

В. В. Мурзин¹, Д. А. Варламов²

¹ – *Институт геологии и геохимии УрО РАН, г. Екатеринбург*

murzin@igg.uran.ru

² – *Институт экспериментальной минералогии РАН, г. Черноголовка*

Минералого-геохимические особенности золотого оруденения в метагипербазитах Сысертского метаморфического комплекса

Сысертский метаморфический комплекс на Среднем Урале является северной частью более протяженного Сысертско-Ильменогорского комплекса (СИК), представленного архей-протерозойским гнейсово-мигматитовым ядром и рифейским сланцевым обрамлением, к которым приурочены многочисленные тела ультрабазитов и ассоциирующих с ними габброидов. В ультрамафитах ядра и сланцевого обрамления локализованы проявления жильных карбонатитов с редкометалльно-редкоземельным оруденением, а в ультрамафитах обрамления, кроме того, золото-сульфидное и золото-сульфидно-магнетитовое оруденение [Левин и др., 2009].

Традиционно линзовидные тела ультраосновных пород сланцевого обрамления комплекса, контролирующиеся глубинными разломами, рассматриваются в составе рифейских рифтогенных офиолитов, претерпевших позднедокембрийский региональный зональный динамотермальный метаморфизм («сиалический плутонометаморфизм») и раннепалеозойский региональный кремнекислотный метасоматоз [Варлаков и др., 1998]. По этим представлениям в результате высокотемпературного метаморфизма гипербазиты, вместе с вмещающими их вулканогенно-осадочными породами, были преобразованы, по мере понижения температуры, в оливин-энстатитовые, тальк-оливиновые, оливин-антигоритовые и антигоритовые серпентиниты, а при метасоматозе возникли энстатитовые, антофиллитовые и тальк-карбонатные породы.

С проявлением динамотермального метаморфизма связывается образование золото-сульфидно-магнетитового оруденения Каганского месторождения, локализованного среди антигоритовых серпентинитов одноименного массива в Вишневогорском сегменте СИК. Минералого-геохимические особенности руд и метасоматитов этого месторождения приведены в наших ранних публикациях [Мурзин, Варламов, 2006; Мурзин и др., 2007]. Для них характерен ограниченный набор рудных элементов – Fe, Cu, Ni, Co, а из благородных металлов – Au, Ag и Pd. Спектр этих элементов нашел отражение в минералогии руд, в которых сульфиды образуют два парагенезиса – ранний, синхронный с отложением магнетита (халькопирит, пирротин, талнахит, кубанит, Cu-Co-Ni-содержащий макинавит) и поздний (халькопирит, борнит, пирротин, кобальтпентландит, железистый сфалерит). В составе обоих парагенезисов присутствуют частицы медьсодержащего самородного золота. Для Каганского месторождения предполагается метаморфогенное происхождение рудоносного флюида, образующегося при освобождении воды в процессе прогрессивного метаморфизма континентальных серпентинитов в окислительных условиях.

Объектом настоящего исследования стало Карасьеговское золото-никель-кобальт-медное месторождения, расположенное в Сысертском сегменте СИК. Тела ультраосновных пород здесь претерпели интенсивный региональный кремнекислотный метасоматоз, наложенный на продукты динамотермального метаморфизма и практически нацело превращены в породы оливин-энстатитового, энстатит-тальк-

карбонат-антофиллитового, антофиллитового и, в меньшей степени, тремолитового, актинолитового, тальк-карбонатного состава [Левин и др., 2009].

Оруденение локализовано в антофиллитовых и тремолит-антофиллитовых метасоматитах и представлено массивными и вкрапленными сульфидными рудами. Массивные руды имеют ориентированно-полосчатую, пятнисто-полосчатую текстуру, обусловленную присутствием пятнообразных выделений пирита и прожилковидных выделений халькопирита. Массивные руды окаймляются зонами вкрапленных руд мощностью от 0.6 до 2.0 м. Содержание сульфидов во вкрапленных рудах уменьшается к периферийным частям залежи от 50–60 до 1–2 %, постепенно переходя в безрудные тальк-карбонат-антофиллитовые породы. По данным [Левин и др., 2009] в неокисленных рудах содержания Au составили 1.6–4.1 г/т, Ag – 24.3–33.0 г/т, Cu – 9.3–16.7 мас. %, Ni – 0.39–0.71 мас. %, о – 0.19–0.29 мас. %.

По данным ICP-MS анализа метасоматитов, руд и слагающих их минералов устанавливается следующий набор преимущественно халькофильных элементов, которые концентрируются в руде в количестве на порядок и более по отношению к метасоматиту – Cu, Ni, Co, Zn, Ti, V, Mo, Se, Te, Cd, Sn, Hg, Bi, Ag, Au, Pd, Rh и U. Для большинства из них зафиксированы собственные минералы-концентраторы. В метасоматите концентрируются литофильные элементы Li, B, Na, Mg, Si, K, Rb, Ca, Mn, Sr, Y и Ba, носителями которых являются амфиболы и карбонаты.

Редкоземельные элементы в рудах и метасоматитах характеризуются невысоким суммарным содержанием относительно хондритового уровня, что подчеркивает апоультрабазитовую природу рудно-метасоматических образований.

Тренды распределения хондрит-нормализованных содержаний РЗЭ носят пологий характер и имеют в различной степени проявленную отрицательную европиевую аномалию (рис.). Европиевая аномалия не проявлена в доломите, в тремолите она более сильная, нежели в антофиллите. Для сплошной сульфидной руды отмечается сильно выраженная положительная цериевая аномалия пока неясного происхождения.

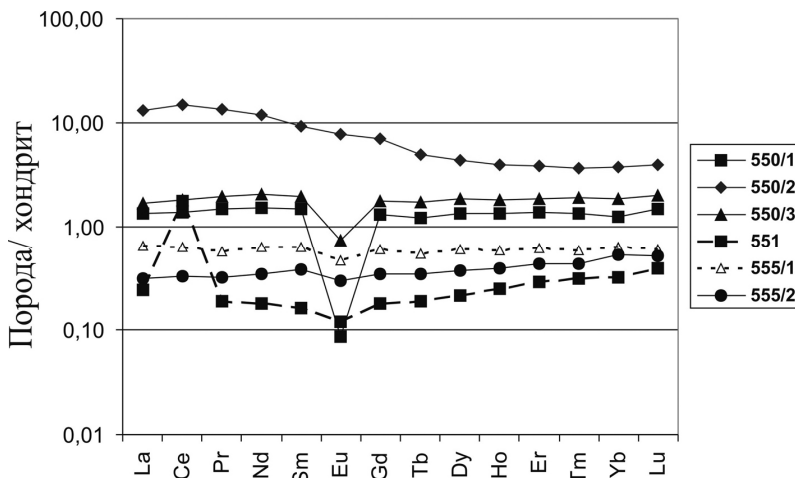


Рис. Хондрит-нормализованные тренды распределения РЗЭ в рудах и метасоматитах Карасьевогорского месторождения.

550 – тремолит-антофиллит-карбонатный метасоматит (1 – порода, 2 – доломит, 3 – тремолит); 551 – сульфидная руда; 555 – антофиллит-доломитовый метасоматит (1 – порода, 2 – антофиллит).

Отмечается более высокий уровень концентраций РЗЭ в амфибол-карбонатном метасоматите надрудной зоны (сумма РЗЭ = 3.5–25.7 г/т) (амфибол представлен преимущественно тремолитом) по отношению к метасоматиту подрудной и рудной части (сумма РЗЭ = 0.3–1.6 г/т) (амфибол представлен преимущественно антофиллитом). При этом РЗЭ, особенно тяжелые, максимально концентрируются в доломите.

Неоруденелый надрудный серпентинит содержит рассеянную вкрапленность сульфидов в количестве, не превышающем 1–2 об. %, представленных сростаниями частиц пирротина, пентландита и небольшого количества халькопирита. Пентландит содержит 1.6–1.8 мас. % Co, а пирротин – 0.2–0.3 мас. % Ni. Пентландит частично замещается виоларитом.

Околорудный метасоматит сложен преимущественно тремолитом ($Mg/Mg+Fe = 0.92–0.94$) и антофиллитом ($Mg/Mg+Fe = 0.80–0.86$). В меньшей степени в нем присутствует карбонат (доломит-анкерит, магнезит), хлорит (хромсодержащие клинохлор и пеннин), тальк, сульфиды (не более 1 об. %). Содержание Cr_2O_3 в хлорите варьирует от 0.7 до 3.5 мас. %. Рудные минералы метасоматита – редкие кристаллики хромшпинелида (содержит до 3.3 мас. % ZnO, до 1 мас. % MnO, TiO_2 и V_2O_5) и сульфиды железа и никеля двух парагенетических ассоциаций – халькопирит, пирротин, пентландит и полидимит (ранний парагенезис) и медьсодержащий виоларит, и Ni(Co)-содержащий пирит по пентландиту (поздний парагенезис).

Сульфидные руды имеют преимущественно вкрапленную текстуру. Цементирующая сульфиды масса сложена антофиллитом, хлоритом и карбонатом (сидеритом, содержащим до 2.7 мас. % CaO и до 3.2 мас. % MgO). Основные сульфидные минералы руды – пирит, халькопирит и кубанит. Пирит – ранний сульфид, активно замещающийся хлоритом, сидеритом, марказитом, халькопиритом, кубанитом. В позднем парагенезисе присутствует ильменит, а также целый ряд аксессуарных минералов – никельсодержащий пирит, пирротин, кобальтсодержащий пентландит, аргентопентландит, сфалерит, самородное золото и висмут, висмутин, молибденит, уранинит, Сl-апатит, теллуриды и селениды Bi и Ag (гессит Ag_2Te , теллуrowисмутит Bi_2Te_3 , пильзенит Bi_4Te_3 , цумоит $BiTe$, науманнит Ag_2Se), в виде выделений размером, как правило, не более 5–10 мкм. Ильменит содержит 7–9 % гейкелитового компонента, 2–3 % пиррофанитового и не более 2 % гематитового. Выделения никельсодержащего пирротина (7.5 мас. % Ni), кобальтсодержащего пентландита (14–17 мас. % Co) и аргентопентландита имеют неправильные или угловатые формы, как правило, локализуются в сульфидах меди – халькопирите и кубаните. Апатит образует кристаллики размером не более 10 мкм среди цементирующей сульфиды массы нерудных минералов, а также присутствует в виде сростков с хлоритом в халькопирите. Химический состав, определенный в одном из зерен апатита, указывает на его принадлежность к хлорапатиту (мас. %): CaO 54.06, SrO 0.09, FeO 0.14, Y_2O_3 0.94, P_2O_5 40.54, Cl 2.68, F 1.84, SO_3 0.31.

Частицы самородного золота располагаются преимущественно в сидерит-хлоритовой массе, цементирующей агрегаты амфибола. Для них характерны высокие содержания серебра и низкая пробность (483–656 ‰) (табл.). Примесь меди, в отличие от самородного золота Каганского месторождения, не зафиксирована. В аналогичной самородному золоту позиции локализуются кристаллы уранинита с примесями (мас. %): ThO_2 2.8–3.7, FeO 1.2–1.6, PbO 3.6–3.8.

Таким образом, несмотря на сходную благороднометальную специализацию руд, сформированных при метаморфизме и метасоматозе рифейских ультраосновных пород СИК, геохимический спектр рудных элементов в них различен. Для сульфидно-

Таблица

Химический состав золота из руд Карасьегогорского проявления, мас. %

№ зерен	Au	Ag	Hg	Сумма	Проба
554/1*	58.38	39.92	0.00	98.30	594
554/2*	65.04	34.13	0.03	99.20	656
551/28	47.45	50.80	0.00	98.25	483

Примечание. Анализы выполнены на волновом рентгеноспектральном микроанализаторе JXA-5a (ИГГ УрО РАН, г. Екатеринбург). Содержания Cu и Pd – ниже чувствительности метода (0.03 мас. %).

магнетитовых руд спектр ограничен Fe, Cu, Ni и Co, в то время как в сульфидных рудах Карасьегогорского месторождения он значительно более широк – Fe, Cu, Ni, Co, Ti, P, Zn, Au, Ag, Bi, U, Mo, Te, Se и отвечает элементам гипербазитового, базитового и гранитоидного профилей. Зафиксированы также признаки более позднего отложения сульфидных минералов и уранинита по отношению к антофиллиту, что свидетельствует об их наложенном характере.

Исследования осуществлялись при поддержке РФФИ (грант № 12-05-00734-а) на базе коллекции образцов и проб, а также фондовых материалов, любезно предоставленных авторам Ю. А. Волченко. Авторы также благодарны С. И. Нестеровой, оказавшей активное содействие при подготовке статьи.

Литература

Варлаков А. С., Кузнецов Г. П., Кораблев Г. Г., Муркин В. П. Гипербазиты Вишневогорско-Ильменогорского метаморфического комплекса (Южный Урал). Миасс: ИМин УрО РАН, 1998. 195 с.

Левин В. Я., Золоев К. К., Сергеев Н. С., Самков В. С. Допалеозойские ультрабазиты и связанное с ними оруденение Сысертско-Ильменогорского комплекса // Ультрабазит-базитовые комплексы складчатых областей и связанные с ними месторождения. Мат. III междунар. конф. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2009. Т. 2. С. 13–16.

Мурзин В. В., Варламов Д. А. Благородные металлы в магнетитовых рудах Каганского массива ультраосновных пород на Южном Урале // Ежегодник-2005. Информационный сборник научных трудов. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2006. С. 379–381.

Мурзин В. В., Варламов Д. А., Шанина С. Н. Новые данные о золото-антигоритовой формации Урала // Доклады АН. 2007. Т. 417. № 6. С. 810–813.