

## МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СУЛЬФИДНЫХ КОНКРЕЦИЙ ЮБИЛЕЙНОГО МЕДНОКОЛЧЕДАННОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

Целуйко А.С., Блинов И.А.

*Южно-Уральский научный центр, г. Миасс, celyukoa@rambler.ru*

Разнообразная новообразованная сульфидная минерализация широко распространена в рудоконтролирующих вулканогенно-осадочных горизонтах колчеданных месторождений [Масленников, 1991; Аюпова и др., 2014; Масленников и др., 2017; Сафина и др., 2017; Целуйко и др., 2018; Genna, Gaboury, 2015]. Одним из продуктов аутигенеза выступают сульфидные конкреции. Общим для большинства сульфидных конкреций является их отчетливое зональное строение и овальная, оваловидная, часто уплощенная форма. Вместе с тем в ассоциации с сульфидными рудокластическими отложениями описаны угловатые и сглаженно-угловатые конкреции [Мелекесцева и др., 2018]. На Юбилейном медноколчеданном месторождении ранее рассмотрены метакристаллы пирита, минеральное и геохимическое строение которых имеет ряд схожих черт с конкрециями и отличающиеся от них только внешней морфологией [Целуйко и др., 2018]. Предполагается что совместное изучение морфологии и внутреннего строения конкреций различного минерального состава поможет лучше понять механизмы их формирования.

Кремнистые алевропелиты, хлорит-кварцевые породы и сульфидные турбидиты, содержащие конкреции, формируют фланги Второй рудной залежи Юбилейного месторождения, расположенного в Бурибайском рудном районе республики Башкортостан. Микроскопические исследования сульфидных конкреций проводились на микроскопе Olympus BX51 с цифровой приставкой. С целью изучения морфологии и скульптуры граней, кремнистые слои, содержащие конкреции пирита и халькопирита, были растворены в плавиковой кислоте HF. Диагностика редких минералов проведена с помощью СЭМ Tescan Vega 3 sbu с энергодисперсионным анализатором Oxford Instruments X-act (ИМинУрО РАН, аналитик И.А. Блинов).

Конкреции пирита размером 0.01–5 мм локализованы в прослоях кремнистых алевропелитов, переслаивающихся с мелкообломочными сульфидными турбидитами и гиалокластитовыми тефроидами (рис. а). Кремнистые породы мощностью в первые десятки сантиметров перекрывают и переслаиваются со слоями сульфидных турбидитов, гравелитов и брекчий. Совместно с конкрециями широко рас-

пространены суб- и эвгедральные метакристаллы пирита. В плоскости аншлифа конкреции имеют округлую, сглаженно-угловатую, иногда уплощенную форму (рис. б). Во внутреннем строении конкреций и метакристаллов пирит обнаруживается ряд сходных черт. Центральная часть сложена агрегатом микрозернистого пирита, содержащим многочисленные включения нерудных минералов, таких как кварц, хлорит, плагиоклаз, слюды. В процентном соотношении микрозернистый пирит составляет от 20–30 % площади метакристаллов и до 70–80 % конкреций. Обрастает микрозернистое ядро каймой поли- или монокристаллического субгедрального пирита, обогащенного включениями халькопирита, сфалерита, гематита, самородного золота  $Au_{(0.64-0.83)}Ag_{(0.17-0.36)}$ , петцита, гессита, теллуrowисмутита, калаверита, колорадоита, алтаита и оксида теллура [Целуйко и др., 2018]. Дорастание сульфидных конкреций и метакристаллов завершалось формированием каймы хлорита или параллельно-шестоватого кварца.

Электронно-микроскопическое изучение показало, что конкреции пирита часто имеют скругленные вершины и плоскогранные поверхности с разнообразными ямками и углублениями треугольной формы. Огранка конкреций сочетает в себе грани тетрагон-триоктаэдра, пентагон-додекаэдра и уплощенного октаэдра, благодаря чему в плоскости образца конкреции приобретают овальные и сглаженно-угловатые очертания (рис. в). На некоторых гранях конкреций встречается штриховка, диагностируемая как поверхность совместного роста пирита и кварца. В мелких порах и углублениях граней пиритовых конкреций содержатся нерастворенные агрегаты хлорита и кварца. Форма и поверхность конкреций существенно отличается от зерен пирита сульфидных турбидитов, для которых характерны кубические кристаллы с характерной штриховкой.

Халькопиритовые агрегаты, диагностированные как конкреции, распространены в хлорит-кварцевых слоях мощностью 1–2 см, переслаивающихся с сульфидными турбидитами. Конкреции халькопирита размером 0.1–0.2 мм имеют в плоскости округлую, овальную, часто уплощенную и угловатую форму с неровными, зазубренными краями (рис. г). Структурное травление в парах «царской водки» показало круп-

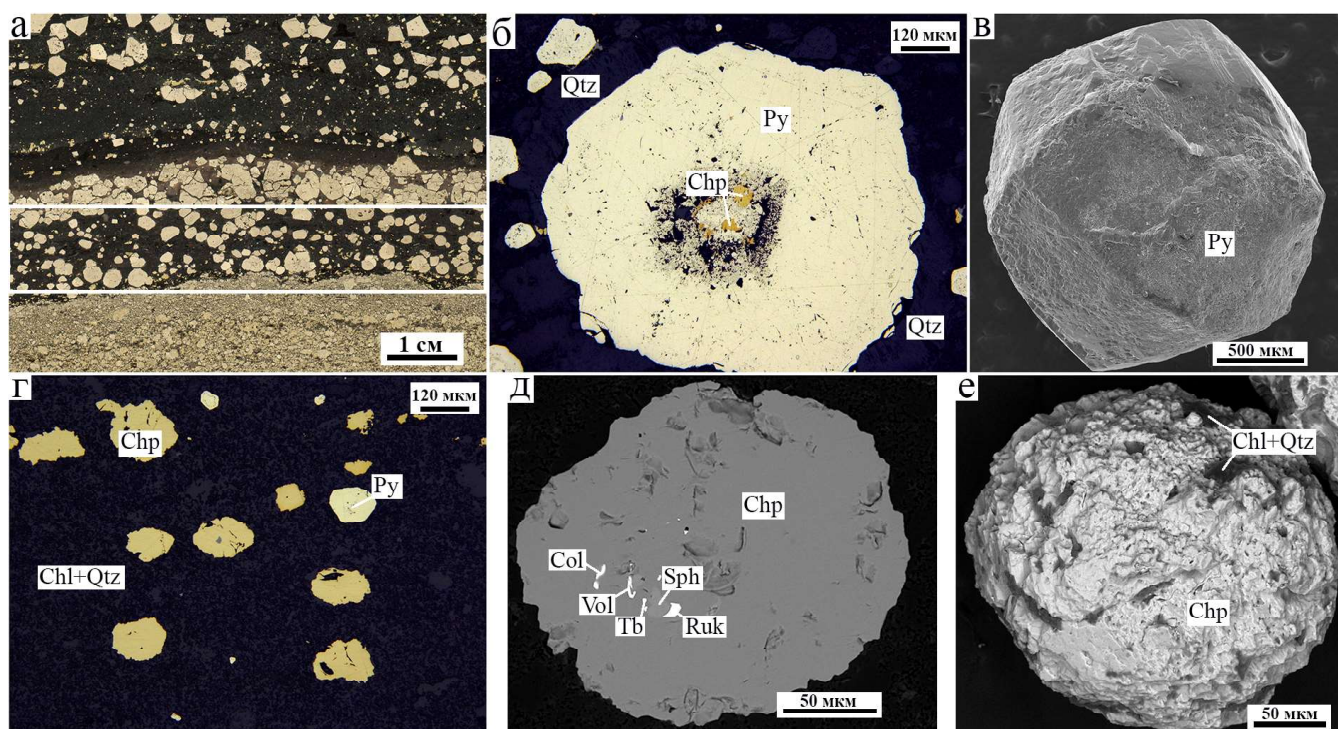


Рис. Внутреннее строение и морфология сульфидных конкреций Юбилейного месторождения. а – мелкообломочный сульфидный слой, перекрытый кремнистыми алевропелитами с конкрециями и метакристаллами пирита. Кремнистый слой, содержащий конкреции, выделен двумя белыми линиями; б – зональная конкреция пирита (Py) в кремнистом (Qtz) цементе. В микрозернистом ядре развит халькопирит (Chp); в – плоскогранная поверхность конкреции пирита (Py); г – уплощенные конкреции халькопирита (Chp) и эвгедральные зерна пирита (Py) в хлорит-кварцевом слое (Chl+Qtz); д – в халькопиритовой конкреции (Chp) включения сфалерита (Sph), колорадоита (Col), волинскита (Vol), теллуrowисмутита (Tb) и раклиджита (Ruk); е – округлая конкреция халькопирита (Chp) с многочисленными бугорками, ямками и порами на поверхности в которых размещены хлорит-кварцевые агрегаты (Chl+Qtz). Фото а – полированный образец, б, г – отраженный свет, в, д, е – BSE-фото

нозернистое строение халькопиритовых конкреций. Характерной особенностью конкреций халькопирита является присутствие включений самородного золота  $Au_{(0.48-0.79)}Ag_{(0.2-0.52)}Hg_{(0-0.02)}$ , петцита, гессита, колорадоита, волинскита, алтаита (Se до 1.9 мас. %), галенита (Se до 2.1 мас. %) и минералов серии теллуrowисмутит-раклиджит (Pb до 15.4 мас. %) (рис. д). Редкие минералы тяготеют к центральной части конкреций халькопирита, где ассоциируют с включениями сфалерита, так и могут быть довольно равномерно распределены по всей площади конкреции. Как вокруг пиритовых, так и халькопиритовых конкреций обнаруживаются тонкие каймы Mg-Fe-хлорита и кварца. В краевых частях конкреций нередко можно заметить частичное замещение халькопирита и теллуридов хлоритом. Иногда вокруг халькопиритовых конкреций концентрируются мелкие зерна сфена.

Морфология округлых конкреций халькопирита крайне сложная, с многочисленными ступенями, буграми и ямками (рис. е). Каких либо крупных граней на поверхности конкреций замечено не было. На некоторых участках развиты разнообразные по форме и

размерам поры и каверны. В отрицательных формах поверхности сохраняются не конца растворившиеся агрегаты хлорита и кварца. Mg-Fe-хлорит, замещающий халькопирит, образует отпечатки пластинок на поверхности конкреций.

Конкреции пирита и халькопирита по своим морфологическим и геохимическим особенностям значительно отличаются от минералов мелкообломочных сульфидных турбидитов. Так халькопирит конкреций содержит на один-два порядка больше Pb (1.5–322 г/т), Bi (1.0–57.1 г/т), Sb (0.3–38.3 г/т), Mo (0.07–11.5 г/т) и меньше Te (2.1–59.9 г/т), Ag (0.6–27.3 г/т) по сравнению с аутигенным халькопиритом нижележащего слоя сульфидного турбидита. Пирит конкреций относительно суб- и эвгедрального пирита турбидитов обеднен Mo (0.01–6.9 г/т), Tl (0.001–0.05 г/т), обогащен V (0.0–136 г/т), Te (2.1–2376 г/т) и литогенными элементами (Mg, Si, Ti, Cr). Характерные для турбидитов агрегаты халькопирита, формирующие прожилки, гнезда и псевдоморфозы тонко-мелкозернистого, реже крупнозернистого строения не встречаются в хлорит-кварцевых слоях, где распространены кон-

креции. Аналогично агрегаты подобные конкрециям пирита и халькопирита не встречаются в сульфидных мелкообломочных слоях. Как в конкрециях, так и сульфидных агрегатах мелкообломочных отложений встречены многочисленные включения самородного золота и теллуридов. Процесс формирования конкреций не завершается с сульфидообразованием: часто вокруг конкреций отмечаются тонкие каемки хлорита и кварца, образующие вроски и отпечатки на поверхности.

Электронно-микроскопическое изучение морфологии сульфидных конкреций Юбилейного месторождения показало, что их форма определяется ростовыми процессами. Завершающая стадия роста сульфидных конкреций сопровождалась образованием монокристаллической (пирит) или поликристаллической (халькопирит) каймы.

*Авторы благодарят В.В. Масленникова, В.А. Попова и Н.Р. Аюпову за консультации и всестороннюю помощь в ходе исследований. Работа поддержана проектом РФФИ № 17-05-00854.*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Аюпова Н.Р., Масленников В.В., Масленникова С.П. Диагенетическая сульфидная минерализация в оксидно-железистых отложениях колчеданных месторождений Урала // *Металлогения древних и современных океанов-2014*. Миасс: ИМинУрО РАН, 2014. С. 103–110.
2. Масленников В.В. Литологический контроль медно-колчеданных руд (на примере Сибайского и Октябрьского месторождений Урала). Свердловск: УрО РАН СССР, 1991. 139 с.
3. Масленников В.В., Аюпова Н.Р., Артемьев Д.А., Целуйко А.С. Микротопохимия марказит-пиритовой конкреции в иллит-гематитовых госсанитах медно-цинково-колчеданного месторождения Лаханос (Понтиды, Турция) по данным ЛА-ИСП-МС. *Минералогия*, 2017. 3(4). С. 48–70.
4. Мелекесцева И.Ю., Масленников В.В., Сафина Н.П., Артемьев Д.А. Типохимизм и микротопохимия пирротин-пиритовой конкреции Дергамышского кобальт-медноколчеданного месторождения, Южный Урал // *Минералогия*, 4(3). С. 93–107.
5. Сафина Н.П., Масленников В.В., Артемьев Д.А., Архиреева Н.С. Микротопохимия и типохимизм пиритовой конкреции из углеродистых пелитолитов Сафьяновского колчеданного месторождения (Средний Урал) // *Минералогия*, 2017. 3(4). С. 22–35.
6. Целуйко А.С., Масленников В.В., Артемьев Д.А. Микротопохимия конкреций пирита в кремнистых алевропелитах Юбилейного медноколчеданного месторождения (Южный Урал) по данным ЛА-ИСП-МС // *Литосфера*, 2018. 4. С. 621–641.
7. Genna D., Gaboury D. Deciphering the hydrothermal evolution of a VMS system by LA-ICP-MS using trace elements in pyrite: an example from the Bracemac-McLeod deposits, Aditibi, Canada, and implication for exploration // *Economic Geology*, 2015. 110. P. 2087–2108.