

месторождения Лишен (*Lisheen*) месторождение Ушкатын-III отличается высокими содержаниями барита, очень низкими – сфалерита, а, кроме того, барит-галенитовое оруденение здесь сопровождается крупными залежами гидротермально-осадочных руд Fe и Mn. Таким образом, месторождение Ушкатын-III имеет свою ярко выраженную специфику и может быть выделено в особый тип, объединяющий приповерхностные гидротермальные ( $BaSO_4$ -Pb) и гидротермально-осадочные (Fe-Mn) залежи.

## Литература

*Брусницын А.И.* Геохимия марганценосных отложений месторождения Ушкатын-III, Центральный Казахстан // Металлогения древних и современных океанов-2020. Критические металлы в рудообразующих системах. Миасс: Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии УрО РАН, 2020. С. 41–45.

Жайремский горно-обогатительный комбинат. Годовой отчет за 2015 год. Издательство АО ЖГОК, 2015. 103 с.

*Каюпова М.М.* Минералогия железных и марганцевых руд Западного Атасу (Центральный Казахстан). Алма-Ата: Наука, 1974. 232 с.

*Митряева Н.М.* Минералогия барит-цинково-свинцовых руд месторождений Атасуйского района. Алма-Ата: Наука, 1979. С. 219.

*Рожнов А.А.* Сравнительная характеристика марганцевых месторождений Атасуйского и Никопольско-чапурского типов // Геология и геохимия марганца. М.: Наука, 1982. С. 116–121.

*Скрипченко Н.С.* Прогнозирование месторождений цветных металлов в осадочных породах. М.: Недра, 1989. 207 с.

*Hoefs J.* Stable isotope geochemistry. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2018. 437 p.

*Wilkinson J.J.* Sediment-hosted zinc-lead mineralization: processes and perspectives // Treatise on geochemistry. Second edition. Vol. 13. Amsterdam: Elsevier, 2014. P. 219–250.

***Н.П. Сафина, И.Ю. Мелекесцева, Н.Р. Аюпова***  
*Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии,*  
*Институт минералогии, г. Миасс,*  
*safina@ilmeny.ac.ru*

## **Минералого-геохимические особенности пиритовых конкреций рудных диагенитов колчеданных месторождений Урала**

Пиритовые конкреции широко распространены в колчеданных месторождениях Урала. Они встречаются в околорудных вулканогенно-осадочных породах (черные сланцы, госсаниты и др.) и рудных диагенитах – тонкослоистых рудах, преобразованных в условиях диагенеза и обогащенных пиритом, халькопиритом, пирротинном, галенитом, сфалеритом, магнетитом, гематитом [Maslennikov et al., 2019]. В настоящей работе приведены результаты сравнения морфологии и минералого-геохимических особенностей конкреций пирита из рудных диагенитов слабометаморфизованных колчеданных месторождений, принадлежащих различным рудно-формационным типам и ассоциирующих с различными фоновыми осадками: Сафьяновское (черные сланцы, рудно-алтайский), Талганское (гиалокластиты, уральский) и Дергамышское (серпентиниты, атлантический).

*Сафьяновское медно-цинково-колчеданное месторождение* расположено в Режевском рудном районе на Среднем Урале, в пределах Восточно-Уральского поднятия. Рудовмещающей является толща дацитов и риолитов среднего девона с прослоями вулканогенно-осадочных пород и черных сланцев мощностью до 500 м [Язева и др., 1991]. Месторождение вклю-

чает десять рудных линз мощностью до 40 м, залегающих на трех стратиграфических горизонтах на глубинах от 190 до 400 м. По результатам картирования рудная залежь реконструирована как сильно разрушенный холм черного курильщика, расчлененный многочисленными телами дацитового состава [Масленников, 2006]. Его основу составляют гидротермальные руды с трубами черных курильщиков, оруденелой фауной и колломорфными текстурами. На склонах и флангах холмообразной залежи отмечается чередование обломочных сульфидных слоев (брекчии, песчаники и диагениты) с черными сланцами. Мощность горизонтов достигает 5 м.

*Талганское медноколчеданное месторождение* расположено в Верхнеуральском рудном районе на Южном Урале в пределах Западно-Магнитогорской зоны. Рудовмещающей является риолит-дацитовая толща среднего девона мощностью 170–1000 м. На месторождении присутствует около 10 рудных линз мощностью 1–30 м, залегающих на глубинах 100–270 м. Реликтовый сульфидный холм перекрыт мелкообломочными рудами и слоистыми госсанитами [Масленников, 2006]. На склонах холма встречаются сульфидные брекчии с обломками халькопирит-пирит-сфалеритовых труб черных курильщиков. Тонкослоистые руды (в том числе рудные диагениты) широко распространены на флангах месторождения, где они образуют несколько горизонтов мощностью 2.5–2.8 м, разделенных ярко-красными слоями хлоритизированных гиалокластитов и госсанитов.

*Дергамышское кобальт-медноколчеданное месторождение* находится в Баймак-Бурбайском рудном районе на юге Республики Башкортостан. Месторождение приурочено к зоне Главного Уральского разлома, находится на западном крыле региональной синформы [Зайков и др., 2009]. Рудовмещающей является толща, сложенная брекчированными серпентинитами мощностью 300–400 м. Основное рудное тело имеет ширину 150–200 м, мощность 6.5–40 м. Оно состоит из линз, пересекающихся с тонкими прослоями брекчированных серпентинитов и хлоритизированных ультрамафитов. Рудная залежь реконструирована как сильно разрушенный сульфидный холм с обломками халькопирит-пиритовых и кальцит-пиритовых труб черных курильщиков, колломорфных руд и оруденелой фауны [Масленников и др., 2014]. Верхняя часть сульфидного холма сложена крупнообломочными пиритовыми брекчиями с обломками халькопирит-пиритовых труб, перекрытых прослоями сульфидных гравелитов, песчаников и алевролитов мощностью 1–10, редко, до 20 см.

Материал для исследований отобран авторами на месторождениях в ходе полевых работ. Оптические исследования шлифов проводились на микроскопе Olympus BX51 с цифровой приставкой (ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН). Точечные анализы и микрогеохимическое картирование проведено на масс-спектрометре Agilent 7700x с программным комплексом Mass Hunter и лазерной приставкой New Wave Research UP-213 (ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН, аналитик Д.А. Артемьев). Содержания элементов-примесей в конкрециях Талганского месторождения получены методом ЛА-ИСП-МС в Тасманийском университете (г. Хобарт, Австралия, аналитики В.В. Масленников, С.П. Масленникова) на лазерном микрозонде New Wave Research UP-213, соединенного с масс-спектрометром Agilent 7700 x.

На *Сафьяновском месторождении* конкреции пирита широко распространены в сульфидно-черносланцевых диагенитах, которые представляют собой чередование сульфидных слоев (мощность 1–3 см) и черных сланцев ( $C_{\text{орг}}$  до 3.5 мас. %) мощностью от нескольких миллиметров до 1 см. Конкреции размером 200 мкм имеют удлиненную морфологию и зональную структуру (рис. 1а). Ядро мелкокристаллического пирита (Py1) состоит из идио- и гипидиоморфных кристаллов (1–2 мкм) и редких фрамбоидов (5–7 мкм) пирита с включениями хлорита, гидрослюда, сфалерита и халькопирита. Ядро постепенно замещается ангидральным мелкозернистым пиритом (Py2) с включениями галенита, алтаита, блеклой руды, ковеллина и редких халькопирита и сфалерита. Внешняя кайма толщиной до 50–60 мкм сло-

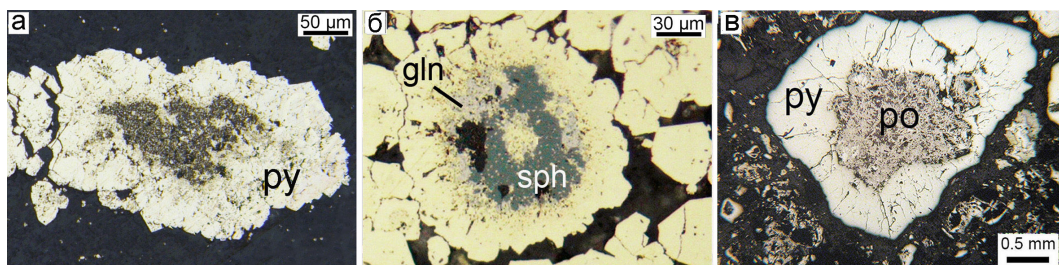


Рис. 1. Пиритовые конкреции Сафьяновского (а), Талганского (б), Ишкининского (в) месторождений. Отраженный свет. Py – пирит, po – пирротин, chr – халькопирит, sph – сфалерит, gln – галенит.

жена крупнокристаллическим пиритом (Py<sub>3</sub>) с редкими включениями кварца, рутила, галенита и арсенопирита.

Пиритовые конкреции *Талганского месторождения* обнаружены в тонкослоистых сульфидно-карбонатно-гиалокластитовых диагенитах, которые представляют собой ритмичное переслаивание сульфидных слоев (мощностью до нескольких см) и пелитовых карбонатно-гиалокластитовых слоев (мощностью до 0.5 мм). Круглые конкреции диаметром 30–200 мкм с трещинами синерезиса равномерно распределены в матрице диагенитов, состоящей из кварца, кальцита, хлорита и иллита (рис. 1б). Конкреции имеют зональное строение с двумя, реже тремя зонами. Ядро состоит из мелкозернистого пирита (Py<sub>1</sub>) с многочисленными включениями хлорита, иллита, кальцита, рутила, галенита, сфалерита и халькопирита (рис. 1б). Кайма толщиной до 20–30 мкм сложена параллельно-столбчатыми субгидральными агрегатами пирита (Py<sub>3</sub>) с редкими включениями халькопирита, галенита и ксенотима.

Пиритовые конкреции *Дергамышского месторождения* присутствуют в сульфидно-серпентинитовых гравелитах мощностью 20 см, расположенных в виде прослоя внутри рудного тела. Многочисленные линзовидные и сглаженные угловатые агрегаты кристаллического пирита размером от нескольких сотен микрометров до 3 мм характеризуются пористым ядром, состоящим из пластинчатых агрегатов пирротина (Po) и нерудных минералов, образующих сетчатую структуру, окруженным каймой из кристаллического пирита (Py<sub>3</sub>) (рис. 1в). В ядре наблюдаются мелкие зерна пирита, халькопирита, пентландита и кобальгита.

По данным ЛА-ИСП-МС анализа в конкрециях Сафьяновского месторождения накапливается большая часть микроэлементов, включая (здесь и далее, среднее, г/т) Ti (24.3), Cr (3.4), As (0.6 %), Se (85.4), Mo (67.1), Ag (182), Sn (2.16), Ba (18.6), Au (11.2), Tl (11.1), Bi (11.9) и U (0.22). Конкреции Талганского месторождения насыщены V (2.9), Mn (231), Cu (0.2 %), Zn (82), Cd (4), Sb (185), Te (9.5), W (24) и Pb (0.3 %), а в конкрециях Дергамышского месторождения сосредоточены Co (627) и Ni (746). Максимальные содержания большинства элементов установлены в ядрах конкреций. Однако содержания некоторых элементов (Pb, As, Sb, Ti, Cu, Mn) в каймах конкреций иногда могут достигать максимума. Так, в промежуточной зоне конкреций Сафьяновского месторождения концентрируется Pb (0.3 %), а во внешней кайме – As (0.7 %) и Ti (30). В кайме конкреции Талганского месторождения накапливаются Cu (0.8 %) и Mn (734), Дергамышского – As (873) и Sb (42).

По данным ЛА-ИСП-МС картирования ядро конкреции Сафьяновского месторождения обогащено Zn, Mn, Au и Bi, а промежуточная зона – Mo и Bi в отличие от конкреций других месторождений (рис. 2). Общим для ядра конкреций Сафьяновского и Талганского месторождений является обогащение Co, Ni и Sb. На Дергамышском месторождении кайма конкреции неравномерно обогащена Co, Ni и Sb. Аналогичным образом As ведет себя в конкрециях Сафьяновского и Талганского месторождений, где он сосредоточен в каймах конкреций. В конкрециях Талганского месторождения As, наоборот, преобладает в ядре. Свинец концентриру-

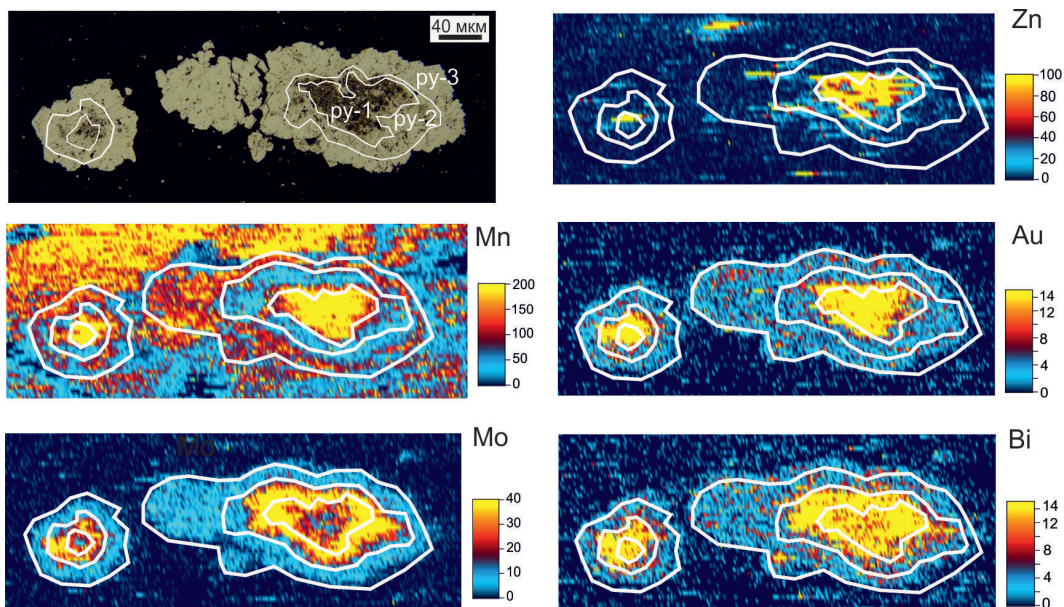


Рис. 2. Карты распределения элементов-примесей в конкрециях пирита из сульфидно-черносланцевых диагенитов Сафьяновского месторождения.

ется в промежуточной зоне и ядре конкреций Сафьяновского и Талганского месторождений, соответственно, и неравномерно распределен в конкрециях Дергамышского месторождения. Содержания Си более высокие в ядре всех конкреций. Селен Сафьяновского и Дергамышского месторождений накапливается в ядре и кайме конкреций и относительно равномерно распределен в конкрециях Талганского месторождения. Серебро приурочено к ядру в конкрециях Талганского месторождения, промежуточной зоне и кайме в конкрециях Сафьяновского месторождения и равномерно распределено в конкрециях Дергамышского месторождения. Таллий обогащает ядро и промежуточную зону конкреций из Сафьяновского и Талганского месторождений и неравномерно распределен в кайме конкреции Дергамышского месторождения.

Ядра конкреций, как правило, обогащены микроэлементами по сравнению с другими зонами. Подобное распределение установлено в конкрециях пирита из колчеданных месторождений Лаханос (Турция) и Брейсмак-МакЛеод (Канада) [Genna, Gaboury, 2015; Масленников и др., 2017]. Это объясняется формированием ядра из диагенетических флюидов, обогащенных микроэлементами в результате растворения нестабильных первичных гидротермальных обломков пирита, сфалерита и халькопирита с включениями галенита, теллуридов, блеклых руд и других сопутствующих рудных минералов. Также низкотемпературный быстрый рост во время раннего диагенеза позволяет микроэлементам встраиваться в структуру пирита или концентрироваться в виде очень мелких (<5 мкм) включений [Large et al., 2007, 2009]. Кристаллический пирит по краям конкреций, в основном, обеднен микроэлементами из-за истощения позднедиагенетических поровых флюидов микроэлементами и его более медленной кристаллизации при относительно более высоких температурах, что приводит к кристаллизации включений акцессорных минералов.

Влияние фоновых отложений (черные сланцы, гиалокластиты, карбонаты, серпентиниты) очевидно из общего состава микроэлементов конкреций. В конкрециях из сульфидно-черносланцевых диагенитов Сафьяновского месторождения накапливается большая часть ми-

кродоэлементов. Благоприятные восстановительные условия для накопления микроэлементов связаны с органическими осадками. Конкреции из сульфидно-карбонатно-гиалокластитовых диагенитов Талганского обогащены элементами, которые связаны с присутствием гиалокластитического материала (V, Mn, W) и рудокластов с многочисленными включениями акцессорных Те-, Рb- и Sb-содержащих минералов (Cu, Zn, Cd, Te, Рb). По сравнению с конкрециями Сафьяновского и Талганского месторождений, конкреция из сульфидно-серпентинитовых диагенитов Дергамышского месторождения показывает максимальные содержания Со и Ni, которые являются типичными микроэлементами ультраосновных пород и первичных руд [Melekestseva et al., 2013].

Таким образом, независимо от рудно-формационного типа колчеданных месторождений (рудно-алтайский, уральский или атлантический), диагенетические процессы с образованием зональных конкреций пирита сходны для всех рассмотренных месторождений. Зональная структура конкреций отражает стадийность образования каждой зоны и указывает на то, что диагенез играет важную роль в формировании химического состава конкреций и набора акцессорных минералов. Присутствие различных фоновых отложений (черные сланцы, гиалокластиты, карбонаты, обломочные серпентиниты) является ключевым фактором, влияющим на разнообразие акцессорных аутигенных минералов в конкрециях пирита.

*Работа выполнена в рамках бюджетной темы № АААА-А19-119061790049-3.*

## Литература

- Зайков В.В., Мелекесцева И.Ю., Артемьев Д.А., Юминов А.М., Симонов В.А., Дунаев А.Ю. Геология и колчеданное оруденение южного фланга Главного Уральского разлома. Миасс: Геотур, 2009. 376 с.
- Масленников В.В. Литогенез и колчеданообразование. Миасс: ИМин УрО РАН, 2006. 384 с.
- Масленников В.В., Аюпова Н.Р., Масленникова С.П., Третьяков Г.А., Мелекесцева И.Ю., Сафина Н.П., Белогуб Е.В., Ларж Р.Р., Данюшевский Л.В., Целуйко А.С., Гладков А.Г., Крайнев Ю.Д. Токсичные элементы в колчеданообразующих системах. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2014. 340 с.
- 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. Т. 3. № 3. С. 48–70.
- Язева Р.Г., Молошаг В.П., Бочкарев В.В. Геология и рудные парагенезисы Сафьяновского колчеданного месторождения в среднеуральском шарьяже // Геология рудных месторождений. 1991. Т. 33. № 4. С. 47–58.
- 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, Abitibi, Canada, and implication for exploration // Economic Geology. 2015. Vol. 110. P. 2087–2108.
- Large R.R., Maslennikov V.V., Robert F., Danyushevsky L.V. Multistage sedimentary and metamorphic origin of pyrite and gold in the Giant Sukhoi Log deposit, Lena Gold Province, Russia // Economic Geology. 2007. Vol. 102. P. 1233–1267.
- Large R.R., Danyushevsky L., Hollit H., Maslennikov V.V., Meffre S., Gilbert S., Bull S., Scott R., Emsbo P., Thomas H., Singh B., Foster J. Gold and trace element zonation in pyrite using a laser imaging technique: implications for the timing of gold in orogenic and Carlin-style sediment-hosted deposits // Economic Geology. 2009. Vol. 104. P. 635–668.
- Maslennikov V.V., Ayupova N.R., Safina N.P., Tseluyko A.S., Melekestseva I.Y., Large R.R., Herrington R.J., Kotlyarov V.A., Blinov I.A., Maslennikova S.P. et al. Mineralogical features of ore diagenites in the Urals massive sulfide deposits, Russia // Minerals. 2019. Vol. 3. № 150.
- Melekestseva I.Y., Zaykov V.V., Nimis P., Tret'yakov G.A., Tessalina S.G. Cu-(Ni-Co-Au)-bearing massive sulfide deposits associated with mafic-ultramafic rocks of the main Urals fault, South Urals: Geological structures, ore textural and mineralogical features, comparison with modern analogs // Ore Geology Reviews. 2013. Vol. 52. P. 18–37.