

Литература

Бельтнев В.Е., Неццетов А.В., Иванов В.Н., Шилов В., Рождественская И.И., Шагин А., Степанова Т.В., Андреева И.А., Семенов Ю.П., Сергеев М.В., Черкашев Г.А., Батуев В.Н., Самоваров М.Л., Кротов А.Г., Марков В.Ф. Новое гидротермальное поле в осевой зоне Срединно-Атлантического хребта // Доклады Академии наук. 2004. Т. 397. С. 690–693.

Мелекесцева И.Ю., Масленников В.В., Масленникова С.П., Данюшевский Л.В., Ларж Р. Ковеллин гидротермального поля Семенов-2 (13°31.13' с.ш., Срединно-Атлантический хребет): обогащение элементами-примесями по данным ЛА-ИСП-МС анализа // Доклады Академии наук. 2017. Т. 473. № 1. С. 71–75.

Черкашев Г.А., Иванов В.Н., Бельтнев В.Е., Лазарева Л.И., Рождественская И.И., Самоваров М.Л., Порошина И.М., Сергеев М.В., Степанова Т.В., Добрецова И.Г., Кузнецов В.А. Сульфидные руды северной приэкваториальной части Срединно-Атлантического хребта // Океанология. 2013. Т. 53. № 5. С. 680–693.

Beltenev V., Nescheretov A., Shilov V., Ivanov V., Shagin A., Stepanova T., Cherkashev G., Batuev B., Samovarov M., Rozhdestvenskaya I., Andreeva I., Fedorov I., Davydov M., Romanova L., Rumyantsev A., Zaharov V., Luneva N., Artem'eva O. New discoveries at 12°58' N and 44°52' W, MAR: initial results from the Professor Logatchev-22 cruise // InterRidge News. 2003. Vol. 12(1). P. 13–14.

Butler I.B., Nesbitt R.V. Trace element distribution in the chalcopyrite wall of a black smoker chimney: Insights from laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry (LA-ICP-MS) // Earth Planetary and Science Letters. 1999. Vol. 167. P. 335–345.

Evrard C., Fouquet Y., Moëlo Y., Rinnert E., Etoubleau J., Langlade J.A. Tin concentration in hydrothermal sulphides related to ultramafic rocks along the Mid-Atlantic Ridge: a mineralogical study // European Journal of Mineralogy. 2015. Vol. 27(5). P. 627–638.

Karpov I.K., Chudnenko K.V., Kulik D.A. Modeling chemical mass transfer in geochemical processes: Thermodynamic relations, conditions of equilibrium, and numerical algorithms // American Journal of Sciences. 1997. Vol. 297. P. 767–806.

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.

Melekestseva I.Yu., Maslennikov V.V., Tret'yakov G.A., Nimis P., Beltenev V.E., Rozhdestvenskaya I.I., Maslennikova S.P., Belogub E.V., Danyushevsky L., Large R., Yuminov A.M., Sadykov S.A. Gold- and silver-rich massive sulfides from the Semenov-2 hydrothermal field, 13°31.13' N, Mid-Atlantic Ridge: A case of magmatic contribution? // Economic Geology. 2017. Vol. 112. P. 741–773.

Е.А. Рожкова, К.А. Новоселов, П.В. Хворов, Ю.А. Рыжкова
Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии УрО РАН,
Институт минералогии, г. Миасс
elenarjokova2495@gmail.com

Околорудные метасоматиты полиметаллического рудопроявления Биксизак (Южный Урал)

Нетипичное для Южного Урала полиметаллическое рудопроявление Биксизак [Грабеев, Широбокова, 1991] находится в пределах Биргильдинско-Томинского узла, который рассматривается как пример порфирово-эпитермальной последовательности [Plotinskaya et al., 2014]. В таких системах присутствуют полиметаллические проявления, которые связаны со скарнами, а также месторождения замещения [Sillitoe, 2010]. Предшественниками был де-

тально исследован минералогический состав руд [Плотинская и др., 2010; 2020], а минеральный состав вмещающих пород изучен не был. Цель данной работы – минералого-петрографическая характеристика пород с акцентом на метасоматические изменения. Для ее достижения осуществлялась ревизия керна скважин, выполнены петрографические исследования и рентгенофазовый анализ.

Полиметаллическое рудопроявление Биксизак находится в 35 км юго-западнее г. Челябинска в центральной части Биргильдинско-Томинского рудного узла. Основание геологического разреза в районе рудопроявления слагают толеитовые базальты (преимущественно афировые) саргазинской свиты O_{1-2} . Выше согласно залегают мраморизованные известняки биксизакской свиты O_2-S_1 , часто брекчированные. Они вскрываются скважинами, а в северной части участка выходят на поверхность. Мощность их изменяется с запада на восток от 0 до 130 м. Иногда они содержат обломки кварца и полевого шпата алевритовой размерности, а также зерна пирита размером от 0.2 до 1 мм и турмалина (от 0.2 до 3 мм). В известняках также присутствуют редкие серицит, барит, амфибол, эпидот, пироксен, гранат, хлорит. По результатам силикатного анализа состав карбонатных пород следующий (мас. %): SiO_2 2.41, TiO_2 0.03, Al_2O_3 0.56, Fe_2O_3 0.05, FeO 0.25, MnO 0.08, MgO 0.56, CaO 52.8, Na_2O 0.40, K_2O 0.13, P_2O_5 0.03, CO_2 42.15 [Кузнецов и др., 1995ф]. На известняках фрагментарно залегают терригенные породы девона (D_2-D_3) и с размывом – вулканогенно-обломочные образования березняковской свиты D_3-C_1 . Породы последней прорваны субвулканическими телами андезитовых и диоритовых порфиритов Биргильдинско-Томинского комплекса ($D_3-C_1?$) [Сначев, Кузнецов, 2008].

Минерализация приурочена к кровле пачки мраморизованных известняков [Кузнецов и др., 1995ф; Сначев, Кузнецов, 2008] и представлена вкрапленными и массивными халькопирит-пирит-сфалеритовыми рудами. Рудные тела залегают субсогласно с вмещающими породами и имеют пластовую или линзовидную форму. Длина рудной зоны около 1000 м, а ширина 400–800 м. Геохимические ореолы Cu, Zn, Pb, Ag, As, Sb и Bi – индикаторов полиметаллического оруденения – распространяются только на расстояние первых десятков метров от кровли рудных тел. В верхней части разреза карбонатных пород выделяются несколько прослоев мощностью от 0.15 до 2.7 м, сложенных массивными и густовкрапленными сфалерит-пиритовыми рудами. Рудные прослои разделяются брекчированными известняками, обломки которых сцементированы пирит-кварц-серицитовым агрегатом. Рудные минералы представлены, преимущественно, пиритом и сфалеритом. В подчиненных количествах присутствуют халькопирит, галенит, блеклые руды, гематит, пирротин, полидимит, магнетит и рутил. Содержания основных и сопутствующих компонентов в рудных телах изменяются в широких пределах: 0.28–28.8 % Zn, 0.008–0.63 % Pb, 0.0–1.17 % Cu, от следов до 8.5 г/т Au и 3–78 г/т Ag [Кузнецов и др., 1995ф].

Изменения пород в пределах рудного поля выражены в анкеритизации рудовмещающих мраморов. По вулканогенным породам перекрывающей толщи, кроме анкерита, развиваются кальцит и серицит. Также вблизи массива диоритовых и андезитовых порфиритов на контакте с мраморами образуются эпидотовые скарноиды и хлоритолиты. Околорудные изменения мраморизованных известняков связаны с их брекчированием и проявлены в сульфидизации, окварцевании и анкеритизации обломков, развитии хлорит-слюдистых агрегатов и турмалина в цементе брекчий.

Анкеритизированные мрамора имеют желтовато-серый цвет, пятнистую, брекчиевую, массивную текстуру, структуру мелкозернистую. Переход к мраморам постепенный. Сульфиды образуют вкрапленность, прожилки, среди них преобладает пирит, есть гнезда халькопирита. Карбонат в поляризованном свете имеет буроватый цвет, редко обнаруживается спайность и двойники. Более крупными зернами карбоната выполнены линзы и прожилки –

здесь для карбоната характерна спайность, иногда полисинтетические двойники. Встречаются крупные чешуйки хлорита, выполняющие трещины и сопровождающиеся рудной минерализацией. Рудный минерал отмечен также в виде рассеянной вкрапленности в массе породы.

Турмалин встречается вместе с анкеритом в кварцевых прожилках подрудной зоны и образует темно-зеленые секториально-зональные кристаллы до 0.2 мм в поперечнике и до 1 см длиной. Также турмалин присутствует в цементе брекчированных мраморов, ассоциирует с сульфидами. Минерал плеохроирует от бесцветного до светлого сине-зеленого или синего. Средний химический состав турмалина соответствует ряду дравит-магнезиофойтит [Бакшеев, Плотинская, 2011].

Хлоритолиты развиваются по вулканогенным породам или андезитовым и диоритовым порфирирам в приконтактной части с рудными телами, иногда рядом с эпидотовым скарнидом. Порода на границе карбонат-кварц-серицитового метасоматита и массивной сульфидной руды имеет серо-зеленый цвет, мелкозернистую структуру, в ней присутствуют карбонатные и кварц-карбонатные прожилки и пятна. Пирит образует сетку прожилков мощностью <1 мм. В хлоритолитах встречаются реликты, предположительно, полевого шпата, замещенные серицитом и карбонатом, также серицит и карбонат выполняют тонкие прожилки в хлоритовой массе, редко встречаются мелкие зерна кварца и полевого шпата.

Эпидотовые скарниды приурочены к контакту известняков и диоритовых порфиритов, развиты локально. В породе абсолютно преобладает эпидот, встречаются кварц, карбонат и хлорит. Структура породы разномасштабная, текстура пятнистая. Химический состав скарнидов (мас. %): SiO₂ 39.16, TiO₂ 0.53, Al₂O₃ 15.89, Fe₂O₃ 2.13, FeO 5.11, MnO 0.79, MgO 5.53, CaO 14.39, Na₂O 0.4, K₂O 1.45, P₂O₅ 0.22, CO₂ 9.36. Диоритовые порфириды в эндоконтактной зоне также эпидотизированы. Возможно, со скарнированием связано присутствие вкрапленных гематита и магнетита в рудах.

Хлорит-карбонат-кварц-серицитовые метасоматиты с разным соотношением минералов развиваются по вулканогенно-обломочным породам или андезитовым и диоритовым порфирирам и, в основном, подстилаются рудовмещающими мраморами либо локализуются в них. Порода, по результатам рентгеновского анализа, имеет кварц-слюдастый или кварц-анкерит-слюдастый состав. В первом случае, содержание карбонатов достигает 16 %, при этом соотношение кальцита и анкерита может меняться, а также при увеличении доли хлорита уменьшается содержание слюды. Во втором случае, соотношение кальцита и анкерита варьирует от 1:2 до 1:30, и с увеличением концентрации хлорита уменьшается доля слюд.

Хлорит-карбонат-кварц-серицитовые метасоматиты имеют массивную или сланцеватую текстуру, редко сохраняются реликтовые обломочные текстуры, мелкозернистую структуру. Цвет серый, зеленовато-серый. Желтоватый оттенок обусловлен присутствием анкерита. Встречаются карбонатные прожилки с хлоритом мощностью до 2 мм, в которых присутствует мелкозернистая сульфидная вкрапленность. Пирит образует рассеянную вкрапленность кристаллов до 3 мм в массе породы.

В проходящем свете основная масса породы сложена лепидогранобластовым мелкозернистым агрегатом кварца и серицита, в котором расположены крупные зерна кальцита; редко встречаются реликты первичных минералов пород, представленные кварцем и полевым шпатом. Анкерит образует идиоморфные ромбические зерна. Из аксессуарных минералов отмечены рутил и турмалин.

Карбонатизация пород вулканогенной толщи проявляется в присутствии карбоната в виде прожилков, линз, пятен. Карбонат представлен как кальцитом, так и анкеритом, который местами сменяет кальцит.

Полиметаллическое оруденение на участке рудопроявления Биксизак сопровождается специфическими изменениями пород. Наиболее масштабно проявлена карбонатизация, кото-

рая затрагивает практически весь разрез вулканогенной толщи (более 200 м по наблюдаемой мощности). Карбонатизация может быть связана с мобилизацией карбонат-иона из мраморов биксизакской свиты под влиянием гидротермальных растворов, сопровождающих внедрение массива диоритовых порфиритов. При этом карбонатные породы оказывают нейтрализующее воздействие на раствор и служат геохимическим барьером для осаждения сульфидов, а брекчирование мраморов обусловлено выщелачиванием вещества.

Наряду с кальцитом на месторождении широко развиты карбонаты ряда доломит-анкерит. Они наблюдаются 1) в ассоциации с сульфидами и 2) в составе хлорит-карбонат-кварц-серицитовых метасоматитов, которые занимают различную позицию по отношению к сульфидным рудам. В первом случае анкеритизация является следствием взаимодействия мраморизованных известняков с гидротермальным раствором. Во втором случае изменения наложены на вулканогенно-обломочные породы, и Mg, и Fe заимствованы из протолита, а CO₂ привносится из пород карбонатной пачки. Анкеритизация, вероятно, связана с рудообразованием, а роль других метасоматических изменений дискуссионна.

Развитие эпидота приурочено к эндо/экзоконтакту массива диоритовых порфиритов и, наряду с образованием гематита и магнетита, является признаком скарнирования. Поскольку сульфидная ассоциация наложена на скарновую, можно сделать вывод, что скарнирование предшествовало образованию сульфидных руд.

Авторы благодарят Е.В. Белогуб за ценные рекомендации.

Литература

Бакиев И.А., Плотинская О.Ю. Турмалин месторождений Биргильдинско-Томинского рудного узла // Минералогия Урала-2011. Материалы VI Всероссийского совещания. Миасс: ИМин УрО РАН, 2011. С. 129–133.

Грабежев А.И., Ширококова Т.И. Новый тип серебро-медно-цинкового оруденения на Южном Урале // Доклады Академии наук. 1991. Т. 318(5). С. 1191–1194.

Кузнецов Н.С., Пужаков Б.А., Савельев В.Н. и др. Отчет о геологическом доизучении масштаба 1:50000 Полетаевской площади и общих поисках меди, полиметаллов, золота и других полезных ископаемых. Челябинск, 1995ф. 954 с.

Плотинская О.Ю., Грознова Е.О., Грабежев А.И., Новоселов К.А. Минералогия и условия формирования руд серебро-полиметаллического месторождения Биксизак (Южный Урал, Россия) // Геология рудных месторождений. 2010. Т. 52(3). С. 439–456.

Плотинская О.Ю., Новоселов К.А., Зелтманн Р. Минералогия благородных металлов в рудах полиметаллического месторождения Биксизак (Южный Урал, Россия) // Геология рудных месторождений. 2020. Т. 62(6). С. 483–502.

Сначев В.И., Кузнецов Н.С. Геология стратиформного полиметаллического месторождения Биксизак (Восточно-Уральская мегазона) // Геология, полезные ископаемые и проблемы геоэкологии Башкортостана, Урала и сопредельных территорий. Материалы VII Межрегиональной конференции. Уфа: ИГ УФИЦ РАН, 2008. С. 39–41.

Plotinskaya O.Yu., Grabezhev A.I., Groznova E.O., Seltmann R., Lehmann B. The Late Paleozoic porphyry-epithermal spectrum of the Birgilda-Tomino ore cluster in the South Urals, Russia // Journal of Asian Earth Sciences. 2014. Vol. 79. P. 910–931.

Sillitoe R. Porphyry copper systems // Economic Geology. 2010. Vol. 105. P. 3–41.