УДК 553.086

МЕТАМОРФИЗОВАННЫЕ СУЛЬФИДНЫЕ РУДЫ ПРОЯВЛЕНИЯ МЕДИ ЛУЧИСТОЕ, ЮЖНЫЙ УРАЛ

Н.П. Сафина[1,2], Л.Я. Кабанова[1,2], Д.А. Кузнецов[2], И.А. Блинов[1]
[1] Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс; safina@ilmeny.ac.ru
[2] Южно-Уральский государственный университет, филиал в г. Миассе

METAMORPHOSED SULFIDE ORES FROM THE LUCHISTOE CU OCCURRENCE, SOUTH URALS

N.P. Safina[1,2], L.Ya. Kabanova[1,2], D.A. Kuznetsov[2], I.A. Blinov[1]
[1] Institute of Mineralogy UB RAS, Miass; safina@ilmeny.ac.ru
[2] South Ural State University, Miass

Сульфидные руды проявления меди Лучистое, преобразованные в результате термального воздействия Мазарской гранитоидной интрузии, сходны по минералого-петрографическим особенностям с метаморфизованными рудами колчеданных и медно-скарновых месторождений Урала. На рудопроявлении установлены сплошные, вкрапленные и полосчатые руды с преобладанием пирита и халькопирита. Для сплошных руд характерно присутствие высокожелезистого сфалерита (до 12 мас. % Fe), галенита, молибденита, пирротина, сростков рутила и ильменита, магнетита; для вкрапленных и полосчатых – сростков ильменита и рутила, ильменита и Ti-магнетита, апатита, монацита-(Ce) и ксенотима-(Y). Характерной особенностью изученных руд является отсутствие или незначительное развитие пирротина, присутствие пирита с графической микроструктурой и высокотемпературных структур распада ильменит+магнетит (T = 600–700 °C). В нерудной матрице вкрапленных и полосчатых руд установлена роговая обманка, биотит, антофиллит и кордиерит, отражающие процессы ороговикования.

Илл. 6. Табл. 1. Библ. 25.

Ключевые слова: рудопроявление Лучистое, пирометаморфизм, сульфидные руды, минералы, ассоциации, Урал.

Sulfide ores from the Luchistoe copper occurrence, which are metamorphosed under thermal influence of the Mazar granitic intrusion, are similar in mineralogy and petrography with metamorphosed ores from the VHMS and copper scarn deposits of the Urals. The massive, disseminated, and banded ores with dominant pyrite and chalcopyrite are distinguished according to the textural features. The presence of the high-Fe sphalerite (up to 12 wt. % Fe), galena, molybdenite, pyrrhotite, rutile-ilmenite aggregates, and magnetite is typical of massive ores. The disseminated and banded ores are characterized by aggregates of ilmenite and rutile, ilmenite and Ti-magnetite, apatite, monazite-(Ce), and xenotime-(Y). The absence or insignificant amount of pyrrhotite, the presence of pyrite with graphical microstructures, and high-temperature exsolution structures of ilmenite+magnetite (T = 600–700 °C) are typical features of the ores studied. The disseminated and banded ores host hornblende, biotite, antophyllite, and cordierite, which reflect the processes of hornfels formation.

Figures 6. Tables 1. References 25.

Key words: Luchistoe occurrence, pyrometamorphism, sulfide ores, minerals, assemblages, Urals.

Введение

На Урале известно небольшое количество колчеданных объектов, испытавших контактовый метаморфизм под воздействием поздних гранитоидных интрузий (им. 50 лет Октября, Авангард, Весенне-Аралчинское, Таш-Яр, Тарньерское) (Сначев, Исмагилов, 1992). Изучение Весенне-Аралчинского, Таш-Ярского, Тарньерского месторождений с позиции рудно-фациального анализа позволило установить на этих объектах фации регенерированных руд (Масленников, Зайков, 2006; Белогуб и др., 2010). Помимо колчеданных месторождений, присутствие этой фации установлено на Западном медно-скарновом рудопроявлении на Полярном Урале (Сафина и др., 2010). Такие руды характеризуются крупнозернистыми (порфировидными) структурами; главные рудные минералы (пирит, сфалерит и халькопирит) отличаются отсутствием зональности роста, эмульсионными включениями халькопирита в сфалерите, субграфическими срастаниями и двойниками превращения. В ассоциации с перекристаллизованными сульфидами встречены разнообразные теллуриды, оксиды урана, молибдена, титана и железа (Буслаев и др., 1988б; Белогуб и др., 2010; Сафина и др., 2010; Молошаг, 2015). Помимо этого, в ассоциации с сульфидами появляются мусковит, биотит, флогопит, кордиерит, антофиллит, шпинель, корунд и гранат – минералы-индикаторы контактового метаморфизма.

Объектом настоящего исследования стало проявление меди Лучистое – в Домбаровском рудном районе на Южном Урале. Особенностью рудопроявления является его расположение в экзоконтакте Мазарской гранитоидной интрузии, что способствовало формированию регенерированных руд. В настоящее время на рудопроявлении проводятся поисково-оценочные работы (Проект…, 2011), поэтому детальное изучение текстур, структур и минералогии руд и пород весьма актуально.

Методы исследования

Макро- и микроскопическое изучение руд и пород проявления Лучистое выполнено в Лаборатории минералогии рудогенеза (ИМин УрО РАН, г. Миасс) с помощью текстурно-структурного и минералогического анализа с использованием оптических микроскопов Axiolab (Carl Zeiss) и Olympus BX-51 с цифровыми приставками. Химический состав минералов определялся на сканирующем электронном микроскопе VEGA3 Tescan с энергодисперсионным анализатором Oxford Instruments X-act (Институт минералогии УрО РАН, аналитик И.А. Блинов).

Геологическое строение рудопроявления

Рудопроявление Лучистое находится в пределах Курмансайской площади в Домбаровском рудном районе (Оренбургская область), который приурочен к южной части восточного крыла Магнитогорского погружения (Лядский и др., 1985). Строение рудного района характеризуется наличием крупной линейной отрицательной структуры – Джаилганско-Кутебайского вулканотектонического грабена (палеорифтового прогиба), окружённого почти со всех сторон выступами докембрийского фундамента. При ширине 20–25 км этот грабен вытянут в субмеридиональном направлении на 65 км. В начальную стадию заложения (в конце ордовика) грабен был разбит на ряд блоков, испытавших в дальнейшем различную степень погружения и имеющих некоторые отличия в наборе вулканогенных пород. Стратиграфический разрез Домбаровской зоны слагают метаморфические образования верхнего ордовика – нижнего силура, вулканогенные и вулканогенно-осадочные ассоциации силура, девона, а также осадочные породы нижнего карбона. Наиболее мощные (до 2–3 км) разрезы вулканогенных образований характерны для блоков осевой части палеотрога (Лядский, 1982).

В строении рудопроявления участвуют породы джусинской свиты (D_2dz) мощностью 500–1300 м, состоящей из лав, часто подушечного строения, преимущественно афировых, реже плагиофировых и пироксен-плагиофировых базальтов, с прослоями кремнистых пород, редко дацитов и риодацитов в верхней части разреза. На контакте с рудной залежью расположен Мазарский гранитный массив, являющийся частью Краснинского габбро-диорит-гранодиорит-гранитового комплекса (D_3kr) (рис. 1) (Проект.., 2011).

Рудовмещающими породами на рудопроявлении являются антофиллит-кордиеритовые роговики. Оруденение представлено сплошными и прожилково-вкрапленными рудами, а с поверхности – бурыми железняками. Сплошные руды, располагающиеся параллельно контакту с интрузивным массивом, образуют крутопадающее тело сложной линзообразной формы северо-восточного простирания с северо-западным падением под углом 7–80°

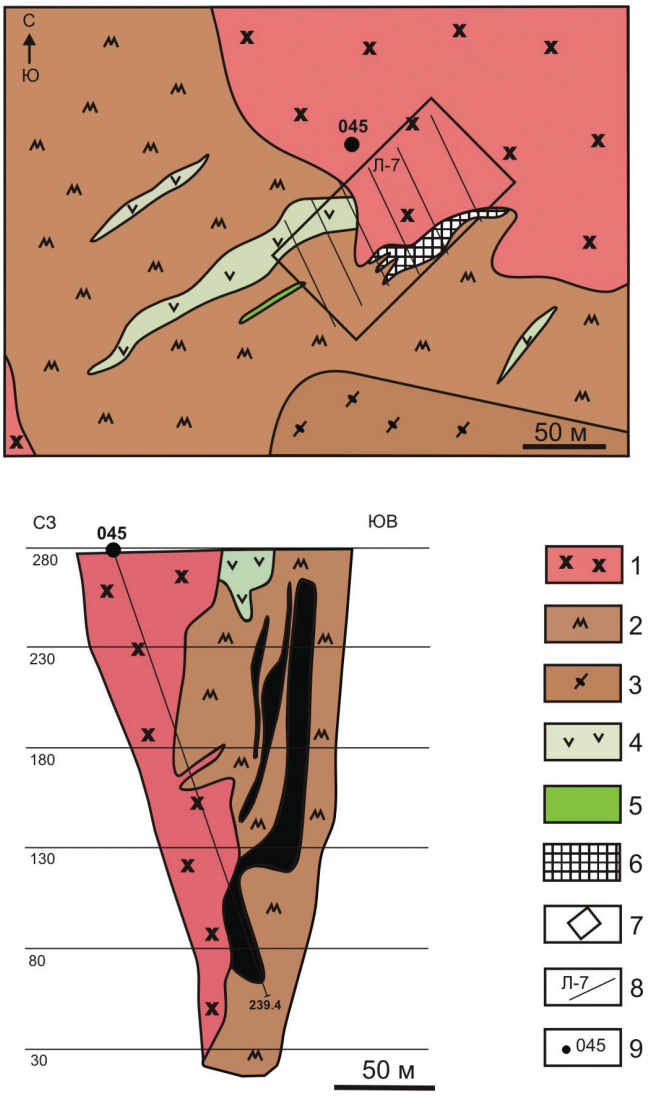

Рис. 1. Геологическая карта и разрез рудопроявления Лучистое (Проект…, 2011).

1 – гранодиориты Краснянского комплекса; 2–3 – Джусинская свита (D_2dz): 2 – роговики по основным породам; 3 – амфиболиты, амфиболитизированные лавы базальтового состава, диабазы; 4-5 – дайки: 4 – габбро-диабазов; 5 – диоритов; 6 – бурые железняки; 7 – участок работ; 8 – разведочные профили; 9 – разведочная скважина.

Fig. 1. Geological map and cross-section of the Luchistoe occurrence after (Project…, 2011).

1 – granodiorites of the Krasnyansky complex; 2–3 – Dzhusa Formation (D_2dz): 2 – hornfels; 3 – amphibolites, basalts, diabases; 4-5 – dikes of gabbrodiabases (4) and diorites (5); 6 – limonites; 7 – working area; 8 – exploration profile; 9 – exploration borehole.

(см. рис. 1). Размеры рудного тела по простиранию 100 м, по падению 130 м, средняя мощность 2–3 м. Вкрапленные руды образуют серию кулисообразно залегающих рудных зон сложной морфологии. Мощность их колеблется от 1–2 м до 15 м, размеры по падению до 150–200 м. Вмещающие породы подвержены метасоматическим изменениям в виде пиритизации, хлоритизации и серицитизации.

По предварительным подсчётам запасы Cu составляют 20 тыс. тонн. Содержание элементов в сплошных рудах (мас. %): Cu 7.3; Zn до 1.89; Pb 0.02; S 30.3–46.0, во вкрапленных – Cu 2.17; Zn до 0.04; Pb до 0.02.

В рамках поисково-оценочных работ в 2014 г. в восточной части рудопроявления, на контакте с Мазарской интрузией, была пробурена скважина 045 глубиной 239.4 м (см. рис. 1). В надрудной толще среди ороговикованных и хлоритизированных диабазов отобраны образцы вкрапленных и полосчатых пиритовых руд (100.6–106.9 м), на контакте с рудным телом (188.0–192.2 м) – густовкрапленной халькопирит-пиритовой руды, и непосредственно в рудной зоне (192–193.3 и 204–205.8 м) – сплошных халькопирит-пиритовых руд.

Текстурно-структурная характеристика руд

Сплошные руды характеризуются массивной и брекчиевидной текстурой. Макроскопический состав сплошных руд: пирит (80–90 %), халькопирит (10–5 %), сфалерит (около 2 %), нерудные минералы 10–3 %. Пирит образует зернистые сглажено-угловатые агрегаты размером до 0.5 см, сцементированные халькопиритом, сфалеритом и нерудными минералами. Брекчиевидная текстура подчёркивается трещиноватыми и корродированными обломками пирита размером до 1 см, сцементированными нерудным материалом (рис. 2а). Халькопирит развивается в виде ксеноморфных агрегатов до 2 см в нерудной матрице, частично замещает по периферии пирит, иногда присутствует в виде жилок в пирите.

Вкрапленные и полосчатые пиритсодержащие руды, согласно документации скважины 045, развиты в надрудных ороговикованных породах и непосредственно на контакте с рудным телом. Вкрапленным рудам свойственны гнездово- и густовкрапленная текстуры (рис. 2б–в).

Содержание рудных минералов в изученных образцах варьирует от 5 до 70 %. В гнездово-вкрапленных рудах ксеноморфный пирит выполняет межзерновое пространство, подчёркивая релик-

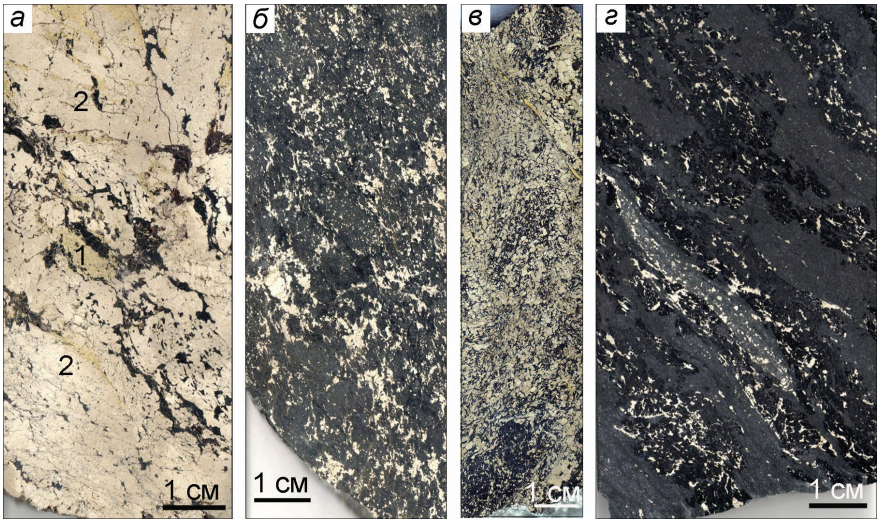

Рис. 2. Руды проявления Лучистое.

а – обломки пиритового состава (2) сцементированы халькопиритом (1) и нерудным минералом (*чёрное*) (керн, 204.0–205.8 м); б – вкрапленность тонкозернистого пирита в хлоритизированной породе (керн, 100.6–106.9 м); г – густовкрапленная пиритовая руда с изометричными обособлениями нерудного материала (керн, 188.0–192.2 м); д – ориентированная вкрапленность пирита в породе (керн, 100.6–106.9 м).

Fig 2. Ores from the Luchistoe occurrence.

a – fragments of pyrite (2) cemented by chalcopyrite (1) and nonopaque minerals (dark) (204.0–205.8 m); в – disseminated fine-grained pyrite in chloritized rocks (100.6–106.9 m); г – disseminated pyrite ores with isometric grains of nonopaque minerals (188.0–192.2 m); д – oriented impregnation of pyrite in the rock (100.6–106.9 m). Drill core samples.

товое порфировое строение исходной породы с размером вкрапленников до 0.5–0.7 см (рис. 2б). В густовкрапленной пиритовой руде также угадываются контуры исходной породы в виде редких изометричных обособлений диаметром до 1 см (рис. 2в), наблюдаются невыдержанные прожилки халькопирита. В полосчатых рудах полосчатость подчёркнута разным цветом, содержанием сульфидов и составом минералов. Прерывистые полосы мощностью до 1 см, насыщенные рудными минералами (до 5–10 %), чередуются с полосами, содержащими редкую рудную вкрапленность (рис. 2г).

Минеральный состав руд

Главным рудным минералом изученных типов руд проявления Лучистое является пирит. Среди второстепенных минералов установлены халькопирит, сфалерит и ильменит; редкие минералы – пирротин, марказит, галенит, рутил, магнетит, молибденит, гётит и гидрогётит. Из нерудных минералов преобладают кварц, актинолит, хлорит, биотит, серицит; в меньшем количестве встречены фаялит, плагиоклаз, лейкоксен, эпидот, кордиерит, циркон, монацит-(Ce) и ксенотим-(Y).

Массивные сфалерит-халькопирит-пиритовые руды состоят из брекчированного пирита-1 с пластинчатым строением, трещины в пирите-1 заполнены пиритом-2 с графической структурой (рис. 3а), халькопиритом, сфалеритом и нерудными минералами (кварц, амфибол, хлорит). Сфалерит в трещинах замещает более ранние выделения халькопирита, марказита и пирита-2. Содержание железа в таком сфалерите достигает 12 мас. %. В составе нерудных прожилков установлено присутствие фаялита в виде ксеноморфных зёрен размером до 20 мкм. Акцессорные минералы представлены разрозненными включениями магнетита размером до 20 мкм, ксенотима-(Y) до 2 мкм, пирротина до 10 мкм и молибденита до 15 мкм, которые приурочены к пириту-1.

В брекчиевидной халькопирит-пиритовой руде также присутствуют две разновидности пирита, но в отличие от массивной руды здесь в большей степени распространён пирит-2 с графической структурой (рис. 3б). После него образовались колломорфнозональные выделения пирита в сростках с марказитом. Халькопирит цементирует пирит, содержит включения пирротина (10–15 мкм) и замещается нерудными минералами. В халькопирите отмечаются единичные изометричные включения нерудных ми-

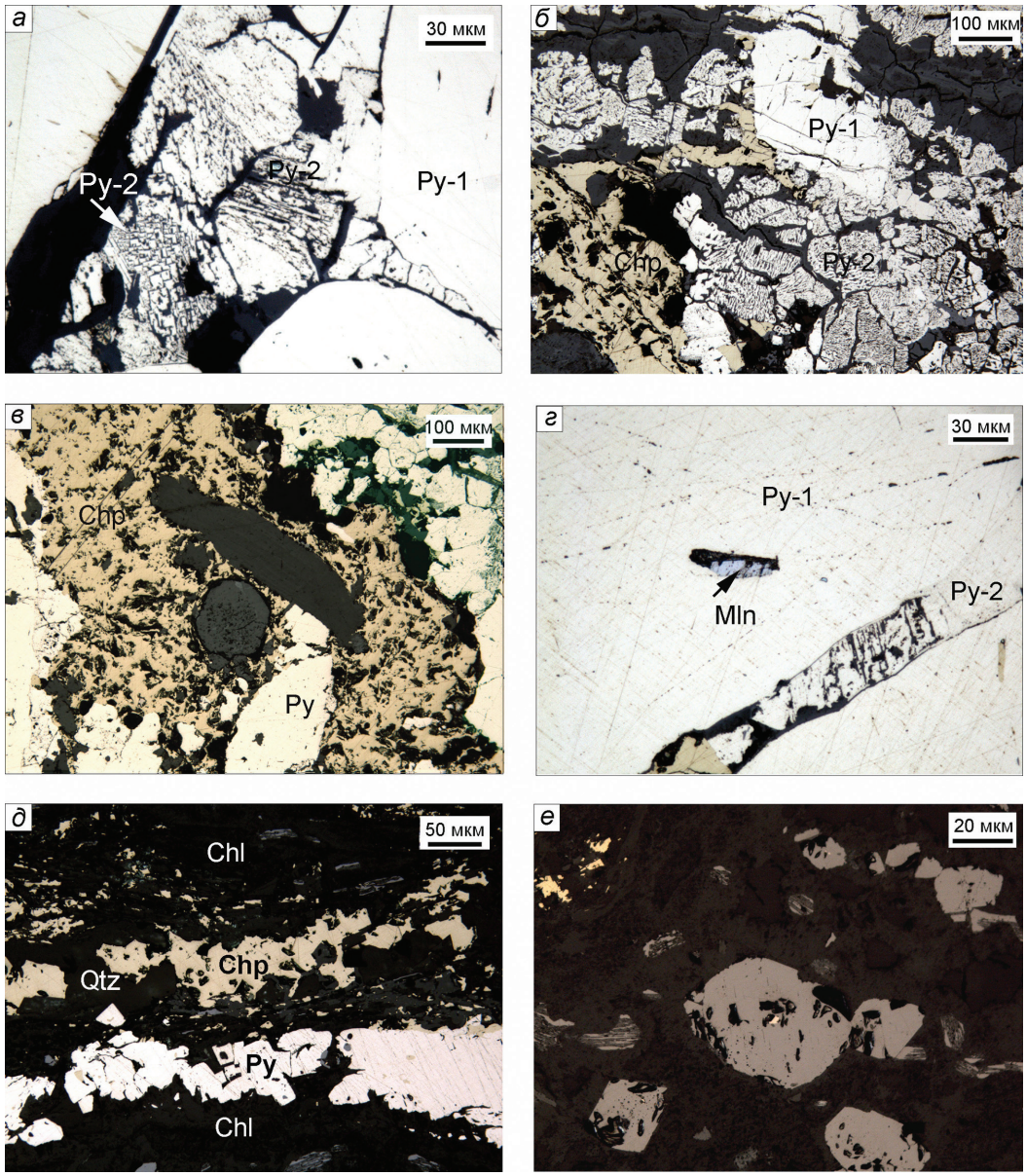

Рис. 3. Минеральный состав руд проявления Лучистое.

а – графическая структура прожилков пирита-2 в пирите-1; б – ассоциация пирита-1 и 2 с халькопиритом; в – нерудные обособления (чёрное) в халькопирите (Chp); г – включение молибденита (Mln) в пирите-1; д – кристаллический пирит (Py) и халькопирит (Chp), корродированные хлоритом (Chl) и кварцем (Qtz); е – зёрна ильменита в хлорит-кварцевой матрице (чёрное). Отражённый свет.

Fig 3. Mineral composition of ores from the Luchistoe occurrence.

а – graphical texture of pyrite-2 veins in pyrite-1: б – assemblage of pyrite-1 and 2 with chalcopyrite; в – nonopaque minerals (dark) in chalcopyrite (Chp); г – inclusion of molybdenite (Mln) in pyrite-1; д – pyrite (Py) and chalcopyrite (Chp) corroded by chlorite (Chl) and quartz (Qtz); e – ilmenite grains in chlorite-quartz matrix (dark). Reflected light.

нералов размером до 200 мкм с неоднородным строением (рис. 3в). Широко распространенные зёрна рутила в пирите-1 часто окружены тонкой каймой ильменита. В межзерновом пространстве пирита-1 установлены зёрна фаялита и расщеплённые, изогнутые или пластинчатые выделения молибденита в кварце (рис. 3г). По границам пластинчатых кристаллов пирита-1 цепочкой концентрируются зёрна галенита размером не более 10 мкм.

В *полосчатой халькопирит-пиритовой руде* отмечается чередование тёмно- и светлоокрашенных прослоев мощностью до 0.7 см. В тёмных просло-

ях, насыщенных рудными минералами, преобладает пирит, представленный крупными сростками пластинчатых кристаллов с включениями нерудных минералов и халькопирита. На микроуровне отмечается чередование полос с преобладанием в них агрегатов пирита или халькопирита, ориентированных согласно напластованию (рис. 3д). Вокруг пирита развивается хлорит с реликтовыми включениями замещённого халькопирита. Широко распространён ильменит. В пирите ильменит обнаружен в виде мономинеральных зерён, реже сростков с рутилом (до 30 мкм) или магнетитом и апатитом (до 50 мкм) (рис. 3е, 4а), а также в виде невыдержанных оторочек вокруг пиритовых агрегатов мощностью до 10 мкм. Халькопирит корродируется хлоритом и кварцем.

Агрегаты нерудных минералов тёмноокрашенных прослоев характеризуются неравномернозернистой, местами нематогранобластовой (рис. 5а), или порфиробластовой структурой (рис. 5б). Участки с нематогранобластовой структурой сложены преимущественно амфиболом, который частично или полностью хлоритизирован, содержит вкрапленность пирита, магнетита и лейкоксена. В прослоях с порфиробластовой структурой преобладает биотит пластинчатой формы размером до 1 мм. В зёрнах биотита встречаются включения апатита, циркона и ильменита. Характер взаимоотношения биотита и ильменита свидетельствует о более позднем образовании первого.

Линзообразные участки породы, зажатые между тёмноокрашенными прослоями (см. рис. 2г), сложены удлинённо-призматическими зёрнами и волокнистыми агрегатами бесцветного антофиллита размером до 2–3 мм (рис. 5в) с небольшим количеством кварца (около 2–5 % площади слоя) и биотита. Антофиллит располагается среди зёрен полностью хлоритизированной роговой обманки и характеризуется прямым погасанием. Среди амфиболовых слоёв встречаются участки, сложенные преимущественно кварцевыми зёрнами изометричной или близкой к ней формы, зёрнами пирита размером 0.01–0.1 мм и небольшой примесью зёрен плагиоклаза, биотита и эпидота (рис. 5г, д). Хлорит (клинохлор) также отмечается в этих слоях в виде мелкочешуйчатых агрегатов, выполняющих промежутки между зёрнами кварца и образующих каймы вокруг рудных минералов.

Светлоокрашенные прослои характеризуются лепидобластовой и лепидогранобластовой структурой нерудной составляющей, сложенной кварцем, клинохлором и серицитом. В отдельных участках в агрегатной смеси концентрируются крупные (0.1–0.5, реже до 1.0–2.0 мм) пластинки или таблички биотита и мусковита. Из рудных минералов здесь доминирует ильменит. Помимо крупных кристаллов ильменита (до 70 мкм), присутствуют сростки параллельных агрегатов ильменита и выклинивающихся пластинок магнетита или хлорита (рис. 4б). Такие сростки обусловлены распадом ильменитового твёрдого раствора, который начинается при температурах 600–700 °С (Рамдор, 1962). В срастании с ильменитом установлены зёрна ксенотима-(Y) и монацита-(Ce) размером не более 10 мкм (табл., рис. 4в).

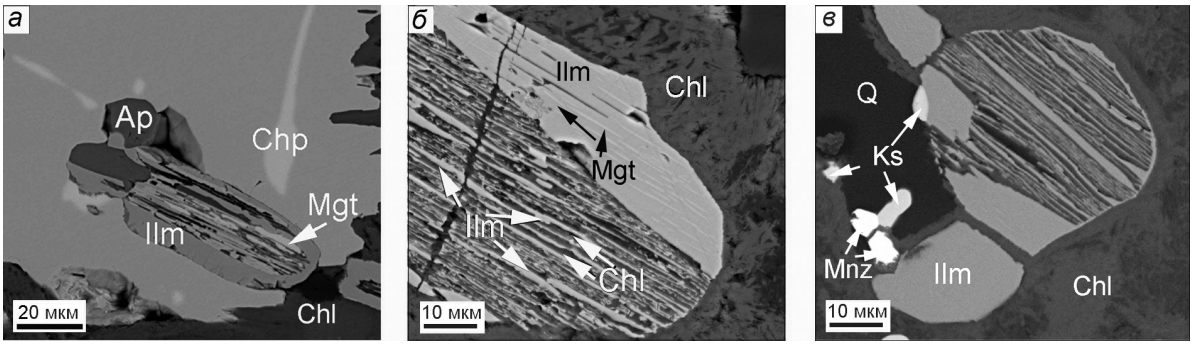

Рис. 4. Ассоциации редких минералов в рудах проявления Лучистое.

а – многофазное включение ильменита (Ilm), магнетита (Mgt) и апатита (Ap) в кристаллическом пирите (Py); б – зерно ильменита (Ilm) с ламеллями магнетита (Mgt) и хлорита (Chl) в хлоритизированной матрице (Chl); в – ксенотим-(Y) (Ks) и монацит-(Ce) (Mnz) в срастании с ильменитом (Ilm) и кварцем (Qtz). Снимки получены в отражённых электронах.

Fig 4. Assemblages of rare minerals in ores from the Luchistoe occurrence.

а – multiphase inclusion of ilmenite (Ilm), magnetite (Mgt) and apatite (Ap) in pyrite crystal (Py); б – magnetite-ilmenite (Ilm-Mgt) and ilmenite-chlorite (Ilm-Chl) agregates in chloritized matrix (Chl); в – xenotime-(Y) (Ks) and monazite-(Ce) (Mnz) intergrown with ilmenite (Ilm) and quartz (Qtz). BSE images.

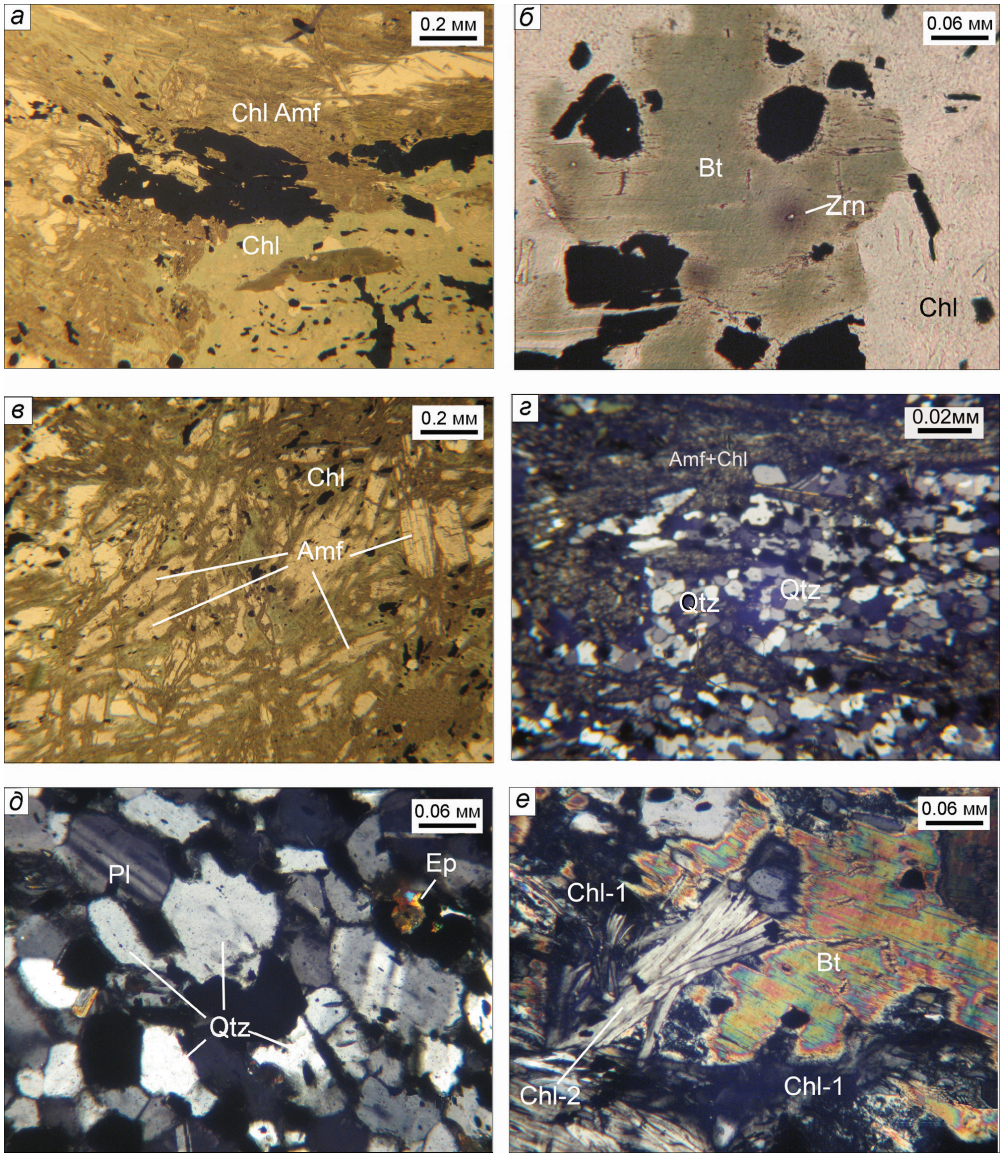

Рис. 5. Структуры срастаний нерудных минералов в полосчатых рудах проявления Лучистое.

а – развитие хлорита (Chl) по амфиболу (Amf) и сульфидам (*чёрное*); б – зёрна пирита (*чёрное*) в ассоциации с биотитом (Bt), содержащем включение циркона (Zrn), и хлоритом (Chl); в – удлинённые зёрна антофиллита (Amf) среди хлоритизированной (Chl) основной массы; г – линзовидные реликтовые участки кварца (Qtz) в амфибол-хлоритовой (Amf+Chl) массе; д – зёрна плагиоклаза (Pl), эпидота (Ep) и сульфидов (*чёрное*) в кварце (Qtz); е – хлоритизированный биотит (Bt) с хлоритом двух генераций (Chl-1, Chl-2). Проходящий свет: с анализатором (а–в) и без анализатора (г-е).

Fig 5. Textures of nonopaque minerals in banded ores from the Luchistoe occurrence.

a – chlorite replaces amphibole (Amf) and sulfides (*dark*); б – grains of pyrite (*dark*) in assemblages with biotite (Bt), which hosts inclusions of zircon (Zrn) and chlorite (Chl); в – elongated grains of antophyllite (Amf) in chlorite (Chl); г – lenses of quartz (Qtz) in amphibole-chlorite matrix (Amf+Chl); д – plagioclase (Pl), epidote (Ep) and sulfides (*dark*) in quartz (Qtz); e – chloritized biotite (Bt) with two generations of chlorite (Chl-1, Chl-2). Transmitted light: with (a– в) and without analyzer (г–e).

Тёмно- и светлоокрашенные прослои интенсивно хлоритизированы. Хлорит представлен двумя генерациями (рис. 5е). Хлорит первой генерации (клинохлор) образует мелкочешуйчатые агрегаты обычно в ассоциации с серицитом и (или) пренитом, замещая все тёмноцветные минералы. Изредка встречаются реликты незамещённых хлоритом зёрен амфибола. В большинстве случаев сохраняется

Таблица

Состав монацита-(Ce) и ксенотима-(Y) из полосчатых руд проявления Лучистое, мас.%

Table

Composition of monazite-(Ce) and xenotime-(Y) from banded ores from the Luchistoe occurrence, wt.%

№ п/п	1	2	3
№ лаб.	15261a	15261f	15261e
SiO_2	–	0.76	–
P_2O_5	32.26	31.29	32.72
CaO	0.53	0.28	–
FeO	0.27	1.17	–
Y_2O_3	–	–	51.24
La_2O_3	8.92	6.94	–
Ce_2O_3	27.44	24.95	–
Pr_2O_3	3.57	3.6	–
Nd_2O_3	18.86	21.42	–
Sm_2O_3	3.65	4.77	0.41
Gd_2O_3	3.42	3.44	4.57
Dy_2O_3	1.15	1.22	5.55
Er_2O_3	–	–	3.98
Yb_2O_3	–	–	1.52
SO_3	0.48	–	–
Сумма	100.55	99.85	100.00

Примечание. Анализы выполнены на сканирующем электронном микроскопе VEGA3 TESCAN (Институт минералогии УрО РАН, аналитик И.А. Блинов). Анализы 1–2 – монацит-(Ce), 3 – ксенотим-(Y). Прочерк – элемент не обнаружен.

Note. Analyses were carried out on a VEGA3 TESCAN SEM (Institute of Mineralogy, UB RAS, analyst I.A. Blinov). Analyses 1–2 – monazite-(Ce), 3 – xenotime-(Y). Dash, not determined.

лишь удлинённая форма – призматическая и удлинённо-шестоватая. Хлорит второй генерации (клинохлор) встречается в виде пластинок размером до 1.0–2.0 мм, местами образует сростки и каймы вокруг зёрен рудных минералов. Единичные находки обломков пород в изученных прослоях размером до 1 мм разбиты трещинками, заполненными кварцем, деформированы и хлоритизированы.

В составе *вкрапленных халькопирит-пиритовых руд* пирит встречается в виде угловатых, реже изометричных зёрен размером до 1 см, сцементированных халькопиритом и нерудными минералами. В пирите просматривается пластинчатое строение, аналогичное пириту в сплошных рудах. Местами в халькопирите отмечаются изометричные зёрна сфалерита, включения пирротина. Халькопирит в густовкрапленных рудах интенсивно замещается пластинчатыми агрегатами хлорита с формированием петельчатой структуры, переходящей в скелетную.

Руды интенсивно деформированы вплоть до милонитов и характеризуются присутствием, наряду с рудной составляющей, зёрен кварца, серицита, пренита, альбита и хлорита. Местами встречаются довольно крупные (2–3 мм), сильно деформированные зёрна кварца с многочисленными внутризерновыми трещинами, выполненными хлоритом, нередко вместе с рудными минералами (рис. 6а). Иногда рудное вещество полностью заполняет трещины в кварцевых обособлениях, придавая ему облик сидеронитовой структуры (рис. 6б). Возможно, это реликтовый кварц из миндалин исходного базальта, подвергнутого региональному и катакластическому метаморфизму. Сростки мелких зёрен пренита, серицита с примесью альбита и кварца являются, по-видимому, продуктом изменения плагиоклаза, что подтверждается правильной формой участков, сложенных этими минералами. Местами эти участки содержат прожилки хлорита, которые, скорее всего, унаследовали трещины в исходном плагиоклазе.

Серицит во вкрапленной руде преобладает и наблюдается в виде мелких чешуйчатых и листоватых сплетений размером 0.01–0.05 мм, среди которых встречаются мелкие округлые зёрна кордиерита, иногда с двойниками и тройниками, а также рудного минерала, реже циркона.

Хлорит заполняет все трещинки и пустотки, замещает все тёмноцветные минералы, часто наблюдается в парагенезисе с рудными минералами (см. рис. 6а-б). Высокое содержание хлорита позволяет отнести породу к хлоритолитам, образовавшимся по базальту и сохранившим местами реликты порфировой структуры и миндалекаменной текстуры. Наряду с этим встречаются хлоритизированные породы, в которых кварц имеет облик порфирового вкрапленника, а основная ткань напоминает реликтовую микропойкилитовую структуру риолита (рис. 6в). Кварцевые зёрна интенсивно деформированы, содержат внутризерновые трещины, отличаются волнистым погасанием, по трещинкам в них развивается мусковит, местами хлорит. В кварце встречаются включения рутила и газово-жидкие включения, формирующие длинные субпараллельные цепочки. Некоторые зёрна кварца «разъедаются» хлоритово-рудным агрегатом, а между рудным веществом и кварцем местами

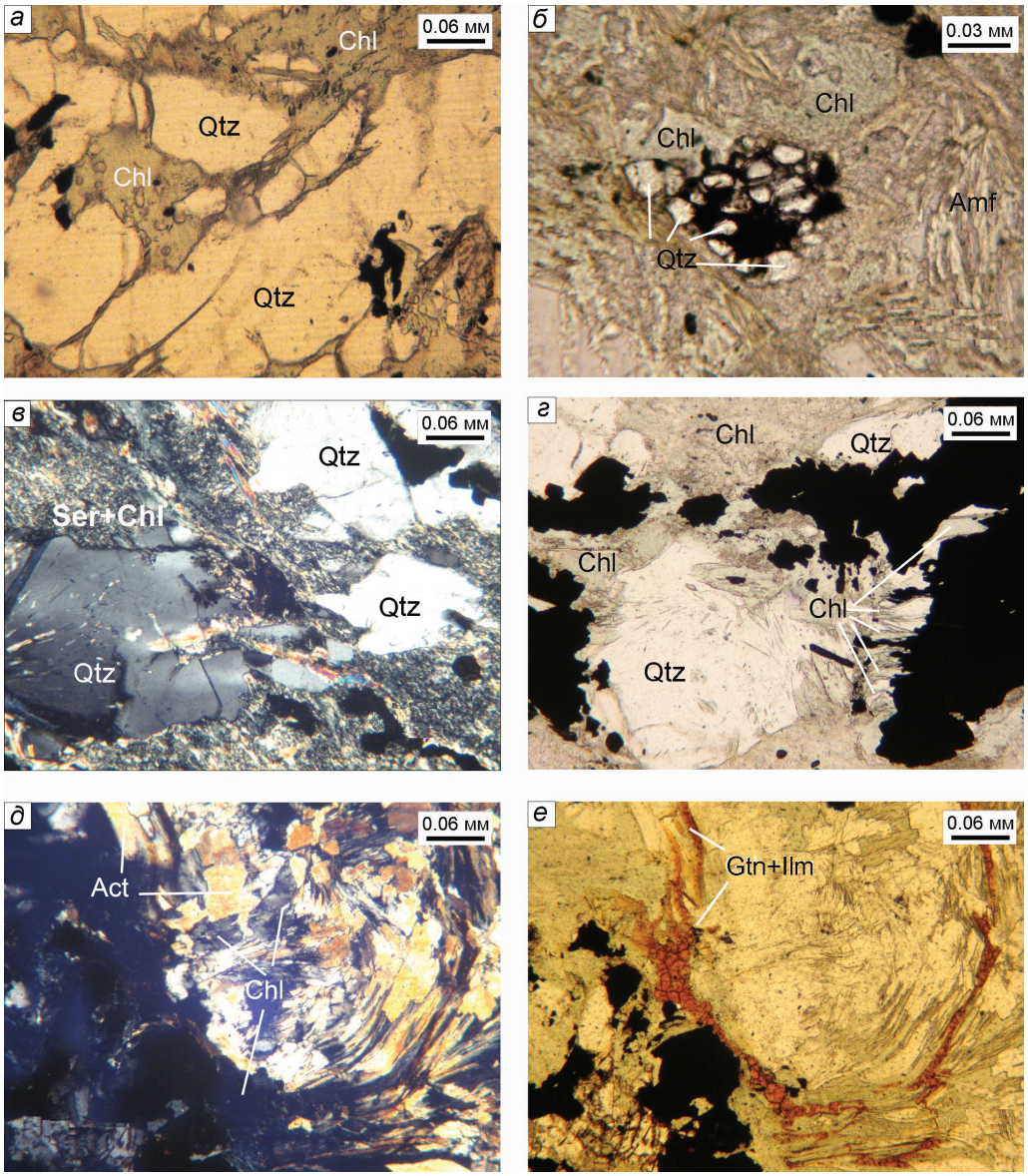

Рис. 6. Структуры срастаний нерудных минералов во вкрапленных рудах проявления Лучистое.

а – деформированные зёрна кварца (Qtz) в хлорите (Chl); б – зёрна кварца (Qtz), окружённые каймой пирита (чёрное) в хлорите (Chl); в-г – зёрна кварца (Qtz) и рудных минералов (*чёрное*), корродированные серицит-хлоритовой (Ser+Chl) основной массой; д – изометричные обособления – реликты исходной породы, замещаемые хлоритом (Chl) и актинолитом (Act); е – прожилки гётит-гидрогётитовых агрегатов (Gth+lim) в хлорите. Проходящий свет: с анализатором (а–б, г, е) и без анализатора (в, д).

Fig 6. Textures of nonopaque minerals in disseminated ores from the Luchistoe occurrence.

а – deformed quartz grains (Qtz) in chlorite (Chl); б – quartz grains (Qtz) with pyrite rim (*dark*) in chlorite (Chl); в–г – quartz grains (Qtz) and sulfide minerals (*dark*) in serecite-chlorite matrix (Ser+Chl); д – relics of rock replaced by chlorite (Chl) and actinolite (Act); е – veins of goethite-hydrogoethite aggregates (Gth+lim) developed after chlorite. Transmitted light: with (а–б, г, е) and without analyzer (в, д).

возникает своеобразная кайма, состоящая из пластинчатого пенина (рис. 6г). В ассоциации с рудными минералами широко распространен клинохлор. Среди рудных скоплений встречаются зёрна сфалерита размером 0.01–0.1 мм октаэдрического облика, окрашенные в шлифе в буроватый цвет, иногда сдвойникованные, местами со слабо выраженной зональностью.

Реликты минералов во вкрапленных рудах, частично или полностью замещённые хлоритом, позволяют проследить последовательность формирования хлоритов и амфиболов. Обыкновенная

роговая обманка замещена актинолитом и, местами, клинохлором, актинолит замещается хлоритом (рис. 6д). В некоторых изометричных обособлениях отмечаются признаки интенсивной деформации, многочисленные трещинки располагаются согласно с удлинением игольчатого актинолита и выполнены более поздними гётитом и гидрогётитом (рис. 6е).

Обсуждение результатов

Полученные результаты характеризуют текстурно-структурные и минералогические особенности руд проявления меди Лучистое, регенерированные в результате внедрения Мазарской интрузии. Сплошные, полосчатые и вкрапленные руды сопоставимы с метаморфизованными рудами колчеданных и медно-скарновых объектов Урала. Сплошные руды с густой порфировидной вкрапленностью пирита широко распространены в пределах Тарньерского колчеданного месторождения на Северном Урале. Подобные текстуры также характерны для пирротиновых руд Узельгинского колчеданного месторождения на Южном Урале, обусловленные взаимопрорастанием зёрен моноклинного и гексагонального пирротина (Пшеничный, 1984). Появление брекчиевидной текстуры связано с тектоническими преобразованиями в условиях метаморфизма. Такие текстуры являются распространенными в рудах высоко метаморфизованных месторождений, например, Юго-Западного Алтая (Лобанов, 2012).

Природа изометричных вкрапленников в рудах колчеданных месторождений различная. В рудах Тарньерского колчеданного месторождения нерудные агрегаты изометричной и сглаженно-угловатой формы, неравномерно распространённые в сульфидном цементе и сложенные кварцем, эпидотом, хлоритом, свидетельствуют в пользу исходного обломочного строения гидротермально-осадочных руд. Присутствие округлых, веретеновидных и линзовидных включений вмещающих пород и руд (шариковые текстуры) характерно для колчеданно-полиметаллических месторождений Швеции, Норвегии, Рудного Алтая и Забайкалья, подвергшихся интенсивным метаморфическим преобразованиям различных ступеней (Vokes, 1973; Geijer, 1971; Дистанов, 1977; Ковалев, 1984; Викентьев, 2004; Лобанов, 2012). Формирование таких текстур соответствует завершающим фазам процесса метаморфической мобилизации, вплоть до частичного плавления обломков рудного или нерудного материала (Кузнецова, 2007). На Западном проявлении медно-скарновых руд на Урале присутствие в руде вкрапленников андезина, граната, ганита, кварца, амфибола и биотита отражает сульфидизацию и скарнирование обломочных фаций вулканогенно-осадочных пород (Сафина и др., 2010; Кабанова, 2011). В массивных и полосчатых рудах проявления Лучистое редкие изометричные обособления являются обломками пород, что подтверждается в первую очередь их различной крупностью и морфологией. Во вкрапленных рудах реликты порфировой текстуры, характерной для вмещающих вулканогенных пород. Сульфидная минерализация носит наложенный характер.

Петрографическое изучение сульфидизированных пород проявления Лучистое позволило установить присутствие в надрудной толще биотит-кварцевых и амфибол-хлоритовых роговиков, перемежающиеся с хлоритолитами и кварц-серицит-хлоритовыми метасоматитами. Исходным субстратом для их формирования служили породы различной основности – базальты и риолиты, вулканомиктовые пелитовые, мелкозернистые, гравелитовые и грубозернистые песчаники. Реликтовые порфировые и микропойкилитовые структуры затушёваны наложенными процессами с образованием вторичных неравномернозернистых, гранозернистых и призматически-зернистых структур. В составе роговиков, помимо амфибола, хлорита, биотита, кварца и плагиоклаза, установлены редкие циркон, кордиерит, ксенотим-(Y) и монацит-(Ce). Присутствие рудных минералов (пирита, халькопирита, сфалерита) типично для ороговикованных пород и даек Тарньерского колчеданного месторождения Северного Урала. Ассоциация оксидов Fe-Ti, фосфатов, карбонатов Y и РЗЭ известна в составе ороговикованных пирит-пирротиновых руд колчеданного месторождения Пирротиновое ущелье в Хибинах (Красоткин и др., 2011). Ярким отличием является то, что перечисленные минералы приурочены к пирротинсодержащим рудам, тогда как на проявлении Лучистом пирротин встречается редко. Присутствие включений циркона в нерудной матрице ороговикованных вкрапленных пирит-халькопиритовых руд установлено на Западном медно-скарновом рудопроявлении Полярного Урала (Сафина и др., 2010).

Чередование в рудовмещающей толще проявления Лучистое базальтов и, возможно, риолитов с терригенными породами подтверждается различной окраской маломощных прослоев, вариациями содержаний рудных минералов, а также расположением линзовидных агрегатов гранозернистого кварца. Можно предположить, что вмещающие породы, содержащие рудную вкрапленность и рудные прослои, представляли собой ритмично-слоистую вулканогенно-осадочную пачку, что является характерным для месторождений кипрского типа (Прокин, 1992).

Структуры руд имеют сходные черты как с регенерированными рудами колчеданных и медно-скарновых объектов, залегающими в ореолах гранитоидных интрузий, так и с переотложенными метаморфизованными рудами. В метакристаллах пирита, широко распространённых в рудах проявления Лучистое, отсутствуют участки с реликтами первичных гидротермально-осадочных форм и зональных разновидностей, сохраняющихся в виде реликтов в метаморфогенных кристаллах пирита, например, Маукского колчеданного месторождения на Среднем Урале, метаморфизованного в условиях амфиболитовой ступени (Сафина и др., 2015). Наиболее распространены в рудах Лучистого проявления кристаллы пирита с включениями пирротина, халькопирита, сростков рутила и ильменита или ильменита и магнетита, нерудных минералов. Внутреннее строение таких кристаллов пластинчатое, вероятно унаследованное от замещённого пирротина. Метаморфическая ремобилизация подтверждается признаками наложенных деформаций и появлением прожилков пирита-2 с графической микроструктурой, обусловленной прорастанием пирита нерудными минералами или халькопиритом. Такие структуры, имеющие метасоматическое происхождение, нехарактерны для метаморфизованных гидротермальных руд колчеданных месторождений, но широко распространены в регенерированных рудах, например, Западного медно-скарнового проявления. Колломорфные пирит-марказитовые агрегаты – типичные представители поздних дисульфидов железа, образовавшихся по пирротиновым рудам колчеданных месторождений, метаморфизованных в различных условиях (Маукское, Тарньерское, Ишкининское и др.) и медно-скарновых объектов (Западное) (Ярош, 1973; Буслаев и др., 1988а; Мелекесцева, 2007; Сафина и др., 2010; Сафина и др., 2015). Сходной чертой является присутствие молибденита, встреченного также в метаморфизованных халькопирит-пирит-пирротиновых рудах Маукского месторождения и регенерированных рудах Тарньерского месторождения и Западного рудопроявления (Белогуб и др., 2010; Сафина и др., 2010; Сафина и др., 2015). Присутствие сглаженно-угловатых рутил-ильменитовых агрегатов характерно исключительно для регенерированных руд Лучистого и Западного проявлений. Яркой особенностью руд проявления Лучистое является присутствие сростков ильменита и магнетита, фиксирующих температуры метаморфических преобразований в интервале 600–700 °С.

Заключение

Регенерированные руды проявления меди Лучистое сопоставимы по текстурно-структурным и минералого-петрографическим особенностям с метаморфизованными рудами колчеданных и медно-скарновых объектов Урала. Типоморфной минералогической особенностью регенерированных руд является присутствие гидротермально-метасоматического пирита с псевдоморфным пластинчатым или графическим строением, рутил-ильменитовых и ильменит-магнетитовых сростков, а также нерудных минералов, соответствующих процессам ороговикования и скарнирования.

Работа выполнена при поддержке проекта № 15-11-5-23 Президиума УрО РАН.

Литература

Белогуб Е.В., Молошаг В.П., Новоселов К.А., Котляров В.А. Самородный висмут, цумоит и свинцовистый цумоит из Тарньерского медно-цинково-колчеданного месторождения (Северный Урал) // Зап. РМО. 2010. № 6. С. 82–93.

Буслаев Ф.П., Маркс В.А., Прахова Е.В. Маукское месторождение / Медноколчеданные месторождения Урала: Геологическое строение. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1988а. С. 164–171.

Буслаев Ф.П., Ярош П.Я., Ершова В.Г., Семенова Н.Н. Тарньерское месторождение / Медноколчеданные месторождения Урала: Геологическое строение. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1988б. С. 171–182.

Викентьев И.В. Условия формирования и метаморфизм колчеданных руд. М.: Научный Мир, 2004. 344 с.

Дистанов Э.Г. Колчеданно-полиметаллические месторождения Сибири. Новосибирск: Наука, 1977. 206 с.

Кабанова Л.Я. Анатексис или контактовый метасоматоз: минералого-петрографические особенности вмещающих пород рудопроявления Западное (Приполярный Урал) // Металлогения древних и современных океанов–2011. Рудоносность осадочно-вулканогенных и гипербазитовых комплексов. Миасс: ИМин УрО РАН, 2011. С. 243–247.

Ковалев К.Р. Шариковые текстуры в метаморфизованных сульфидных рудах Холоднинского месторождения // Генетическая минералогия и геохимия рудных месторождений Сибири. Новосибирск: Наука, 1984. С. 86–99.

Красоткин И.С., Войтеховский Ю.Л., Лесков А.Л. История освоения хибинских пирротинов Уникальные геологические объекты Кольского полуострова: Пирротиновое ущелье // Тр. Всеросс. научно-практ. конфер. Апатиты, 2011. С. 4–11.

Кузнецова Т.П. Шариковые руды в месторождениях колчеданного семейства // Материалы Годичной сессии МО РМО «Роль минералогии в познании процессов рудообразования». Москва: ИГЕМ РАН, 2007. С. 225–227.

Лобанов К.В. Медно-колчеданное оруденение Юго-Западного Алтая / Автореф. … канд. г.-м.н. Новосибирск, 2012. 16 с.

Лядский П.В. Особенности химизма базальтоидов Домбаровской структурно-формационной зоны // Химизм колчеданоносных вулканогенных формаций Урала. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1982. С. 87–98.

Лядский П.В., Полуэктов А.Т., Губанов Л.И. Домбаровский рудный район / Медноколчеданные месторождения: Геологические условия размещения. Свердловск: УНЦ АН РАН, 1985. С. 179–184.

Масленников В.В., Зайков В.В. Метод рудно-фациального анализа в геологии колчеданных месторождений: учебное пособие. Челябинск: ЮУрГУ, 2006. 224 с.

Мелекесцева И.Ю. Гетерогенные кобальт-медноколчеданные месторождения в ультрамафитах палеоостроводужных структур. М.: Наука, 2007. 245 с.

Молошаг В.П. Радиоактивная минерализация гипогенных руд колчеданных месторождений Урала (на примере Тарньерского месторождения) // Ежегодник-2014. Тр. ИГГ УрО РАН. 2015. Вып. 162. С. 169–171.

Проект «Поисковые и оценочные работы на медно-колчеданные руды в пределах Курмансайской площади в 2010-2014 гг.» / Отв. исполн. Лядский П.В. ГеоТехЦентр., Нежинка, 2011. 194 с.

Прокин В.А. Типовые геологические разрезы рудных районов / Медноколчеданные месторождения: Условия формирования. Екатеринбург: УрО РАН, 1992. С. 7–10.

Пшеничный Г.Н. Текстуры и структуры руд месторождений колчеданной формации Южного Урала. М.: Недра, 1984. 207 с.

Рамдор П. Рудные минералы и их срастания. М.: ИЛ. 1962. 1132 с.

Сафина Н.П., Масленников В.В., Масленникова С.П., Глушков А.Н. Минералого-геохимические особенности сульфидных руд рудопроявления «Западное», Приполярный Урал // XIII научно-практическая конференция «Пути реализации нефтегазового и рудного потенциала ХМАО-ЮГРЫ». Ханты-Мансийск, 2010. С. 492–501.

Сафина Н.П., Масленников В.В., Масленникова С.П., Котляров В.А., Данюшевский Л.В., Ларж Р.Р., Блинов И.А. Сульфидно-магнетитовые руды Маукского медноколчеданного месторождения (Средний Урал): состав и генезис // Геология рудных месторождений. 2015. Т. 57. № 3. С. 221–238.

Сначёв В.И., Исмагилов М.И. Контактовый метаморфизм колчеданных месторождений / Медноколчеданные месторождения: Условия формирования. Екатеринбург: УрО РАН, 1992. С. 253–260.

Ярош П.Я. Диагенез и метаморфизм колчеданных руд на Урале. Москва: Наука. 1973. 240 с.

Geijer P. Sulfidic «ball ores» and the pebble dikes // Sveriges geologiska undersökning series. 1971. № 662. P. 1–29.

Vokes F.M. «Ball textures» in sulphide ores // Geologiska Foreningens **i** Stockholm Fiirhandingar. 1973. Vol. 95. P. 403–406.

Поступила в редакцию 20 ноября 2015 г.