гранитоидов. Цель данной работы – изучение взаимосвязи метасоматических преобразований даек с процессами формирования золотого оруденения. Нами были задокументированы стенки штреков, вскрывающих Андреевскую и Второпавловскую (гранит-порфиры II цикла), Первопавловскую и Елизаветинскую (плагиогранит-порфиры) дайки на глубине от –273 до –512 м, преимущественно, в пределах северной части рудного поля, и отобраны образцы для исследований. Описано 634 петрографических шлифа с выбором типовых образцов для проведения анализа распределения в них элементов-примесей методом ИСП-МС на квадрупольном масс-спектрометре ELAN-DRC-6100 (ФГУП «ВСЕГЕИ», г. Санкт-Петербург, аналитик В. А. Шишлов). Для построения генетической модели и выявления связи метасоматических процессов с рудообразованием проведены минераграфические исследования рудных агрегатов как пространственно связанных с метасоматитами, так и залегающих в кварцевых жилах.

Геологическое строение Березовского рудного поля детально описано в ряде работ [Бородаевский, Бородаевская, 1947; Поленов и др., 2013; Прибавкин и др., 2012]. Его важной особенностью является залегание даек гранитоидов в виде двух линейно вытянутых зон, сходящихся по падению в одну, в вулканогенно-осадочных породах новоберезовской свиты и в серпентинитах первомайского комплекса.