

УДК 553.435(470.5)

МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ РУДОКЛАСТИТОВ НОВО-ШЕМУРСКОГО КОЛЧЕДАННОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ, СЕВЕРНЫЙ УРАЛ

Н.П. Сафина^{1,2}, Н.Р. Аюпова^{1,2}, А.С. Целуйко^{1,2}, К.А. Филиппова¹

¹Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс, Челябинская обл., 456317 Россия; safina@ilmeny.ac.ru

²Южно-Уральский государственный университет, филиал в г. Миассе, ул. 8 Июля 10, г. Миасс, Челябинская обл., 456301 Россия

MINERAL COMPOSITION OF ORE CLASTS OF THE NOVY SHEMUR MASSIVE SULFIDE DEPOSIT, NORTH URALS

N.P. Safina^{1,2}, N.R. Ayupova^{1,2}, A.S. Tseluyko^{1,2}, K.A. Filippova¹

¹Institute of Mineralogy UB RAS, Miass, Chelyabinsk district, 456317 Russia; safina@ilmeny.ac.ru

²South Urals State University, Miass branch, ul. 8 Iyulya 10, Miass, Chelyabinsk district, 456301 Russia

В работе рассмотрены особенности минерального состава обломочных руд Ново-Шемурского медно-цинково-колчеданного месторождения (Северный Урал), слагающих основной объем богатых медно-цинковых руд. Наиболее распространенными разновидностями являются сульфидные брекчии, сложенные обломками пирита и сфалерита в халькопирит-сфалерит-пиритовой матрице, и сульфидные турбидиты, представляющие собой ритмичное чередование сфалеритовых и пиритовых слоев. От брекчий к алевропесчаникам увеличивается объем новообразованного пирита, сфалерита и магнетита и уменьшается количество обломков первичных руд. В этом же направлении возрастают содержания Zn, Cd, Ag, Pb и Ga и снижаются содержания Cu, Au, As, Co и Mn. Индикаторными акцессорными минералами для сульфидных брекчий являются электрум, ютенбогаардит, теннантит (Ag до 3.52 мас. %), Ag- и Se-содержащий галенит (Se до 1.7 мас. %), энаргит. В составе сульфидных турбидитов установлены Ag-галенит, магнетит, арсенопирит, тетраэдрит и касситерит в виде включений в новообразованных сульфидах. Общим для обломочных руд является накопление Ga в основной нерудной матрице, связанное с присутствием Ga-содержащих хлорита, слюды, эпидота и альбита (Ga_2O_3 от 1.24 до 4.88 мас. %). Полученные данные отражают особенности минерального состава богатых медно-цинковых руд месторождения, а также объясняют аномальные и повышенные концентрации рудных элементов в их составе.

Илл. 7. Табл. 4. Библ. 19.

Ключевые слова: Северный Урал, Ново-Шемурское месторождение, медно-цинковые руды, рудокласты, минералы, элементы

The features of mineral composition are considered for clastic ores composing the main part of rich Cu-Zn ores of the Novy Shemur massive sulfide deposit, North Urals. Most abundant ore types include sulfide breccias, which are composed of pyrite and sphalerite clasts in chalcopyrite-sphalerite-pyrite matrix, and sulfide turbidites with rhythmic alternation of sphalerite and pyrite layers. The amount of newly formed pyrite, sphalerite and magnetite increases and the amount of clasts of primary ores decreases in a range from breccias to sandstones. In the same direction, the Zn, Cd, Ag, Pb and Ga contents increase, while the Cu, Au, As, Co, and Mn contents decrease. Index accessory minerals of sulfide breccias are electrum, utenbogaardite, tennantite (up to 3.52 wt. % Ag), Ag- and Se-galena (up to 1.7 wt. % Se) and enargite. The sulfide turbidites contain Ag-rich galena, magnetite, arsenopyrite, tetrahedrite, and cassiterite included in newly formed

sulfides. The matrix of clastic ores is characterized by the presence of Ga-bearing chlorite, mica, epidote and albite (Ga_2O_3 from 1.24 to 4.88 wt. %). Our data reflect the peculiarities of mineral composition of rich Cu-Zn ores of the deposit and explain their high and higher contents of elements.

Figures 7. Tables 4. References 19.

Key words: North Urals, Novy Shemur deposit, copper-zinc ores, ore clasts, minerals, elements.

Введение

В результате рудно-фациального картирования сульфидной залежи Ново-Шемурского медно-цинково-колчеданного месторождения установлено, что основной объем богатых медно-цинковых руд представлен кластогенными рудами. Среди них наиболее распространенными являются сульфидные брекчии, сложенные обломками пирита и сфалерита в халькопирит-сфалерит-пиритовой матрице, и сульфидные турбидиты, представляющие собой ритмичное чередование сфалеритовых и пиритовых слоев мощностью первые сантиметры. Сульфидные турбидиты образовались в результате разрушения сульфидных холмов, сложенных гидротермальными рудами и переноса обломочного материала мутьевыми потоками на фланги палеогидротермальных полей (Масленников, Зайков, 1991). Горизонты обломочных руд обладают рядом характерных признаков (наличие градационной слоистости, ритмичность, четкий верхний и нижний контакты, размытая поверхность подстилающих пород и признаки переноса материала), которые позволяют рассматривать их как особую группу отложений – турбидиты (Лонгинов, 1973). Присутствие ритмично-слоистых руд в составе рудных залежей свидетельствует о перерывах в поступлении обломочного материала к месту разгрузки. Часто сульфидные брекчии на месторождениях ассоциируют с преобразованными сульфидными турбидитами, почти полностью утратившими первичные черты обломочного происхождения и характеризующимися полосчатой текстурой, унаследованной от слоистости. Такие образования принято называть сульфидными диагенитами (Масленников, Зайков, 2006).

Как было показано ранее (Масленников и др., 2014), различные гранулометрические типы рудокластитов характеризуются своими текстурно-структурными и минералого-геохимическими особенностями. Преобразование обломков первичных гидротермально-осадочных руд в результате процессов диагенеза и катагенеза приводит к изменению минерального и химического состава руд

с локальным накоплением ценных или токсичных элементов в пределах сульфидной залежи. Мелко и тонкообломочные руды, как правило, обогащены большинством элементов, включая благородные и редкие элементы. Такие руды располагаются на выклинках сульфидных залежей и не подлежат отработке или образуют маломощные пачки мощностью десятки сантиметров, реже первые метры внутри рудных тел. Примерами уральских месторождений с повышенными содержаниями элементов-примесей (Au, Ag, Sb, Pb, Te, Bi, Se, In, U) на выклинках сульфидных залежей являются Яман-Касинское, Сафьяновское, Молодежное и Юбилейное (Сафина, Масленников, 2009; Аюпова, 2016; Сафина, Аюпова, 2017; Аюпова и др., 2017; Аюпова et al., 2018; Целуйко и др., 2018). Минеральные формы этих элементов и их ассоциации не характерны для первичных гидротермальных руд перечисленных месторождений.

Для Ново-Шемурского месторождения установлено, что в отличие от брекчий, мелкообломочные пирит-сфалеритовые руды содержат аномальные концентрации Zn (до 40 %) и Ga (до 604 г/т), повышенные средние содержания Pb (0.4 %), Cd (0.3 %), Ag (64 г/т) и минимальные содержания Cu (0.46 %) и Au (0.2 г/т). Присутствие в рудокластитах обломков труб палеозойских черных курильщиков, обогащенных халькопиритом и сфалеритом, объясняет узкую локализацию богатых медно-цинково-колчеданных руд и вызывает резкие скачки содержания Cu и Zn в рудах. Поэтому актуальным является детальное изучение минерального состава различных гранулометрических разновидностей рудокластитов, их сопоставление, выявление причин накопления или отсутствия в их составе определенных минералов, что будет способствовать повышению извлечения полезных компонентов из руд и снижению себестоимости Cu и Zn концентратов.

В настоящее время Ново-Шемурское месторождение обрабатывается карьером, глубина которого в 2018 г. достигла 50 м. В результате рудно-фациального картирования месторождения получены новые данные о строении рудной залежи и текстурно-структурных особенностях руд. Аналитические

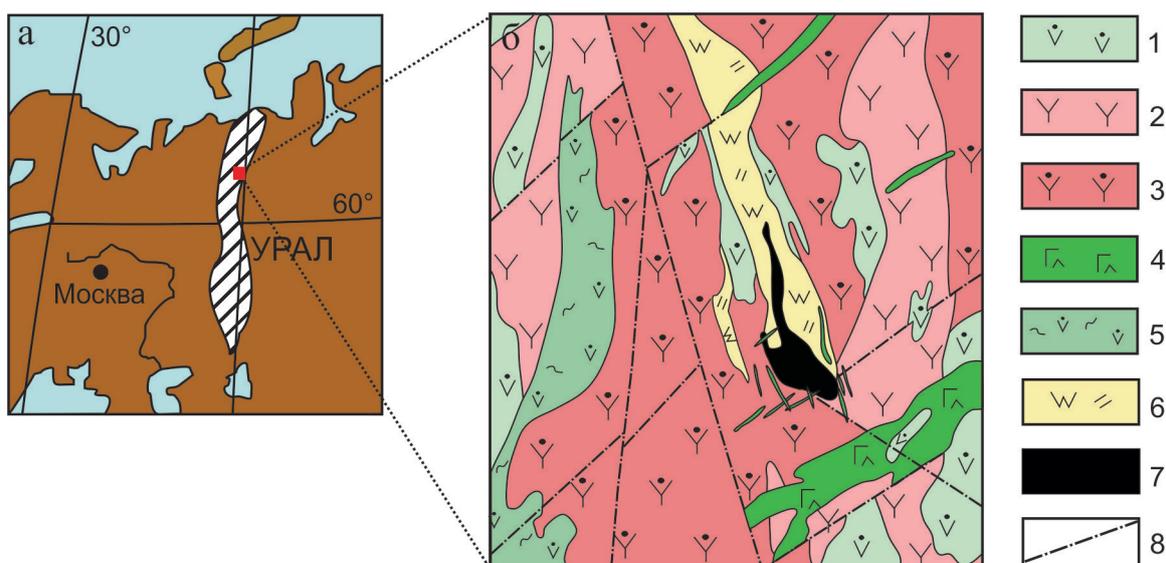


Рис. 1. Географическая позиция (а) и положение Ново-Шемурского колчеданного месторождения в пределах Шемурской площади (б, по фондовым материалам Северного медно-цинкового рудника).

1 – андезибазальты и базальты; 2 – плагиодациты и андезидациты; 3 – плагиориодациты; 4 – диабазы, габбро-диабазы; 5 – лавобрекчия андезибазальтов и базальтов; 6 – серицит-хлорит-кварцевые метасоматиты; 7 – рудное тело; 8 – разломы.

Fig. 1. Geographical setting (a) and position of the Novy Shemur massive sulfide deposit in the Shemur area (б, after unpublished materials of Severny copper-zinc mine).

1 – basaltic andesites and basalts; 2 – plagiocacites and dacitic andesites; 3 – plagioryhodacites; 4 – diabases, gabbrodiabases; 5 – volcaniclastic basaltic andesites and basalts; 6 – sericite-chlorite-quartz metasomatites; 7 – ore body; 8 – faults.

исследования проведены в Институте минералогии УрО РАН. По результатам ИСПМС (Agilent 7700X, аналитик К.А. Филиппова) и атомно-абсорбционного (аналитики М.Н. Маляренко, Ю.Ф. Мельнова, М.С. Свиренко, Т.В. Семенова) анализов рудокластитов установлены их геохимические особенности. Результаты микроскопических наблюдений в отраженном свете и определения состава минералов на сканирующем электронном микроскопе SEM VEGA3 TESCAN (аналитик И.А. Блинов) и микрозондовом микроанализаторе JEOL-733 (аналитик Ю.Д. Крайнев) позволили определить формы нахождения Cu, Sb, Pb, As, Co, Ni, Sn, In, Mn, Au, Ag, Se и Ga.

Краткая геологическая характеристика месторождения

Ново-Шемурское медно-цинково-колчеданное месторождение располагается на Северном Урале в 40 км к западу от г. Ивдель (Свердловская область) в пределах северной части Тагильской рифтогенно-палеоостроводужной системы (Прокин и др., 1988). Оно приурочено к центральной части Шемурской тектоно-вулканической структуры, за-

полненной вулканитами риолит-базальтовой формации ордовикско-силурийского возраста (Кусков, 1983; Прокин и др., 1988; Контарь, 2013) (рис. 1).

В геологическом разрезе месторождения выделены три толщи: 1) нижняя базальтовая лавовая с прослоями гиалокластитов и яшм; 2) рудовмещающая риолит-дацитовая, сложенная лавовыми потоками и их лавокластитами и 3) верхняя базальтовая с лавами, грубообломочными и мелкообломочными лавокластитами и гиалокластитами, тefроидами, яшмами и силицитами (Прокин и др., 1988; Масленников, 2006; Контарь, 2013). Месторождение относится к слабометаморфизованным объектам, где вмещающие породы и руды подверглись региональному метаморфизму эпидот-хлоритовой субфации зеленосланцевой фации (Злотник-Хоткевич, 1984).

Единая рудная залежь линзовидной формы размером 1050 × 500 м протягивается в субмеридиальном направлении и падает на запад под углом 40–50°. Многочисленные пострудные дайки диабазов и плагиоклазовых риолитов разбивают залежь на мелкие пластообразные тела с резким тупым выклиниванием. В «ядре» залежи доминируют массивные серноколчеданные руды (рис. 2). Верх-

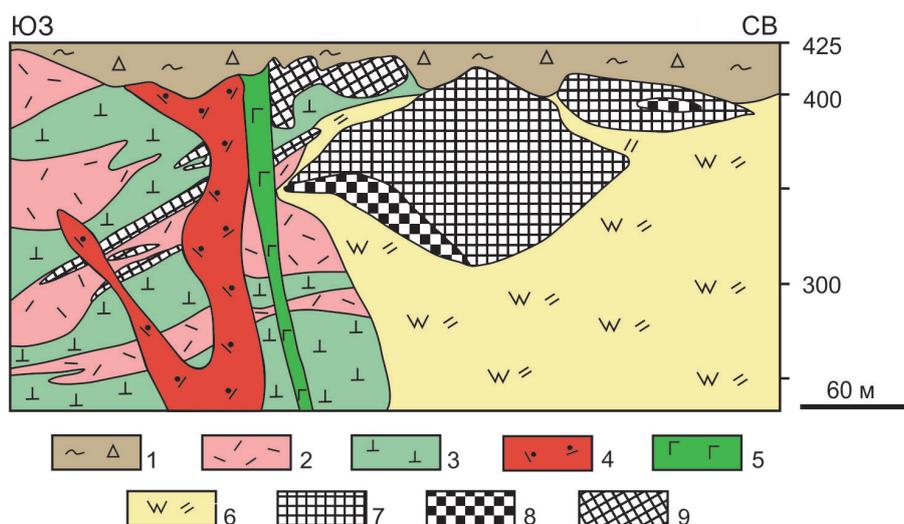


Рис. 2. Геологический разрез Ново-Шемурского колчеданного месторождения (по фондовым материалам Северного медно-цинкового рудника).

1 – рыхлые отложения; 2 – плагиодациты; 3 – андезибазальты и базальты; 4 – плагиориодациты; 5 – диабазы, габбро-диабазы; 6 – серицит-хлорит-кварцевые метасоматиты; 7 – серноколчеданные руды, 8 – медные руды; 9 – медно-цинковые руды.

Fig. 2. Geological cross section of the Novy Shemur massive sulfide deposits (after unpublished materials of Severny copper-zinc mine).

1 – loose sediments; 2 – plagioclases; 3 – basaltic andesites and basalts; 4 – plagioryodacites; 5 – diabases, gabbro-diabases; 6 – sericite-chlorite-quartz metasomatites; 7 – pyrite ores; 8 – copper ores; 9 – copper-zinc ores.

ние горизонты и фланги месторождения в северном, юго-западном и юго-восточном направлениях сложены богатыми медными и медно-цинковыми обломочными рудами, среди которых преобладают сульфидные брекчии, слоистые и полосчатые пирит-сфалеритовые руды. В карьере установлено частое чередование установленных разновидностей рудокластитов. Брекчии характеризуются разнообразным составом обломков. В составе слоистых руд преобладает сфалерит. Частая изменчивость текстурно-структурных типов обломочных руд по площади и на глубину, и неоднородность их состава является причиной значительных вариаций содержания Cu и Zn даже в небольших масштабах.

Главные рудные минералы руд – пирит, халькопирит, сфалерит, магнетит; второстепенные и редкие – галенит, блеклая руда, арсенопирит, гематит, борнит, ковеллин, самородное золото, кобальтин, пирротин и макинавит (Прокин и др., 1988). Нерудные минералы представлены хлоритом, кварцем, серицитом, реже эпидотом и кальцитом. Эксплуатационные запасы медных и медно-цинковых руд составляют 21 528 тыс. т (350 тыс. т Cu, 468 тыс. т Zn) при следующих содержаниях: 1.86 % Cu, 2.66 % Zn, 0.33 г/т Au, 10.3 г/т Ag (Санкович и др., 1986ф).

Результаты исследований

Кластогенные руды слагают северную, западную, юго-западную и юго-восточную выклинки сульфидного холма. Они представлены элювиальными и коллювиальными крупнообломочными брекчиями, гравийно-песчаными мелкообломочными турбидитами. Текстуры руд брекчиевидные, брекчиевые, слоистые и полосчатые.

Текстурно-структурные разновидности. Элювиальные брекчии сложены угловатыми, часто растрескавшимися изометричными и слабо удлиненными пиритовыми и халькопирит-пиритовыми рудокластами размером до 5 см, редко до 30–40 см. Обломочный материал цементируется пиритовыми или сфалеритовыми агрегатами (рис. 3а). Содержание основных рудных минералов составляет: пирит (85 %), халькопирит (до 10 %), сфалерит (до 5 %).

Коллювиальные брекчии на склонах серноколчеданной залежи образуют слои мощностью до 10 м. Брекчии содержат разные по минеральному составу обломки, сцементированные мелко- и тонкообломочной рудной матрицей того же состава с незначительной примесью (до 5 %) нерудных минералов (см. рис. 3б–е).

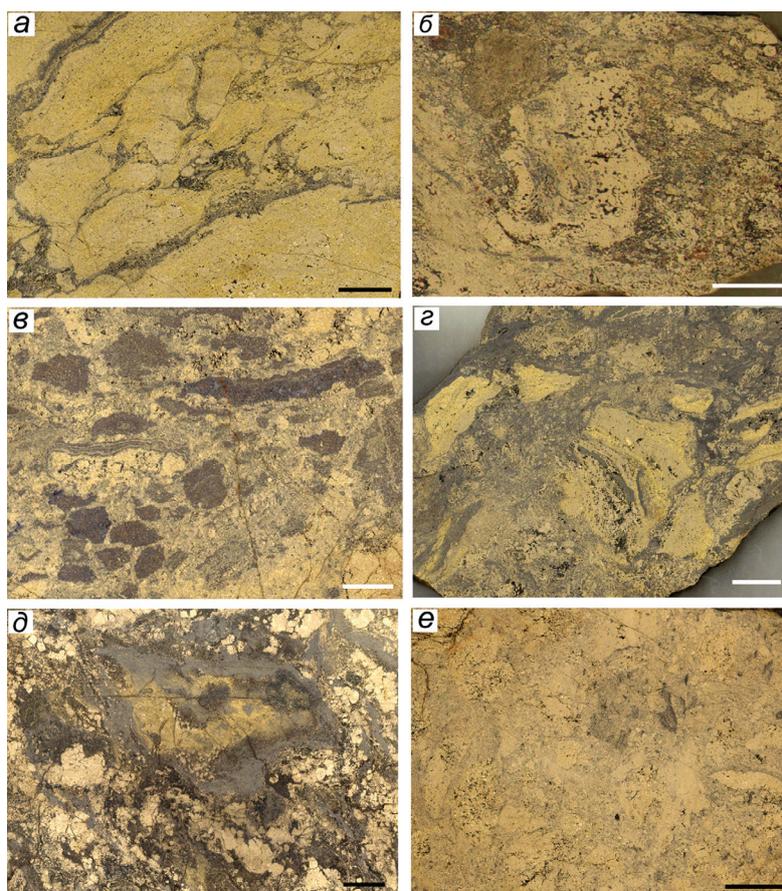


Рис. 3. Рудные брекчии Ново-Шемурского месторождения.

a – элювиальная сфалерит-халькопирит-пиритовая брекчия, обр. НШ-17-5т; *б* – пиритовые и сфалерит-пиритовые обломки в сфалерит-пиритовом цементе с гематитом и магнетитом, обр. НШ-14-8; *в* – обломки сфалерита, пирита в пирит-сфалеритовом цементе, обр. НШ-17-16; *г* – халькопирит-пиритовые обломки в пирит-сфалеритовом цементе, обр. НШ-17-6т; *д* – обломок сфалерит-пирит-халькопиритовой трубы черного курильщика в магнетит-сфалерит-пиритовом цементе, обр. НШ-17-27в; *е* – пиритовые, халькопирит-пиритовые и сфалеритовые обломки в сфалерит-пиритовом цементе, обр. НШ-17-т7. Масштаб 1 см.

Fig. 3. Sulfide breccias of the Novy Shemur massive sulfide deposit.

a – eluvial sphalerite-chalcopyrite-pyrite breccia, sample НШ-17-5т; *б* – pyrite and sphalerite-pyrite clasts in sphalerite-pyrite cement with hematite and magnetite, sample НШ-14-8; *в* – sphalerite and pyrite clasts in pyrite-sphalerite matrix, sample НШ-17-16; *г* – chalcopyrite-pyrite clasts in pyrite-sphalerite matrix, sample НШ-17-6т; *д* – black smoker chimney clast in magnetite-sphalerite-pyrite matrix, sample НШ-17-27в; *е* – chalcopyrite-pyrite and sphalerite clasts in sphalerite-pyrite matrix, sample НШ-17-т7. Scale bar is 1 cm.

По минеральному составу выделяется несколько разновидностей сульфидных брекчий:

1) халькопирит-сфалерит-пиритовые с обломками массивного, пористого и колломорфного пирита (см. рис. 3б). Макроскопически в образцах преобладает пирит (50 %), содержание сфалерита составляет до 3–5 % и халькопирита – до 1 %;

2) сфалерит-пиритовые с обломками сфалерита (нередко колломорфные), сосредоточенные в магнетит-гематит-сфалерит-пиритовом цементе (см. рис. 3в); содержание пирита достигает в них 85 %, сфалерита – до 15 %;

3) сфалерит-халькопирит-пиритовые с пиритовыми, пирит-халькопиритовыми и сфалерит-халькопирит-пиритовыми обломками, гнездами магнетита и нерудными минералами в сульфидной матрице; содержание пирита – до 50 %, сфалерита – 20–30 % и халькопирита – до 10 % (см. рис. 3г, д);

4) неконтрастные сфалерит-халькопирит-пиритовые, где обломки пирита и редко сфалерита располагаются в сфалерит-халькопирит-пиритовом цементе (рис. 3е); содержание пирита – до 90 %, сфалерита и халькопирита – до 10 %.

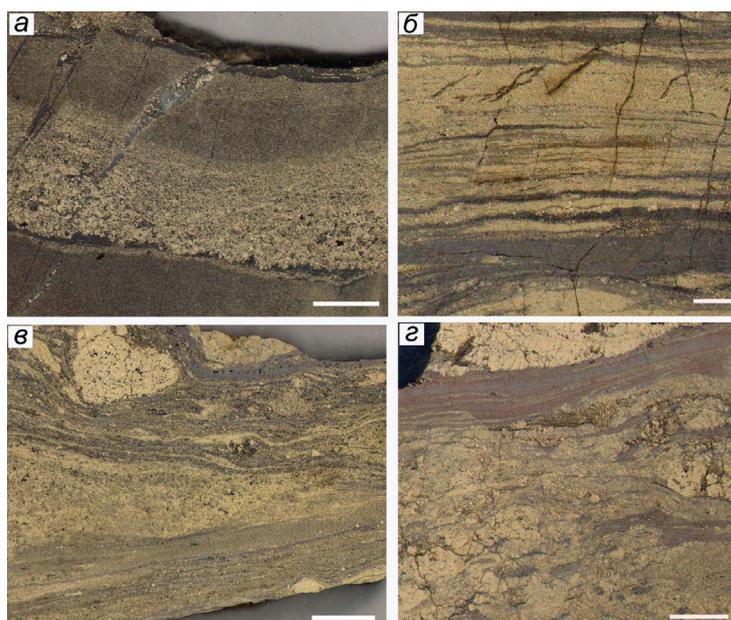


Рис. 4. Сульфидные турбидиты Ново-Шемурского месторождения.

a – градационная слоистость в мелкообломочном сульфидном турбидите, обр. Т-15-3; *б* – полосчатые руды с ритмичным чередованием пиритовых и сфалеритовых прослоев, обр. НШ-17-30в; *в* – полосчатые пирит-сфалеритовые руды с продавливанием крупных обломков пирита в тонкие пирит-сфалеритовые прослои в верхней части образца, обр. НШ-17-367.5; *г* – прослои тонко-полосчатых пирит-сфалеритовых руд в крупнообломочных брекчиях, обр. НШ-14-12. Масштаб 1 см.

Fig. 4. Sulfide turbidites of the Novy Shemur massive sulfide deposit.

a – gradation layering of fine-grained sulfide turbidite, sample T-15-3; *b* – rhythmic alternation of pyrite and sphalerite layers, sample НШ-17-30в; *v* – layered pyrite-sphalerite ores with large pyrite clasts above thin pyrite-sphalerite layers in the upper part of sample НШ-17-367.5; *z* – layers of thin-bedded pyrite-sphalerite ores in coarse-grained breccias, sample НШ-14-12. Scale bar is 1 cm.

Цементирующей матрицей в коллювиальных брекчиях является мелко- и тонкообломочный сульфидный материал, в котором обломки замещаются новообразованными пиритом, халькопиритом, сфалеритом, магнетитом и нерудными минералами (хлорит, слюда, эпидот и кварц).

В коллювиальных брекчиях, сложенных разнородным обломочным материалом, установлены фрагменты сфалерит-халькопирит-пиритовых и сфалеритовых труб черных курильщиков и оруденелой фауны. Размер труб варьирует от 1 до 10–12 см в диаметре и длиной до 30 см. Они имеют округлую, сглаженно-угловатую, овальную, часто удлинненную и сложную форму (см. рис. 3г, д). Характерным является трехчленное строение: внешняя пиритовая оболочка, внутренняя стенка, состоящая из халькопирита и осевой канал, заполненный сфалеритом, халькопиритом и нерудными минералами. По минеральному составу выделены сфалерит-пирит-халькопиритовые, сфалерит-

халькопирит-пиритовые, пирит-халькопирит-сфалеритовые и халькопирит-пиритовые разновидности.

Редкие находки оруденелой фауны приурочены к брекчиям с обильным аутигенным халькопиритом, который образует псевдоморфозы по трубчатым организмам диаметром до 200 мкм и длиной более 500 мкм (Аукурова et al., 2017).

Сульфидные турбидиты представлены проксимальными и дистальными разновидностями (рис. 4). Проксимальные турбидиты с гравийно-песчаной размерностью обломков характеризуются градационной слоистостью, следами оплыпания слабо литифицированного осадка, знаками нагрузки и специфическими механоглифами в подошве слоев, указывающими на их турбидитовое происхождение (см. рис. 4а). К кровле слоев возрастает количество нерудных минералов. Нередко они переслаиваются с брекчиями и дистальными разновидностями, а также нерудными осадками.

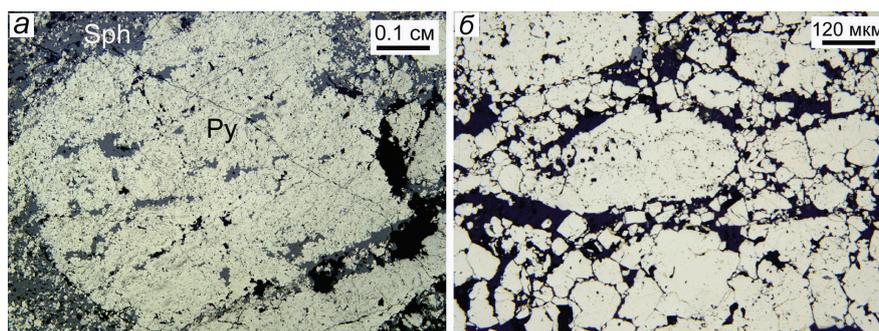


Рис. 5. Рудокласты в дистальных турбидитах.

a – обломок пирита (Py) с включениями сфалерита (Sph) на фоне тонкообломочной пирит-сфалеритовой матрицы; *б* – почковидное строение обломка пирита в кварцевой матрице (черное). Обр. НШ-17-30в. Отраженный свет.

Fig. 5. Ore clasts (Py) in distal turbidites.

a – pyrite clast with sphalerite inclusions (Sph) in fine-grained pyrite-sphalerite matrix; *b* – reniform structure of pyrite clast in quartz matrix (black). Sample НШ-17-30v. Reflected light.

Мелкообломочные дистальные ритмично-слоистые пирит-сфалеритовые турбидиты имеют подчиненное распространение и иногда содержат крупные рудокласты (см. рис. 4в, г). На некоторых горизонтах рудной залежи отмечается смена слоистых сфалерит-пиритовых руд их полосчатыми разновидностями, которые характеризуются нечеткими контактами вплоть до сливания слоев, их расщеплением по простиранию и выклиниванию. Признаки первичной слоистости (градация сульфидного материала) в них отсутствуют или диагностируются с трудом. В пользу их первичного обломочного строения свидетельствуют неровные границы между прослоями с признаками продавливания пиритового материала в сфалеритовые слои, огибание обломковидных обособлений пирита прослоями сфалерита. Как правило, такие руды сменяют в разрезе более крупнообломочные разновидности руд (см. рис. 4г).

В минеральном составе преобразованных мелкообломочных турбидитов (диагенитов) преобладают пирит и сфалерит, редко встречается халькопирит и магнетит. Рудокласты в них сохраняются очень редко (рис. 5а, б). Пирит-1 слагает большую часть руд и образует тонко- и мелкозернистые агрегаты. Пирит-2 образует крупные зерна (до 1 мм), часто зональные, что подчеркивается включениями сфалерита, халькопирита, блеклой руды, галенита и кварца. В обогащенных халькопиритом участках руды пирит-2 цементируется халькопиритом с включениями галенита. Сфалерит в ассоциации с блеклой рудой, галенитом и халькопиритом выполняет интерстиции в агрегатах пирита-1 и -2. В сфалерите содержатся включения халькопирита, магнетита, касситерита и нерудных минералов.

Химический состав руд. Повышенные содержания большинства элементов характерны для брекчий, сложенных обломками различного состава в сульфидной мелкообломочной матрице с преобладанием сфалерита (см. рис. 3г), и полосчатых пирит-сфалеритовых руд (табл. 1). В таких брекчиях, обогащенных Zn (в среднем, 16.5 %) и Cu (в среднем, 6.39 %), помимо Cd, In и Ga – примесей характерных для сфалерита, накапливаются Pb, As, Au и Ag. В полосчатых рудах (см. рис. 4г) установлены аномальные содержания Zn (44 %) и Ga (604 г/т), повышенные – Pb (0.4 %), Cd (0.3 %), Ag (64 г/т) и минимальные – Cu (0.46 %), а также Au (0.2 г/т) (см. табл. 1). Накопление Co, Mn и As характерно для брекчий, в составе которых преобладают обломки пирита (см. рис. 3б, в, е; см. табл. 1). В свою очередь, минимальные содержания Co и пониженные As установлены в полосчатых рудах.

Аутигенные минеральные ассоциации. Цементирующая матрица коллювиальных сфалерит-халькопирит-пиритовых брекчий содержит аутигенные кристаллы пирита, халькопирит-сфалеритовые и пирит-сфалеритовые агрегаты с включениями электрума, ютенбогаардита, арсенопирита, Аг или Se-галенита, касситерита, магнетита, гематита, пирротина, теннантита и энаргита.

В полосчатых пирит-сфалеритовых диагенитах редко сохраняются обломки колломорфного пирита и сфалерита; они замещены новообразованными пиритом, халькопиритом и сфалеритом. Аксессуарная минерализация представлена галенитом, арсенопиритом, тетраэдритом, магнетитом и Та-содержащим касситеритом. Как и в брекчиях, минералы приурочены к пириту, сфалериту и халькопириту. В обеих разновидностях рудокластитов

Средний химический состав рудокластитов Ново-Шемурского месторождения

Таблица 1

Table 1

Average chemical composition of clastic ores from the Novy Shemur massive sulfide deposit

Номер образца /элементы	НШ-17-5Т	НШ-14-8 (n=3)	НШ-17-16 (n=3)	НШ-17-6Т (n=4)	НШ-17-7Т	НШ-14-12	НШ-14-12(1)
	1	2	3	4	5	6	7
Cu, %	12.16	0.95	0.99	6.39	1.60	0.46	0.77
Zn	3.12	4.05	13.8	16.5	5.84	44.1	23.9
Au, г/т	0.33	0.34	0.56	3.65	0.44	0.20	0.32
Ag	30.7	37.7	33.7	102	28.3	63.9	38.4
Pb	93.2	356	195	4107	289	1423	4534
Ga	37.0		38.89	126	8.61	604	
As	348	376	529	810	401	79.3	338
Cd	107	162	463	504	174	2856	1231
In	26.8		8.68	64.9	4.10	19.4	
Sn	10.1	15.2	1.29	7.93	27.8	3.89	3.71
Sb	4.74	21.8	12.76	53.3	4.84	56.0	15.4
Co	7.23	257	827	4.20	269	0.70	12.3
Ni	13.5	21.1	8.94	16.2	16.1	7.00	21.0
Se	<2.50	22.7	10.8	<2.50	<2.50	12.8	11.6
Te	0.58	17.8	7.20	0.21	3.48	0.90	1.68
Mn	58.9	124	54.8	74.3	153	138	121

Примечание. Содержания Cu, Zn, Au и Ag – результаты атомно-абсорбционного анализа, остальные элементы – ИСП-МС анализ; n – количество анализов.

Note: Cu, Zn, Au and Ag contents – atomic absorption analysis, other elements – ICP MS analysis; n – number of analysis.

присутствуют многочисленные Ga-содержащие нерудные минералы.

Самородное золото в коллювиальных брекчиях (см. рис. 3в) представлено изометричными округлыми и угловатыми зернами размером 2–20 мкм, локализованными в халькопирите и сфалерите, а также прожилками до 2 мкм в сфалерите (рис. 6а, б). По содержаниям Au и Ag (табл. 2) состав золота соответствует электруму. В сфалерите, помимо золота, отмечаются включения галенита и касситерита крупностью до 20 и 5 мкм, соответственно.

Ютенбогардит в виде прерывистой оторочки развивается вокруг золота (см. рис. 6в–е). Содержания Au в ютенбогардите варьируют от 33.37 до 51.73 мас. %, Ag – от 37.0 до 51.95 мас. %, содержания Cu достигают 1.18 мас. %. Для минерала характерна нестехиометричность состава.

Галенит присутствует во всех рудокластитах. Его включения размером до 20 мкм широко распространены в пирите и сфалерите. Ксеноморфные зерна минерала размером до 200 мкм наблюдаются в интерстициях пирита в ассоциации с халькопиритом и сфалеритом. В полосчатых рудах галенит входит в состав галенит-блеклорудной и галенит-арсенопиритовой ассоциаций. В первой ассоциации он развивается по контурам зерен блеклой руды в виде угловатых выделений размером до 10–

15 мкм. В кристаллах арсенопирита галенит отмечается в виде мельчайших включений (1–2 мкм) или тонких вытянутых зерен по контурам кристаллов. Помимо этого, встречаются тонкие мирмекитовые сростки галенита, блеклой руды и арсенопирита в сфалерите или халькопирите. В галените коллювиальных брекчий установлено присутствие Se (0.65–1.69 мас. %) или Ag (по данным качественного анализа). Галенит с примесью Ag установлен и в полосчатых диагенитах в ассоциации с блеклыми рудами.

Арсенопирит является редким минералом, но его находки известны как в брекчиях, так и полосчатых рудах. Минерал присутствует в виде двух морфологических разновидностей. Первая представлена крупными кристаллами и их сростками до 100 мкм и более в ассоциации с пиритом, сфалеритом, халькопиритом и кварцем. С пиритом и сфалеритом ксеноморфный арсенопирит образует сростки, в кварце представлен идиоморфными кристаллами с ромбическими сечениями. Вторая разновидность – мирмекитовые срастания с галенитом, тетраэдритом и халькопиритом в сфалерите. Химический состав арсенопирита соответствует теоретическому. Некоторые кристаллы арсенопирита зональны, но вариации концентраций элементов незначительны.

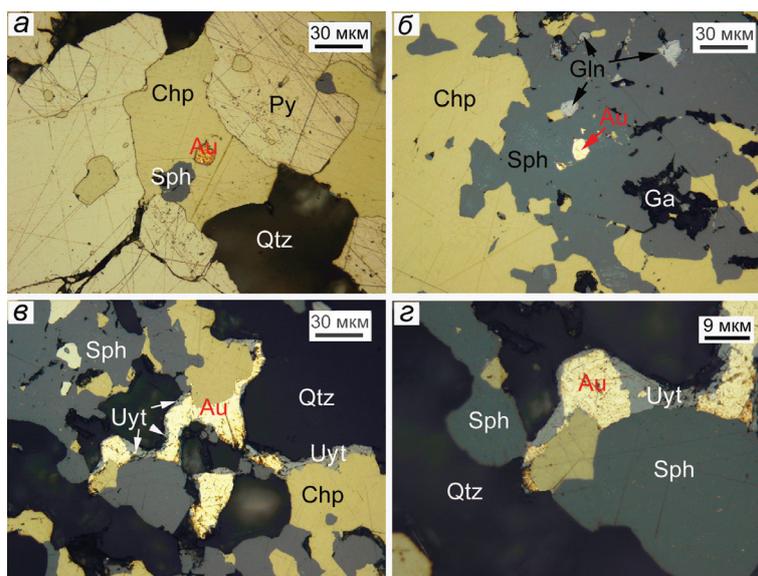


Рис. 6. Минералы Au и Ag в коллювиальных брекчиях Ново-Шемурского месторождения.

a – электрум (Au) в халькопирите (Chp); *б* – включения электрума, галенита (Gln) и Ga-содержащих нерудных минералов (Ga) в сфалерите (Sph); *в* – сростки электрума и ютенбогаардита (Uyt) с кварцем (Qtz), халькопиритом и сфалеритом; *г* – кайма электрума и ютенбогаардита на контакте сульфидов и кварца. Обр. НШ-17-6т. Отраженный свет.

Fig. 6. Au and Ag minerals in colluvial breccias of the Novy Shemur deposit.

a – electrum (Au) in chalcopyrite (Chp); *б* – inclusions of electrum, galena (Gln) and Ga-bearing minerals (Ga) in sphalerite (Sph); *в* – intergrowth of electrum and uytenbogaardite (Uyt) with quartz (Qtz), chalcopyrite and sphalerite; *г* – rim of electrum and uytenbogaardite at the contact of sulfides and quartz. Sample НШ-17-6т. Reflected light.

Таблица 2

Состав золота (1–10) и ютенбогаардита (11–18) в коллювиальных брекчиях Ново-Шемурского месторождения (мас. %)

Table 2

Composition of native gold (1–10) and uytenbogaardite (11–18) in sulfide breccia of the Novy Shemur massive sulfide deposit (wt. %)

№ п/п	№ анализа	Au	Ag	Cu	S	Сумма	Формула
1	18362a	50.18	49.18	–	–	99.35	$Au_{0.35}Ag_{0.65}$
2	18362b	45.80	54.62	–	–	100.41	$Au_{0.31}Ag_{0.69}$
3	18376u	55.11	45.25	–	–	100.36	$Au_{0.40}Ag_{0.60}$
4	18376p	56.76	43.86	–	–	100.62	$Au_{0.41}Ag_{0.59}$
5	18376s	50.71	49.29	–	–	100.00	$Au_{0.36}Ag_{0.64}$
6	18376a	54.77	43.96	0.44	–	99.17	$Au_{0.40}Ag_{0.59}Cu_{0.01}$
7	18376f	47.94	50.59	1.34	–	99.87	$Au_{0.33}Ag_{0.64}Cu_{0.03}$
8	18376k	54.76	45.57	–	–	100.33	$Au_{0.40}Ag_{0.60}$
9	18376h	58.63	41.17	–	–	99.80	$Au_{0.44}Ag_{0.56}$
10	18376j	59.08	40.74	–	–	99.81	$Au_{0.44}Ag_{0.56}$
11	18376q	51.73	35.00	0.92	12.34	100.00	$Au_{1.37}(Ag_{1.68}Cu_{0.05})_{1.73}S_2$
12	18376r	48.91	37.79	1.18	12.13	100.00	$Au_{1.32}(Ag_{1.84}Cu_{0.11})_{1.95}S_2$
13	18376b	43.79	44.20	0.79	11.22	100.00	$Au_{1.26}(Ag_{2.34}Cu_{0.05})_{2.39}S_2$
14	18376d	49.70	37.03	0.74	12.53	100.00	$Au_{1.25}(Ag_{1.70}Cu_{0.05})_{1.75}S_2$
15	18376l	48.33	37.98	0.92	12.61	100.00	$Au_{1.23}(Ag_{1.80}Cu_{0.05})_{1.85}S_2$
16	18376m	48.33	37.93	0.92	12.83	100.00	$Au_{1.20}(Ag_{1.75}Cu_{0.05})_{1.80}S_2$
17	18376n	33.37	51.95	0.72	13.96	100.00	$Au_{0.79}Ag_{2.23}S_2$
18	18376i	50.11	37.00	0.83	12.93	100.00	$Au_{1.25}(Ag_{1.70}Cu_{0.05})_{1.75}S_2$

Примечание. Здесь и табл. 4 – СЭМ VEGA3 TESCAN. Формулы золота рассчитаны на сумму катионов, ютенбогаардита – на два атом серы.

Note. Here and in Table 4 – SEM VEGA3 TESCAN. Formulas are recalculated to cation sum (native gold) and two S atoms (uytenbogaardite).

Блеклые руды (тетраэдрит и теннантит) встречаются часто. В пирит-сфалеритовых диагенитах (см. рис. 4г) преобладает тетраэдрит, который образует скопления угловатых, изометричных зерен размером 5–10 мкм или крупные агрегаты размером до 200 мкм в халькопирите или сфалерите. Реже в сфалерите и халькопирите отмечаются тонкоагрегатные смеси с галенитом, арсенопиритом и халькопиритом. Под электронным микроскопом в сфалерите установлены единичные сростки тетраэдрита с теннантитом размером до 5 мкм.

Химический состав тетраэдрита характеризуется значительными вариациями содержаний As (1.86–6.68 мас. %) и Sb (18.76–27.08 мас. %), повышенными содержаниями Zn (6.35–7.44 мас. %) и пониженными – Fe (до 2.14 мас. %) (табл. 3). Тетраэдрит также содержит Ag (0.11–0.2 мас. %) и Bi (0.43–0.57 мас. %). В теннантите, ассоциирующим с тетраэдритом, обнаружено Ag (до 3.52 мас. %). Местами по тетраэдриту развивается ковеллин.

Энаргит – редкий минерал, который обнаружен в брекчиях в виде тонкой каймы мощностью 2–3 мкм вокруг зерен халькопирита в пирите.

Касситерит найден в брекчиях и полосчатых разновидностях руд. Содержание минерала в руде не превышает 1 %. Касситерит находится в тесной ассоциации со сфалеритом и реже с халькопи-

ритом, образуя мелкие (до 5 мкм) изометричные зерна (рис. 7д). В касситерите практически всегда присутствует примесь тантала ($Ta_2O_5 = 0.51–1.03$ мас. %).

Кварц является одним из главных нерудных минералов изученных рудокластитов. Он представлен в основном сростками зерен размером до 100 мкм и более. Границы зерен кварца с рудными минералами как взаимно-искривленные, так и коррозионные. Кварц может присутствовать в виде включений в сульфидах.

Галлийсодержащий хлорит встречается часто в рудокластитах месторождения (см. рис. 7). В плоском сечении минерал образует вытянутые чешуйчатые индивиды или рыхлые массы, которые заполняют интерстиции в рудной массе, достигая 100 мкм, а также концентрируются по границам зерен рудных минералов. В сфалерите часто присутствуют мелкие (до 15 мкм) рассредоточенные включения Ga-содержащего хлорита. Содержания Ga_2O_3 в хлорите достигают 2.65 мас. % (табл. 4). Помимо Ga, в хлорите концентрируется V, Zn, Cu и Fe.

Галлийсодержащая слюда в рудах встречается реже хлорита (см. рис. 76). В сульфидной матрице слюда формирует чешуйчатые агрегаты длиной до 30 мкм. В химическом составе отмечаются примеси V, Cu и Zn (см. табл. 4).

Таблица 3

Химический состав блеклых руд и энаргита в рудокластитах Ново-Шемурского колчеданного месторождения (мас. %)

Table 3

Chemical composition of fahlores and enargite in clastic ores of the Novy Shemur massive sulfide deposit (wt. %)

№ ан.	S	Fe	Zn	Cu	As	Ag	Sb	Сумма	Формула минералов
Ag-содержащий теннантит									
14325g	27.96	7.31	2.00	39.13	17.45	3.52	3.49	100.86	$Cu_{9.26}(Fe_{1.94}Zn_{0.44}Ag_{0.44})_{2.82}(As_{3.43}Sb_{0.44})_{3.87}S_{13.00}$
Zn-тетраэдрит									
21297h	25.46	2.14	6.78	38.03	1.97	–	25.38	99.76	$Cu_{9.75}(Fe_{0.65}Zn_{1.62})_{2.27}(As_{0.50}Sb_{3.25})_{3.75}S_{13.00}$
21297i	26.54	2.02	6.96	38.95	5.95	–	19.30	99.73	$Cu_{9.55}(Fe_{0.62}Zn_{1.72})_{2.34}(As_{1.25}Sb_{2.51})_{3.76}S_{13.00}$
21297a	26.93	1.52	6.44	37.96	4.08	–	22.91	99.85	$Cu_{9.29}(Fe_{0.46}Zn_{1.55})_{2.01}(As_{0.77}Sb_{3.10})_{3.87}S_{13.00}$
21297b	26.16	1.58	6.35	37.41	1.31	–	27.08	99.89	$Cu_{9.51}(Fe_{0.48}Zn_{1.59})_{2.07}(As_{0.32}Sb_{3.49})_{3.81}S_{13.00}$
21297c	26.04	1.53	7.00	37.61	2.58	–	25.02	99.77	$Cu_{9.63}(Fe_{0.48}Zn_{1.77})_{2.25}(As_{0.48}Sb_{3.37})_{3.85}S_{13.00}$
21297d	26.42	1.20	7.44	37.50	4.05	–	22.68	99.29	$Cu_{9.51}(Fe_{0.32}Zn_{1.74})_{2.06}(As_{0.80}Sb_{3.00})_{3.80}S_{13.00}$
21297d'	25.92	1.60	6.96	37.03	2.21	–	26.06	99.78	$Cu_{9.63}(Fe_{0.48}Zn_{1.77})_{2.25}(As_{0.48}Sb_{3.37})_{3.85}S_{13.00}$
21297e	27.25	1.53	6.76	39.18	5.80	–	19.48	99.99	$Cu_{9.48}(Fe_{0.46}Zn_{1.53})_{1.99}(As_{1.22}Sb_{2.45})_{3.67}S_{13.00}$
21297f	26.65	1.74	6.96	38.27	5.82	–	20.44	99.88	$Cu_{9.40}(Fe_{0.47}Zn_{1.57})_{2.04}(As_{0.94}Sb_{2.66})_{3.60}S_{13.00}$
21297g	27.27	2.04	6.83	38.39	6.68	–	18.76	99.98	$Cu_{9.20}(Fe_{0.61}Zn_{1.53})_{2.14}(As_{1.38}Sb_{2.30})_{3.68}S_{13.00}$
21297g'	26.08	1.50	7.24	37.37	1.86	–	25.81	99.86	$Cu_{9.29}(Fe_{0.46}Zn_{1.78})_{2.24}(As_{0.31}Sb_{3.25})_{3.56}S_{13.00}$
Энаргит									
21296b	32.21	2.63	–	46.93	18.19	–	–	99.96	$(Cu_{2.96}Fe_{0.05})_{3.01}As_{0.96}S_{4.00}$

Примечание. Рентгеноспектральный микроанализатор JEOL-733. Формулы рассчитаны на 13 и 4 атома серы для блеклых руд и энаргита, соответственно.

Note: JEOL-733 microprobe. Formulas are recalculated to 13 and 4 S atoms for fahlores and enargite, respectively.

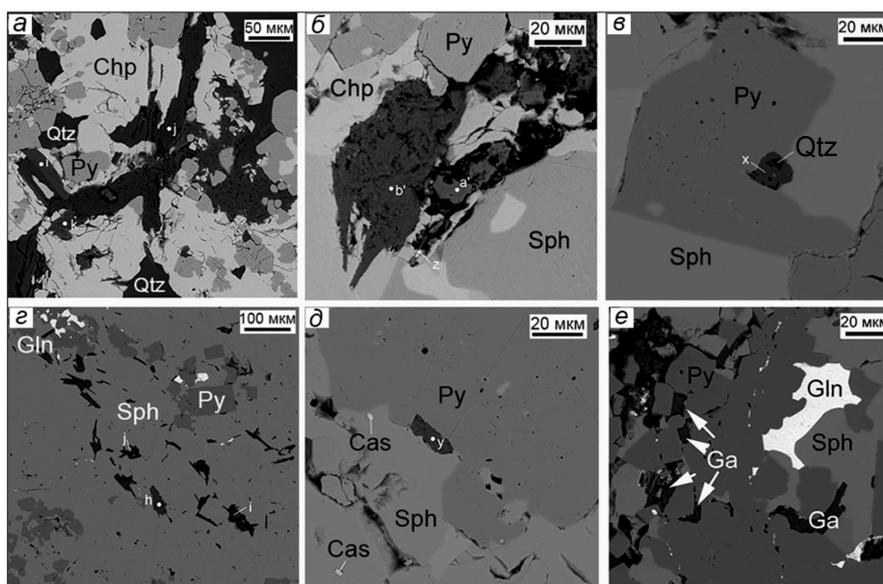


Рис. 7. Галлийсодержащие минералы в коллювиальных брекчиях (а–в) и слоистых рудах (г–е) Ново-Шемурского месторождения.

а – пластинчатые агрегаты Ga-хлорита (j), кварца (Qtz) и трещиноватые кристаллы пирита (Py) в халькопирите (Chp); б – Ga-хлорит (b) и Ga-эпидот (a) среди сульфидов (серое); в – Ga-эпидот (x) с включениями кварца (Qu) на контакте зерен пирита и сфалерита; г – включения Ga-слюды (j, i) и Ga-хлорита (h), галенита (Gln) в сфалерите; д – включения Ga-хлорита (y) на контакте пирита и сфалерита и включения Та-касситерита (Cas) в сфалерите; е – включения Ga-слюды (Ga) и галенита в сфалерите между зернами пирита. СЭМ-фото. Рис. а–в – обр. НШ-17-6г, г–е – обр. НШ-14-12.

Fig. 7. Ga-bearing minerals in sulfide breccias (a–b) and layered ores (g–e) of the Novy Shemur massive sulfide deposit.

а – lamellar aggregates of Ga-chlorite (j), quartz (Qtz) and fractured pyrite (Py) crystals in chalcopyrite (Chp); б – Ga-chlorite (b) and Ga-epidote (a) in sulfide aggregate (gray); в – Ga-epidote (x) with inclusions of quartz (Qu) at the contact of pyrite and sphalerite grains; г – inclusions of Ga-mica (j, i), Ga-chlorite (h) and galena (Gln) in sphalerite; д – inclusion of Ga-chlorite (y) at the contact of pyrite and sphalerite and inclusions of Ta-cassiterite (Cas) in sphalerite; е – inclusions of Ga-mica (Ga) and galena in sphalerite between pyrite grains. SEM images. Fig. а–в – sample НШ-17-6г, г–е – sample НШ-14-12.

Таблица 4

Химический состав Ga-содержащих минералов в кластогенных рудах Ново-Шемурского колчеданного месторождения (мас. %)

Table 4

Chemical composition of Ga-bearing minerals of clastic ores from the Novy Shemur massive sulfide deposit (wt. %)

Анализ	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	V ₂ O ₅	MnO	FeO	ZnO	CuO	Ga ₂ O ₃	Сумма
Эпидот											
18376a'	–	22.67	36.5	23.33	0.28	–	11.01	–	–	3.95	97.74
18376x	–	22.39	37.53	22.88	–	–	11.33	–	–	4.88	99.01
18361h	–	21.26	35.75	21.44	0.31	0.38	12.25	1.71	–	1.11	94.21
Хлорит											
18376b'	19.78	19.65	28.51	–	–	0.70	21.87	–	–	1.10	91.62
18376y	15.34	17.81	26.74	–	–	0.71	26.30	–	–	2.65	89.55
18362i	20.23	16.26	30.48	–	–	0.46	19.46	1.25	–	1.94	90.08
18362k	21.36	16.29	31.15	–	0.45	0.4	15.77	1.55	–	1.61	88.59
18361i	24.40	21.3	29.95	–	0.46	0.31	13.52	2.28	–	1.27	93.49
18361j	21.42	20.16	29.24	–	0.32	0.41	14.73	2.00	–	1.24	89.52
18361o	20.33	19.03	30.73	–	0.43	0.36	16.25	1.46	0.88	2.89	92.36
18361q	22.15	19.55	29.95	–	0.41	0.37	17.55	1.37	–	1.42	92.77
Слюда											
Анализ	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	V ₂ O ₅	MnO	FeO	ZnO	CuO	Ga ₂ O ₃	Сумма
18361n	2.65	24.60	45.29	9.52	0.54	–	3.39	0.85	1.75	1.56	90.15

Галлийсодержащий эпидот редко встречается в новообразованном сфалерите сульфидных брекчий (см. рис. 7а, в). Минерал образует сглаженно-угловатые включения размером до 20 мкм в ассоциации с сульфидами или Ga-содержащим хлоритом и кварцем. В некоторых зернах отмечаются мельчайшие включения кварца. Содержания Ga_2O_3 в эпидоте достигают 4.88 мас. % (см. табл. 4).

Редкие включения альбита (до 50 мкм) в сульфидах также содержат примесь Ga_2O_3 (0.45–1.52 мас. %).

Заключение

Таким образом, богатые медно-цинковые руды Ново-Шемурского месторождения представлены рудными брекчиями и мелкообломочными сульфидными турбидитами различного минерального состава. Повышенные содержания Zn (до 10 %) и Cu (до 6 %) в брекчиях связаны с присутствием обломков халькопирит-сфалеритовых и сфалеритовых труб черных курильщиков, а также аутигенного сфалерита в мелкообломочной матрице. Мелкообломочные сульфидные турбидиты, в большей степени подверженные придонным постседиментационным преобразованиям, почти полностью сложены новообразованным сфалеритом; в них редко присутствуют обломки гидротермальных руд. Содержание Zn в них достигает 20–40 %.

Индикаторными акцессорными минералами для сульфидных брекчий являются электрум, ютенбогаардит, теннантит (Ag до 3.52 мас. %), Ag- и Se-содержащий галенит (Se до 1.7 мас. %) и энаргит. В составе сульфидных турбидитов установлены Ag-содержащий галенит, магнетит, арсенипирит, тетраэдрит и касситерит в виде включений в новообразованных сульфидах. Присутствие перечисленных акцессорных минералов привело к повышенным содержаниям Au, Ag, As, Pb, Sb и других элементов в рудах. Их источником являлись обломки гидротермальных руд, например, труб черных курильщиков (Сафина и др., 2018).

Медно-цинковые руды Ново-Шемурского месторождения отличаются от других промышленных типов высокими содержаниями Ga и присутствием Ga-содержащих минералов. Высокие концентрации Ga, наряду с Zn, Cd, In и Sb, характерны для брекчий, а аномальные (до 600 г/т) – для полосчатых пирит-сфалеритовых руд. Предполагается, что разложение обломков труб палеокурильщиков, обогащенных Ga, при формировании мелкообло-

мочных сульфидных диагенитов, привело к высвобождению элемента и его накоплению в сфалерите, халькопирите и других минералах. Галлий также сорбировался первичными глинистыми минералами, являющимися цементом для рудокластов и преобразованными в Ga-содержащие хлориты, слюды и эпидот. Установление повышенных содержаний Ga и его минеральных форм актуально из-за растущего использования Ga в высокотехнологичных областях промышленности и его отнесением к категории критического сырья (Erdmann, Graedel, 2011).

Таким образом, вариации Cu, Zn и других рудных элементов в богатых медно-цинковых рудах Ново-Шемурского месторождения связаны с изменчивостью минерального состава рудокластитов. Минеральные ассоциации, установленные в дистальных турбидитах и диагенитах, отличаются от таковых в сульфидных брекчиях. Полученные результаты необходимо учитывать при переработке руд для повышения рационального использования месторождения.

Авторы благодарят И.А. Блинова, Ю.Д. Крайнева, Р.З. Садыкову за помощь в работе. Минералого-геохимические исследования поддержаны проектом Президиума УрО РАН № 18-5-5-48, полевые работы проведены в рамках госбюджетной темы № АААА-А16-116021010244-0.

Литература

Аюпова Н.Р. (2016) Минералы висмута в госсанитах Александринского медно-цинково-колчеданного месторождения (Южный Урал). Наука ЮУрГУ. Материалы 68-й научной конференции. Челябинск, ЮУрГУ, 261–264.

Аюпова Н.Р., Масленников В.В., Котляров В.А., Масленникова С.П., Данюшевский Л.В., Ларж Р. (2017) Минералы селена и индия в зоне субмаринного гипергенеза колчеданной залежи Молодежного медно-цинково-колчеданного месторождения, Южный Урал. *Доклады академии наук*, **473**(2), 190–194.

Злотник-Хоткевич А.Г. (1984) Минеральные продукты палагонитизации субмаринных базальтов и их роль в образовании и локализации колчеданных руд. В кн.: *Метасоматизм и рудообразование*. Москва, Наука, 160–172.

Контарь Е.С. (2013) Геолого-промышленные типы месторождений меди, цинка, свинца на Урале (геологические условия размещения, история формирования, перспективы). Екатеринбург, 199 с.

Кусков В.Н. (1983) Структура Шемурского рудного поля (Северный Урал). В сб.: *Геология, поиски и*

разведка месторождений рудных полезных ископаемых. Иркутск, 76–81.

Лонгинов В.В. (1973) Очерки литодинамики океана. М., Наука, 243 с.

Масленников В.В. (2006) Литогенез и колчеданообразование. Миасс, ИМин УрО РАН, 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. (2014) Токсичные элементы в колчеданообразующих системах. Миасс-Екатеринбург, УрО РАН, 340 с.

Масленников В.В., Зайков В.В. (1991) О процессах придонного разрушения и окисления сульфидных построек в палеоокеанических структурах. В сб.: Кремнисто-железистые отложения колчеданосных районов. Свердловск, УрО АН СССР, 211–226.

Масленников В.В., Зайков В.В. (2006) Метод рудно-фациального анализа в геологии колчеданных месторождений. Челябинск, ЮУрГУ, 224 с.

Прокин В.А., Буслаев Ф.П., Исмагилов М.И. и др. (1988) Медноколчеданные месторождения Урала: Геологическое строение. Свердловск: УНЦ АН СССР, 241 с.

Санкович П.П., Киркин Э.В., Кусков В.Н. (1986ф) Ново-Шемурское медноколчеданное месторождение на Северном Урале. Отчет о результатах геологоразведочных работ с 1976 г. по 1986 г. с подсчетом запасов по состоянию на 1.09.86 года. Ивдель, Т. 1, 285 с.

Сафина Н.П., Аюпова Н.Р. (2017) Диагенетический бурнонит из кластогенных руд Сафьяновского медно-цинково-колчеданного месторождения, Средний Урал. *Записки РМО*, CXLVI(2), 73–87.

Сафина Н.П., Аюпова Н.Р., Масленников В.В., Целуйко А.С. (2018) Текстурно-структурные и минеральные особенности рудных фаций Ново-Шемурского колчеданного месторождения, Северный Урал. *Металлогения древних и современных океанов-2018. Вулканизм и рудообразование*. Миасс: ИМин УрО РАН, 97–100.

Сафина Н.П., Масленников В.В. (2009) Рудокластиты колчеданных месторождений Яман-Касы и Сафьяновское (Урал). Миасс, УрО РАН, 260 с.

Целуйко А.С., Масленников В.В., Артемьев Д.А. (2018) Микротопохимия конкреций пирита в кремнистых алевропелитах Юбилейного медноколчеданного месторождения (Южный Урал) по данным ЛА-ИСП-МС. *Литосфера*, 4(91), 621–641.

Ayupova N.R., Maslennikov V.V., Tessalina S.G., Shilovsky O.P., Sadykov S.A., Hollis S.P., Danyushevsky L.V., Safina N.P., Statsenko E.O. (2017) Tube fossils from gossanites of the Urals VHMS deposits, Russia: Authigenic mineral assemblages and trace element distributions. *Ore Geology Reviews*, 85, 107–130.

Ayupova N.R., Melekestseva I.Yu., Maslennikov V.V., Tseluyko A.S., Blinov I.A. (2018) Uranium accumulation in modern and ancient Fe-oxide sediments: examples from

the Ashadze-2 hydrothermal sulfide field (Mid-Atlantic Ridge) and Yubileynoe massive sulfide deposit (South Urals, Russia). *Sedimentary Geology*, 367, 164–174.

Erdmann L., Graedel T.E. (2011) Criticality of non-fuel minerals: a review of major approaches and analyses. *Environmental Science and Technology*, 45, 7620–7630.

References

Ayupova N.R. (2016) [Bi minerals in gossanites of the Aleksandrinskoe massive sulfide deposit (South Urals)]. *Nauka YUUrGU. Materialy 68-y nauchnoy konferentsii [Science of SUSU. Materials of the 68th Scientific Conference]*. Chelyabinsk, SUSU, 261–264. (in Russian)

Ayupova N.R., Maslennikov V.V., Kotlyarov V.A., Maslennikova S.P., Danyushevskiy L.V., Large R. (2017) Selenium and indium minerals in the zone of submarine hypergenesis of the Molodezhnogo massive sulfide deposit, South Ural. *Doklady akademii nauk [Doklady Earth Sciences]*, 473(2), 190–194.

Ayupova N.R., Maslennikov V.V., Tessalina S.G., Shilovsky O.P., Sadykov S.A., Hollis S.P., Danyushevsky L.V., Safina N.P., Statsenko E.O. (2017) Tube fossils from gossanites of the Urals VHMS deposits, Russia: Authigenic mineral assemblages and trace element distributions. *Ore Geology Reviews*, 85, 107–130.

Ayupova N.R., Melekestseva I.Yu., Maslennikov V.V., Tseluyko A.S., Blinov I.A. (2018) Uranium accumulation in modern and ancient Fe-oxide sediments: examples from the Ashadze-2 hydrothermal sulfide field (Mid-Atlantic Ridge) and Yubileynoe massive sulfide deposit (South Urals, Russia). *Sedimentary Geology*, 367, 164–174.

Erdmann L., Graedel T.E. (2011) Criticality of non-fuel minerals: a review of major approaches and analyses. *Environmental Science and Technology*, 45, 7620–7630.

Kontar E.S. (2013) [Geological and economic types of Cu, Zn and Pb deposits of the Urals: geological setting, genesis, prospects]. Yekaterinburg, 199 p. (in Russian)

Kuskov V.N. (1983) [Structure of the Shemur ore field (Northern Urals)] / *Geologiya, poiski i razvedka mestorozhdeniy rudnykh poleznykh iskopayemykh [Geology, prospecting and exploration of mineral deposits]*. Irkutsk, 76–81. (in Russian)

Longinov V.V. (1973) [Sketches of ocean lithodynamics]. Moscow, Nauka, 243 p. (in Russian).

Maslennikov V.V. (2006) [Lithogenesis and formation of massive sulfide deposits]. Miass, IMin UB RAS, 348 p. (in Russian).

Maslennikov V.V., Ayupova N.R., Maslennikova S.P., Tret'yakov G.A., Melekestseva I.Yu., Safina N.P., Belogub E.V., Large R.R., Danyushevsky L.V., Tseluyko A.S., Gladkov A.G., Kraynev Yu.D. (2014) [Toxic elements in massive sulfide systems]. Yekaterinburg, UB RAS, 340 p. (in Russian)

Maslennikov V.V., Zaykov V.V. (2006) [Method of ore-facial analysis in geology of massive sulfide deposits]. Chelyabinsk, South Urals State University, 224 p. (in Russian).

Maslennikov V.V., Zaykov V.V. (1991) [Seafloor erosion and oxidation of sulfide mounds in paleoceanic structures] / *Kremnisto-zhelezistyye otlozheniya kolchedanonosnykh rayonov [Silica-iron-rich sediments of VMS-bearing regions]*. Sverdlovsk: UB AS USSR, 211–226. (in Russian)

Prokin V.A., Buslaev F.P., Ismagilov M.I. et al. (1988) [Massive sulfide deposits of the Urals: geological structure]. Sverdlovsk: UB AS USSR, 241 p. (in Russian).

Sankovich P.P., Kirkin E.V., Kuskov V.N. (1986) [Novy Shemur massive sulfide deposit in the Northern Urals. Unpublished report on exploration results from 1976 to 1986, with reserves at 1.09.86]. Ivdel, Vol. 1, 285 p. (in Russian).

Safina N.P., Ayupova N.R. (2017) [Diagenetic bournonite (CuPbSbS₃) of clastic ores from the Saf'yanovka copper-zinc massive sulfide deposit, Central Urals]. *Zapiski RMO [Proceedings of Russian Mineralogical Society]*, **146**(2), 73–87. (in Russian)

Safina N.P., Ayupova N.R., Maslennikov V.V., Tseluiko A.S. (2018) Textural, structural and mineral peculiarities of ore facies of the Novy Shemur massive sulfide deposit, North Urals. *Metallogeniya drevnikh i sovremennykh okeanov-2018 [Metallogeny of ancient and modern oceans-2018]*. Miass, IMin UB RAS, 97–100. (in Russian)

Safina N.P., Maslennikov V.V. (2009) [Ore clastic sediments of the Yaman-Kasy and Saf'yanovka massive sulfide deposits, the Urals]. Miass, IMin UB RAS, 260 p. (in Russian).

Tseluyko A.S., Maslennikov V.V., Artemyev D.A. (2018) Microtopochemistry of pyrite nodules of siliceous siltstones from the Yubileinoe massive sulfide deposit (Southern Urals): LA-ICP-MS data. *Litosfera [Lithosphere]*, **4**(91), 621–641. (in Russian).

Zlotnik-Khotkevich A.G. (1984) [Mineral products of palagonitization of submarine basalts and their role in formation and localization of massive sulfide ores]. *Metasomatizm i rudoobrazovaniye [Metasomatism and ore formation]*. Moscow, Nauka, 160–172. (in Russian).

Статья поступила в редакцию 14 декабря 2018 г.