



СТРОЕНИЕ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

УДК 553.462:549.08:553.075 (571.5)

Рудно-метасоматическая зональность молибденовых рудопроявлений Тёплое 2 и Интрузивное Джетского рудного узла (Восточный Саян)

Сучков А. В.¹, Выдрич Д. Е.²

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н. М. Федоровского, г. Москва, Россия

² ООО «Полюс Геосервис», г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Молибденовое оруденение в Восточном Саяне представлено штокверковым, жильным и скарновыми типами оруденения. В статье рассматриваются молибденовые рудопроявления Джетского рудного узла Сисимо-Дивногорской минерагенической зоны, имеющие штокверковый тип оруденения. Джетский рудный узел расположен в 160 км на северо-восток от г. Абакана и в 150 км к югу от г. Красноярска. Изучение вещественного состава руд, рудовмещающих пород и околорудных метасоматитов, минеральных ассоциаций, морфологических типов рудных образований, их взаимоотношений и пространственного распределения показало, что рудно-метасоматическая зональность молибденовых рудопроявлений Тёплое 2 и Интрузивное Джетского рудного узла представлена метасоматическими изменениями пропилитового типа с наложенным на них в центральной части рудопроявлений прожилковым окварцеванием, несущим медно-молибденовую минерализацию.

Ключевые слова: молибден, рудная зональность, метасоматическая зональность, Джетский рудный узел.

Для цитирования: Сучков А. В., Выдрич Д. Е. Рудно-метасоматическая зональность молибденовых рудопроявлений Тёплое 2 и Интрузивное Джетского рудного узла (Восточный Саян). Руды и металлы. 2023. № 2. С. 78–89. DOI: 10.47765/0869-5997-2023-10010.

Alteration-mineralization zonality of the Teploe 2 and Intruzivnoe molybdenum prospects in the Djetsky ore cluster, Eastern Sayan

Suchkov A. V.¹, Vydrich D. E.²

¹ FSBI VIMS, Moscow, Russia

² ООО Polyus Geoservis, Saint Petersburg, Russia

Annotation. Molybdenum mineralization in the Eastern Sayan is represented by the stockwork, vein, and skarn types. The article is devoted to molybdenum ore occurrences of the Dzhetsky ore cluster of the Sisim-Divnogorsk minerogenic zone, that are characterized by the stockwork type mineralization. The Dzhetsky ore cluster is located 160 km northeast of Abakan and 150 km south of Krasnoyarsk. The study included investigations of the host rocks, ores, and ore-accompanying metasomatic alterations; their mineral assemblages; and the morphological types, relationships, and spatial distribution of the ore segregations. It has been demonstrated that the alteration-mineralization zonality of the Teploe 2 and Intruzivnoe molybdenum prospects of the Dzhetsky ore cluster is represented by the propylite type metasomatic alterations that are superimposed in the central segments of the ore occurrences by veinlet silicification bearing copper-molybdenum mineralization.

Key words: molybdenum, mineralization zonality, alteration zonality, Dzhetsky ore cluster.

For citation: Suchkov A. V., Vydrich D. E. Alteration-mineralization zonality of the Teploe 2 and Intruzivnoe molybdenum prospects in the Djetsky ore cluster, Eastern Sayan. Ores and metals, 2023, № 2, pp. 78–89. DOI: 10.47765/0869-5997-2023-10010.



Джетский рудный узел находится в границах Сисимского рудно-россыпного района Сисимо-Дивногорской золото-молибден-полиметаллической минерагенической зоны в западной части Восточного Саяна. Размещение узла в региональном плане контролируется зоной влияния крупных батолитов щелочных гранитоидов буюдзульского комплекса и гранитоидов беллыкского комплекса раннепалеозойского возраста, структурно-геологическая позиция узла в локальном плане определяется опережающей системой разломов Восточно-Саянского регионального взбросо-надвига, полями развития пород лысанской и манской свит позднерифейского возраста, прорванных штоками и дайками гранитоидов буюдзульского интрузивного комплекса ордовикского возраста.

В южной части Джетского рудного узла выделяется рудное поле Тёплое, в котором известны молибденовые рудопроявления Тёплое 1, Тёплое 2, Интрузивное, Восточное, Тёплое 3, а также золотое рудопроявление Пьеровское [1, 2].

Для установления рудно-метасоматической зональности рудопроявлений Тёплое 2 и Интрузивное Джетского рудного узла был изучен вещественный состав руд, рудовмещающих пород и околорудных метасоматитов. При проведении исследований применялся комплекс минералого-петрографических и электронно-зондовых исследований, позволивший установить в шлифах и аншлифах взаимоотношения различных рудных минералов и прожилков. Образцы горных пород были получены в ходе полевых работ, выполненных в тесном содружестве Саянской ГРП ОАО «Минусинская ГРЭ» АО «Сибирское ПГО» с ФГБУ «ВИМС» в 2015–2017 гг.

Околорудные изменения на рудопроявлениях Тёплое 2 и Интрузивное представлены метасоматическим окварцеванием, мусковитизацией (рис. 1, а), серицитизацией, альбитизацией, хлоритизацией, прожилково-жилковым окварцеванием, карбонатизацией, сульфидизацией. Из метасоматических пород выявлены плагиоклаз-кварц-мусковит-актинолит-тремолитовые образования (см. рис. 1,

б–е), которые развивались по терригенным породам лысанской свиты при внедрении штоков.

Сланцы лысанской свиты на большой площади ороговикованы, часто полностью превращены в роговики, сильно катаклазированы и подвергнуты гидротермальной проработке. В плане зона ороговикования имеет подковообразную форму и отвечает нескрытой части интрузивного массива. В пределах рудопроявлений Тёплое 2 и Интрузивное отмечаются кварц-хлорит-серицитовые, кварц-карбонат-серицитовые, кварц-хлорит-тремолитовые, кварц-актинолит-серицитовые и кварц-серицит-глинистые сланцы, в различной степени ороговикованные и динамометаморфизованные. Породы свиты являются благоприятной средой для образования метасоматитов с молибденовым и золото-сульфидным оруденением. Большая часть пород в штоках также раздроблена и в той или иной степени изменена гидротермальными процессами.

Минеральные отношения в метасоматитах колеблются в различных пределах. Так, процентные отношения минералов в шлифах составляют (%): для актинолита – 15–95, эпидота – 20–35, кварца – до 25, плагиоклаза – до 20, цоизита – до 10, биотита – до 10, рудных минералов – до 10, карбонатов – до 1–2.

Породы пронизаны многочисленными кварцевыми, кварц-сульфидными прожилками, серицитизированы, несут вкрапленность сульфидов. Сульфидная минерализация в разнонаправленных прожилках представлена молибденитом, пиритом, пирротинитом и халькопиритом. Количество кварцевых прожилков с молибденитовой минерализацией изменяется от 1–2 до 10–12 шт. на 1 пог. м. Мощность прожилков колеблется от десятых долей миллиметра до первых сантиметров, преобладают прожилки мощностью первые миллиметры.

Гипергенные процессы проявлены локально и выражены в виде окисления сульфидов до лимонита (гётит и гидрогётит) с образованием псевдоморфоз и редко с формированием пустот выщелачивания, а также развития гидроокислов железа (гидрогётит) по трещинам

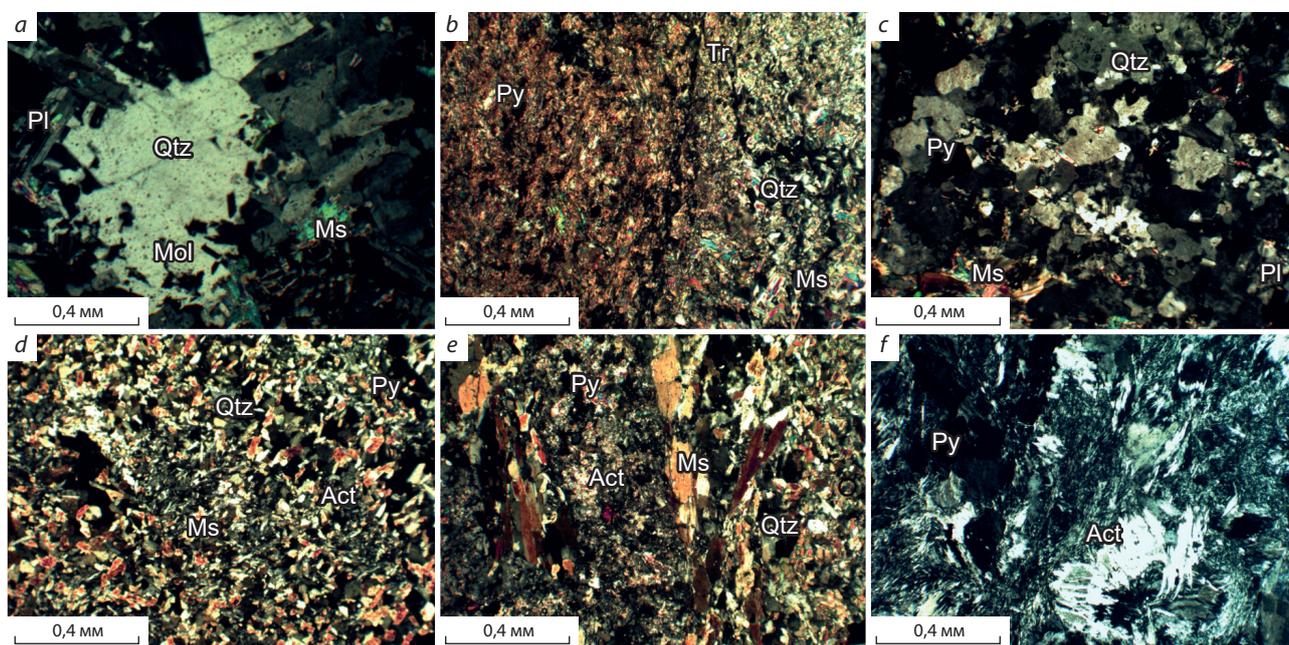


Рис. 1. Околорудные изменения рудовмещающих пород (изображение в проходящем свете с анализатором):

a – окварцевание и мусковитизация с молибденитом в монцодиорите; *b* – тремолит-кварц-мусковитовый кристаллический сланец; *c* – плагиоклаз-мусковит-кварцевый метасоматит; *d* – актинолит-мусковит-кварцевый кристаллический сланец; *e* – актинолит-мусковит-кварцевый кристаллический сланец; *f* – актинолитовая метасоматическая порода; Pl – плагиоклаз; Qtz – кварц; Mol – молибденит; Ms – мусковит; Py – пирит; Tr – тремолит; Act – актинолит

Fig. 1. Ore-accompanying hydrothermal alterations of the ore-hosting rocks (image in transmitted light, with analyzer):

a – silicification and muscovitization with molybdenite in monzodiorite; *b* – tremolite-quartz-muscovite schist; *c* – plagioclase-muscovite-quartz metasomatite; *d* – actinolite-muscovite-quartz schist; *e* – actinolite-muscovite-quartz schist; *f* – actinolite metasomatic rock; Pl – plagioclase; Qtz – quartz; Mol – molybdenite; Ms – muscovite; Py – pyrite; Tr – tremolite; Act – actinolite

в роговиках. Визуально наблюдаемая глубина развития гипергенных процессов по скважинам составляет до 30 м.

Руды проявлений Тёплое 2 и Интрузивное – вкрапленные, прожилково-вкрапленные, развитые по гранодиоритам, гранитам, роговикам и метасоматитам. Рудная минерализация в них представлена молибденитом, пиритом, реже халькопиритом, пирротинном, арсенипиритом, сфалеритом, галенитом, блёклыми рудами (тетраэдрит), магнетитом, шеелитом, минералами серебра (фрайбергит). Из вторичных минералов развит лимонит (гётит, гидрогётит), повеллит, марказит, гематит, ковеллин, молибдит, мельниковит.

Главные рудные минералы – молибденит, пирит, халькопирит, второстепенные – арсенипирит, сфалерит, галенит, магнетит, редко встречающиеся – блёклые руды, шеелит, минералы серебра.

Молибденит на проявлениях Джетского узла связан с жильно-прожилковым окварцеванием (рудным штокверком). Минерал выделяется в форме чешуек, листочков, пластинок размерами в пределах 0,001–1,7 мм. Они рассеяны редко или образуют скопления, линзочки, пучки, розетки, часто совместно с карбонатами.

Наиболее ранний средне-, крупночешуйчатый молибденит образует рассеянные мо-

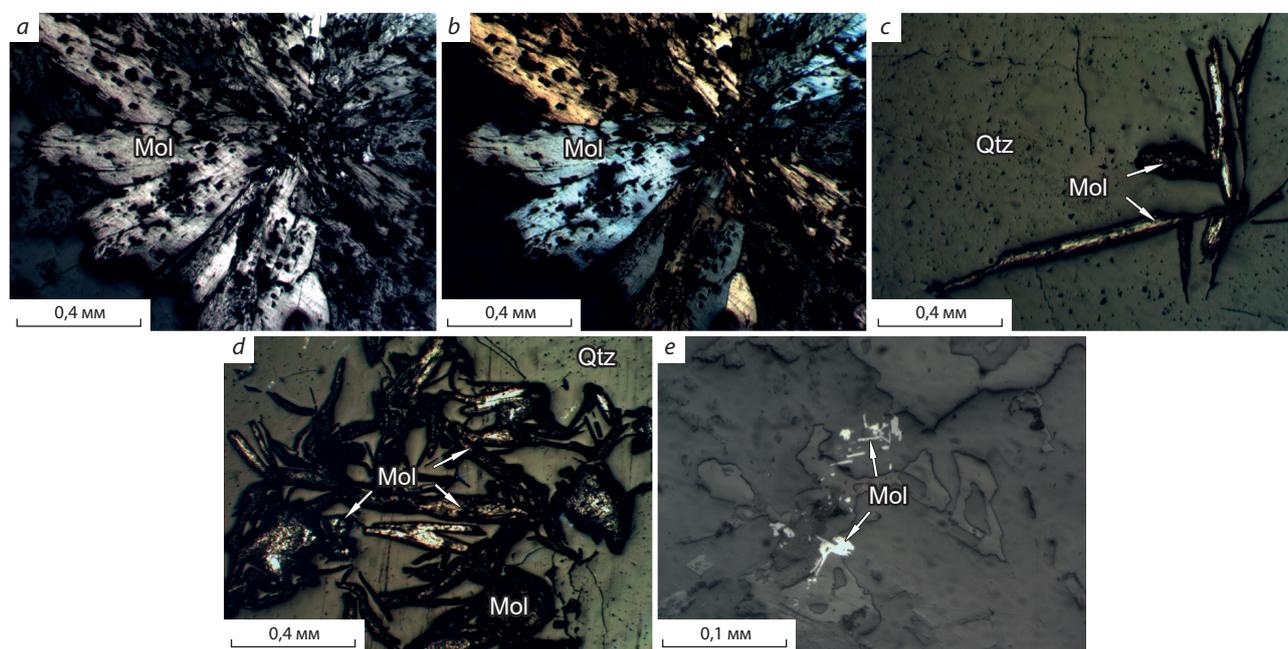


Рис. 2. Молибденовая минерализация в интрузивных породах и жилах (*a, c–e* – в отражённом свете без анализатора, *b* – с анализатором):

a, b – радиально лучистое включение молибденита в граните; *c* – включения среднечешуйчатого молибденита в кварцевой жиле; *d* – гнездо молибденита в кварцевой жиле; *e* – включения мелкочешуйчатого молибденита в монцодиорите; остальные усл. обозн. см. рис. 1

Fig. 2. Molybdenum mineralization in intrusive rocks and veins (*a, c–e* – in reflected light, without analyzer, *b* – with analyzer):

a, b – radially radiant molybdenite inclusion in granite; *c* – medium-scaled molybdenite inclusions in a quartz vein; *d* – molybdenite nest in a quartz vein; *e* – fine-scaled molybdenite inclusions in monzodiorite; see fig. 1 for legend

номинеральные агрегаты в гранитах и кварцевых жилах. Зоны с рассеянной вкрапленной минерализацией в гранитах распространены довольно широко. Формы агрегатов молибденита – вкрапленность и гнезда. Размеры отдельных чешуек обычно колеблются от 0,5 до 3 мм, размеры отдельных выделений – от нескольких миллиметров до первых сантиметров (рис. 2).

Молибденит, связанный со штокверковым окварцеванием (рудным штокверком), образует неравномерно вкрапленные, гнездово-вкрапленные и прожилково-вкрапленные текстуры руд. Представлен радиально-лучистыми, розетковидными сростаниями и единичными тонкодисперсными, реже мелкими чешуйками. Размеры агрегатов в среднем $1,0 \times 2,5$ мм,

отдельных пластинок молибденита от $0,002 \times 0,01$ до $0,03 \times 0,26$ мм.

В жильном кварце мелкочешуйчатый молибденит встречается в виде единичных чешуек и радиально-лучистых сростаний (размер чешуек от 0,02 до 1 мм). Часто встречаются чешуйки молибденита, вытянутые параллельно простиранию, или перпендикулярно к зальбандам кварцевых прожилков. Метасоматические прожилки молибденита развиты в кварцевых прожилках по одному или обоим зальбандам. Некоторые прожилки отходят во вмещающую боковую породу. Мощность прожилков колеблется, нередко они прерываются, часто молибденит выполняет центральную часть кварцевых прожилков.

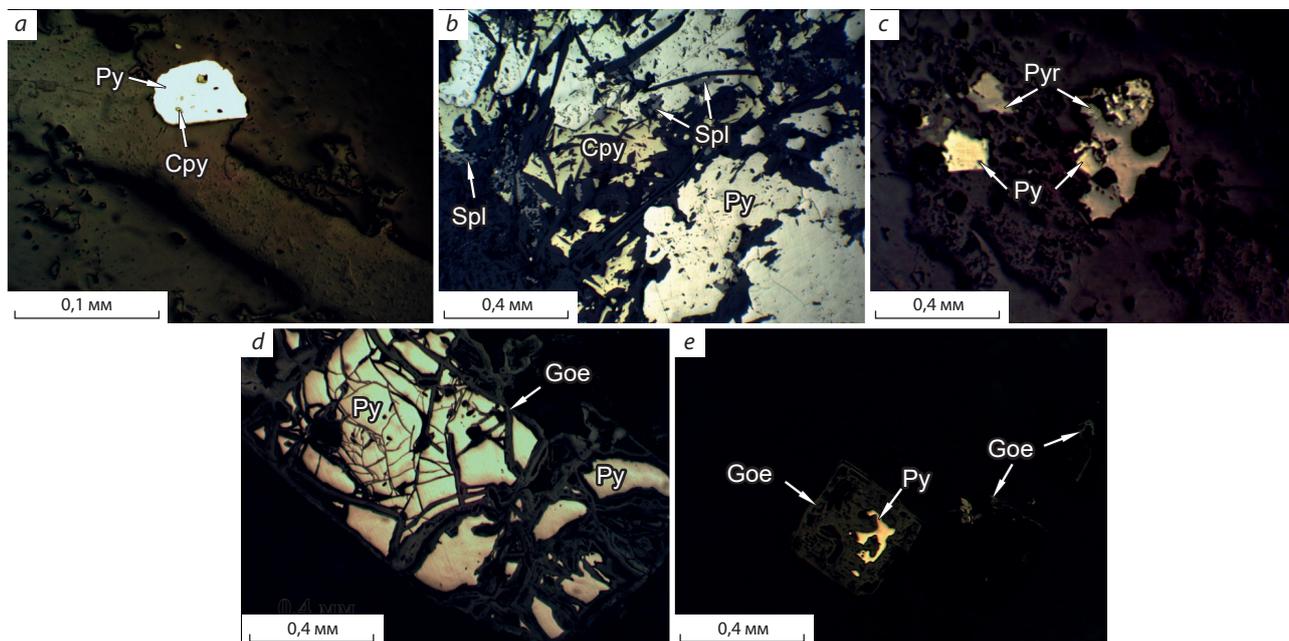


Рис. 3. Характер сульфидной минерализации в рудовмещающих породах и жилах (изображение в отражённом свете без анализатора):

a – пирит с включениями халькопирита в карбонат-кварцевом прожилке; *b* – развитие сфалерита совместно с халькопиритом по периферии пирита в роговике; *c* – пирротин, замещённый пиритом; *d* – замещение пирита гётитом; *e* – псевдоморфоза гётита по пириту; Cpy – халькопирит; Spl – сфалерит; Goe – гётит; остальные усл. обозн. см. рис. 1

Fig. 3. Appearance of sulfide mineralization in ore-hosting rocks and veins (image in reflected light, without analyzer):

a – pyrite with inclusions of chalcopyrite in a carbonate-quartz veinlet; *b* – sphalerite together with chalcopyrite, developed along rims of pyrite in hornfels; *c* – pyrrhotite replaced by pyrite; *d* – replacement of pyrite by goethite; *e* – goethite pseudomorph after pyrite; see fig. 1 for legend

Тонкочешуйчатый и тонкодисперсный молибденит с размером чешуек в тысячные доли миллиметра наблюдается в прожилках тёмно-серого среднезернистого кварца в виде розеток и единичных зёрен, разбросанных хаотично. Рассеянная вкрапленность такого молибденита в кварце придаёт последнему голубоватые оттенки.

Встречаются редкие мономинеральные прожилки молибденита мощностью 1–3 мм, редко до 10 мм. Каких-либо гидротермальных изменений, связанных с ними, не наблюдается, часто по мономинеральным прожилкам сажистого молибденита наблюдаются зеркала скольжения.

Иногда молибденит присутствует в пирите в виде единичных изогнутых тонкочешуйчатых метакристаллов таблитчатой и прямоугольной форм размером 0,005 × 0,02 мм.

В зонах окисления молибденит легко поддается гипергенным изменениям, образуя порошковатые, иногда мелкокристаллические налёты повеллита.

Пирит выделяется в виде рассеянной вкрапленности мелких идиоморфных зёрен, многочисленных скоплений, микропрожилков (рис. 3, *a, b*). Размеры зёрен и выделений 0,01–5 мм и более. В кварц-сульфидных прожилках образует крупные скопления преимущественно в виде прожилков мощностью до 5–7 мм. Довольно часто в пирите присутствует вкрапленность халькопирита, образующая изометрические и вытянутые выделения размером до 0,05 мм, редко крупнее. Часто он образует совместные скопления с халькопиритом, реже со сфалеритом. Редко пирит замещает пирротин (см. рис. 3, *c*). В зонах окисления вдоль трещин он замещён гётитом (см. рис. 3, *d, e*).



Халькопирит образует мельчайшие и более крупные выделения (от 0,01 до 1,5 мм), обычно неправильной формы, а также микропрожилки, линзочки. Гнездообразные включения встречаются как самостоятельно, так и в ассоциации с пиритом и сфалеритом. Нередко халькопирит выделяется совместно с карбонатами. Зёрна часто корродированы с неровными границами.

Халькопирит наблюдается также в сростании с пиритом, образуя структуры замещения и в виде мелких изометрических и вытянутых включений в пирите размером до 0,05 мм. В сфалерите халькопирит наблюдается в виде двух разновидностей: мелкой вкрапленности, образующей прерывистые цепочки различного направления без видимой блёклой руды, и небольших редких обособлений, сопровождаемых выделениями блёклой руды. По сравнению с пиритом халькопирит является более поздним образованием, так как формируется по периферии зёрен пирита.

Пирротин рассеян в отдельных мелких выделениях, реже – в более крупных, иногда совместно с пиритом, халькопиритом и сфалеритом. Форма его выделений удлиненно-таблитчатая, неправильная, размеры в пределах 0,01–0,5 мм. Пирротин более ранний минерал по сравнению с пиритом, так как по периферии замещается последним (см. рис. 3, с).

Сфалерит образует отдельные гнёзда совместно с галенитом, халькопиритом и пиритом. Форма его выделений неправильная, размеры отдельных зёрен в пределах 0,01–0,3 мм, границы неровные. Крупные зёрна содержат включения породообразующих минералов. Также в крупных аллотриоморфных скоплениях разнообразной формы отмечаются обособления блёклой руды и редкие мелкие включения галенита. Выделяются две разновидности сфалерита: первая с обособлениями и многочисленными тончайшими, подчиняющимися структурным линиям минерала просечками халькопирита и вторая, практически не содержащая халькопирит.

Относительно халькопирита сфалерит является более ранним, так как по периферии замещается халькопиритом, а относительно

пирита – более поздним, так как он развивается по периферии его зёрен.

Галенит образует гнездово-вкрапленные выделения, приуроченные к кварц-карбонатным прожилкам и жилам, размером до 5 × 10 мм. Форма их пятнообразная, угловатая с апофизами, развитыми вдоль трещин. Границы резкие, довольно ровные, местами микрошероховатые.

Галенит фиксируется в двух ассоциациях: с пиритом (рис. 4, b, c) и со сфалеритом (см. рис. 4, a), содержащим также включения пирита. В первом случае в агрегате пирита галенит образует тончайшие ветвящиеся просечки и многочисленные обособления различных размеров, а также выполняет промежутки между крупными кристаллами пирита с образованием агрегатов разнообразных форм и размеров, которые в краевой части и системе трещин подверглись замещению, по-видимому, вторичного минерала – сульфата свинца *англезита*. Во втором случае галенит в сростании с блёклой рудой (см. рис. 4, d), развиваясь по трещинам, корродирует сфалерит и образует аллотриоморфные выделения разнообразной формы.

Относительно пирита и сфалерита галенит является более поздним, так как развивается по периферии и трещинкам этих минералов.

Блёклые руды встречаются в кварц-карбонатных и кварц-сульфидных прожилках на периферии рудного штокверка совместно со сфалеритом, галенитом и редко – молибденитом, пирротинном и пиритом. Они часто замещают галенит, образуя вокруг него кокардовые структуры. Блёклая руда, представленная сурьмянистой разновидностью *те-траэдритом*, встречается в основном в ассоциации со сфалеритом, выполняя трещины между обособлениями минерала, замещая его в виде мельчайших обособлений. Во всех вышеотмеченных случаях арсенопирит присутствует обособленно. Значительно реже наблюдается его замещение блёклой рудой, которая активно развивается по трещинам в арсенопирите, корродирует его грани и заполняет ин-терстиции.

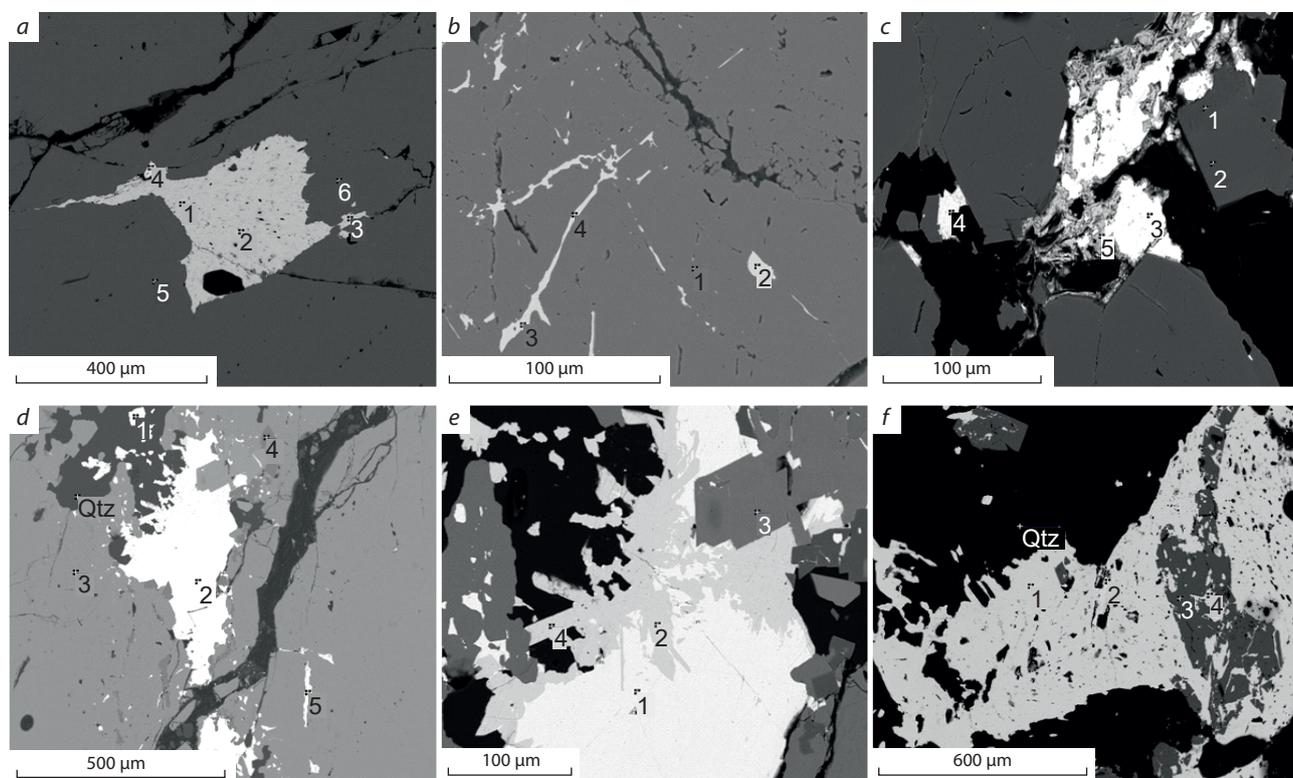


Рис. 4. Взаимоотношения минеральных агрегатов сульфидов в рудовмещающих породах и кварцевых жилах (изображение в обратно рассеянных электронах):

a – обособления блёклой руды (1, 2, 3) и мелкие включения галенита (4) в сфалерите (5, 6); *b* – просечки, обособления галенита (2, 3, 4) в пирите (1); *c* – блёклая руда (4) и галенит (3) в интерстициях кристаллов пирита (1, 4). Галенит замещён англезитом (5); *d* – галенит (2) по трещинам замещает сфалерит (3) с включениями пирита (4) и блёклой руды (5) в кварце – небольшие включения блёклой руды (1); *e* – агрегат галенита (1) и блёклой руды (2, 4) в ассоциации с кристаллами арсенопирита (3); *f* – мельчайшие включения галенита (2) в блёклой руде (1, 4) с реликтовыми кристаллами арсенопирита (3)

Fig. 4. Relationships of sulfide mineral aggregates in ore-hosting rocks and quartz veins (backscattered electron image):

a – segregations of fahlore (1, 2, 3) and small inclusions of galena (4) in sphalerite (5, 6); *b* – stringers, segregations of galena (2, 3, 4) in pyrite (1); *c* – fahlore (4) and galena (3) in interstices of pyrite crystals (1, 4). Galena is replaced by anglesite (5); *d* – galena (2) replaces, along fractures, sphalerite (3) with inclusions of pyrite (4) and fahlore (5), quartz contains small inclusions of fahlore (1); *e* – aggregate of galena (1) and fahlore (2, 4) in association with arsenopyrite crystals (3); *f* – the tiny inclusions of galena (2) in fahlore (1, 4) with relic crystals of arsenopyrite (3)

Более детальное изучение блёклой руды с помощью микрозондовых исследований выявило характер её взаимоотношения с редко встречаемым галенитом, а также со сфалеритом (см. рис. 4, *d–f*; рис. 5, *a–c*). Установлены взаимопрорастание блёклой руды и галенита, редкие мельчайшие включения галени-

та в блёклой руде, замещение блёклой руды сфалеритом и различные формы её обособлений в кварце.

Арсенопирит встречается преимущественно в виде отдельных кристаллов или их скоплений в кварце, реже в крупных выделениях пирита и сфалерита.

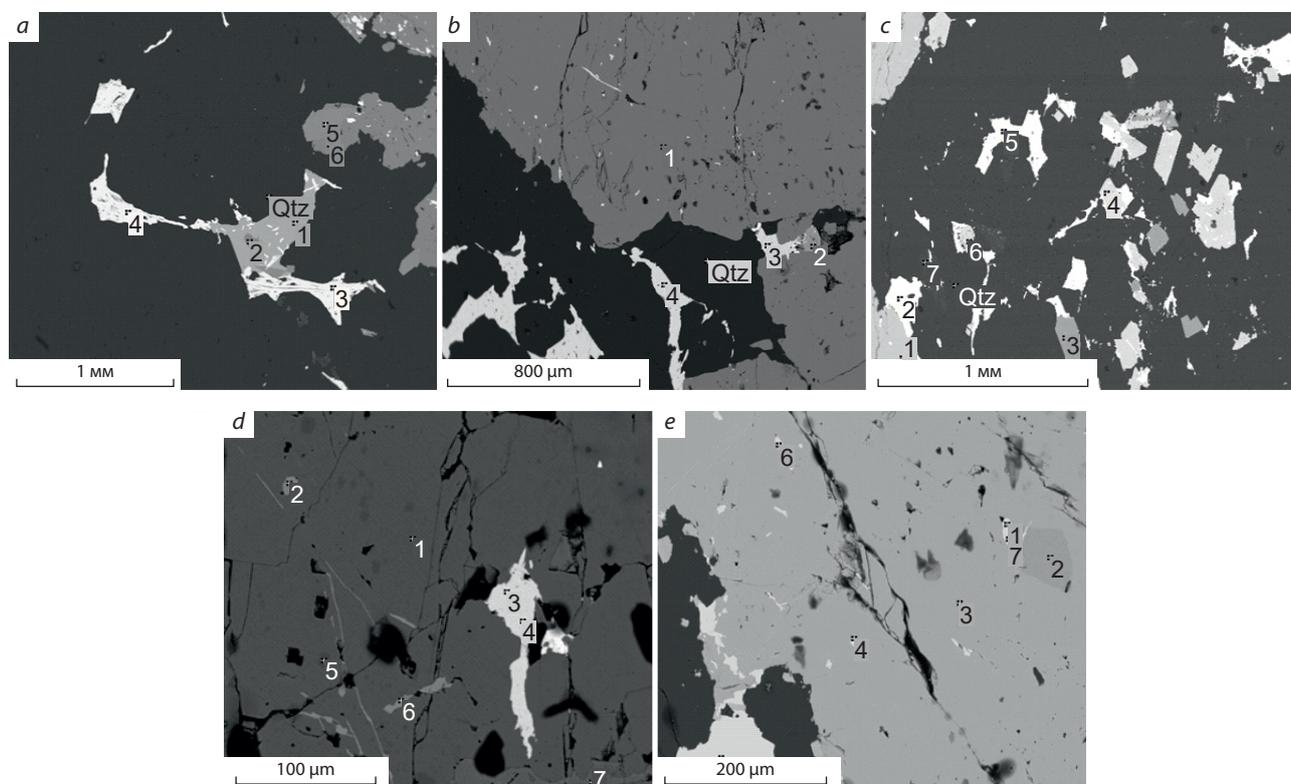


Рис. 5. Взаимоотношения минеральных агрегатов сульфидов в рудовмещающих породах и кварцевых жилах (изображение в обратно рассеянных электронах):

a – замещение сфалерита (2, 6) с зёрнами арсенопирита (5) блёклой рудой (3, 4), содержащей включения фрейбергита (1); *b* – обособления блёклой руды (4) в кварце. В сфалерите (1) блёклая руда (3) в сростании с фрейбергитом (2); *c* – отдельные кристаллы арсенопирита (4, 6), пирита (3) и выделения блёклой руды (2, 5) и сфалерита (1), а также неидентифицированного вторичного минерала (7); *d* – мелкие выделения фрейбергита (2, 6) в сфалерите (1) в ассоциации с блёклой рудой (3, 4). Здесь же – мельчайшие включения халькопирита (5); *e* – микронные выделения фрейбергита (1, 7) в сфалерите (3) с обособлениями блёклой руды (4, 5) и халькопирита (2)

Fig. 5. Relationships of sulfide mineral aggregates in ore-hosting rocks and quartz veins (backscattered electron image):

a – replacement of sphalerite (2, 6) with grains of arsenopyrite (5) by fahlore (3, 4) containing inclusions of freibergite (1); *b* – segregation of fahlore (4) in quartz. In sphalerite (1) fahlore (3) intergrown with freibergite (2); *c* – individual crystals of arsenopyrite (4, 6), pyrite (3) and segregations of fahlore (2, 5) and sphalerite (1), as well as an unidentified secondary mineral (7); *d* – small freibergite segregations (2, 6) in sphalerite (1) in association with fahlore (3, 4), neighboring are the tiny inclusions of chalcopyrite (5); *e* – micron-sized segregations of freibergite (1, 7) in sphalerite (3) with segregations of fahlore (4, 5) and chalcopyrite (2)

Минералы серебра представлены *фрейбергитом* – разновидностью блёклой руды тетраэдрита, содержащей до 20,75 % серебра. Фрейбергит отмечается в обособлениях сфалерита, находясь в сростании с блёклой рудой, но чаще образует вблизи неё самостоя-

тельные выделения микронных размеров. Форма выделений фрейбергита различная, но чаще – овальная (см. рис. 5, *d, e*).

Шеелит встречается спорадически в кварцполевошпатовых прожилках и метасоматитах в виде изометрических включений размером

до 3 мм, редко в виде нитевидных прожилков или примазок по трещинам. Содержание минерала в породах не превышает 1 %.

Для рудопроявлений Тёплое 2 и Интрузивное по результатам проведённых исследований (с учётом литературных данных [2]) предлагается следующая этапность и стадийность минералообразования: гидротермально-метасоматический этап, который подразделяется на рудоподготовительную, предрудную, рудную и пострудную стадии, и гипергенный этап.

Наиболее ранняя *рудоподготовительная стадия* гидротермально-метасоматического этапа связана с контактово-метасоматическими изменениями пород лысанской свиты при воздействии на них штоков гранитоидов, предположительно буюдзульского комплекса. На этой стадии в роговиках образовалась вкрапленность пирита, пирротина и халькопирита с отдельными и редкими включениями сфалерита.

С *предрудной стадией* связано формирование кварц-пирротин-пиритовых прожилков с редкой вкрапленностью в них шеелита, сфалерита, арсенопирита, кубанита, а также минералов висмута. Кварц-пирротин-пиритовые образования секутся кварц-молибденитовыми прожилками [4].

Рудная стадия связана с двумя подстадиями кварц-молибденитовой минерализации. С первой, более ранней подстадией связаны прожилки серого кварца с мелкочешуйчатым молибденитом в зальбандах, их мощность составляет до 2 см. В ассоциации с молибденитом отмечаются пирит, магнетит, рутил, переотложенный пирротин, халькопирит, сфалерит. Из нерудных минералов наряду с кварцем развиты альбит, калиевый полевой шпат, серицит, кальцит. Со второй подстадией связаны маломощные мономинеральные прожилки молибденита, секущие ранние кварц-молибденитовые.

С *пострудной стадией* связаны жилы и прожилки с кварц-карбонат-полиметаллической минерализацией: пиритом, сфалеритом, халькопиритом, галенитом. В количественном отношении им уступают блёклая руда,

станнин, буланжерит. В конце стадии произошло образование метакристаллов арсенопирита и пирита.

В *гипергенный этап* были образованы вторичные минералы: по пириту развиваются гётит и гидрогётит, по пирротину – мельниковит и марказит, по магнетиту – гематит, по халькопириту – ковеллин, по молибдениту – молибдит и повеллит.

Минералогическая зональность штокверка установлена вокруг штоков порфиroidных гранитоидов. Минералогическая зональность не имеет чётко выраженных границ и представлена в ядерной части пирит-молибденитовой минерализацией, которая далее сменяется молибденит-пирит-пирротиновой; на периферии развита пирротин-халькопиритовая минерализация, нередко отмечается галенит. Существенно пирротиновая минерализация с пиритом и халькопиритом выходит за пределы рудного штокверка (рис. 6).

На изученных рудопроявлениях наиболее распространены молибденит-пирит-пирротиновая с халькопиритом минерализация, в пределах которой обособляются области с преимущественно пиритовой минерализацией, образуя молибденит-пирротин-пиритовую минерализацию с халькопиритом.

Молибденит-пирит-пирротиновый и молибденит-пирротин-пиритовый типы минерализации отвечают образованиям рудной стадии гидротермально-метасоматического этапа и совпадают с первичными ореолами молибдена различной контрастности. Различие между этими типами минерализации заключается в полноте проявления пирротина в молибденит-пирит-пирротиновом типе и пирита, замещающего пирротин, в молибденит-пирротин-пиритовом типе минерализации. Выявленные типы близкосоизоморфны, нередко совмещаются в пространстве с образованием участков наиболее богатых молибденовых руд и конформны штокам порфиroidных гранитоидов.

Пирит-полиметаллическая минерализация располагается около границы существенно пирротиновой с молибденит-пирит-пирротиновой. Она проявлена весьма неравномерно

Табл. Обобщённая схема последовательности минералообразования рудопоявлений Тёплое 2 и Интрузивное

Tabl. Generalized diagram of the mineral formation succession for the Teploe-2 and Intrusivnoe ore occurrences

Минералы	Гидротермально-метасоматический этап				Гипергенный этап
	Стадия				
	рудоподготовительная	предрудная	рудная	пострудная	
Пирит	■	■	■	■	
Пирротин	—	■	■		
Халькопирит	—		■	■	
Сфалерит	—		■	■	
Кварц		■	■	■	
Шеелит		■			
Арсенопирит		■		■	
Кубанит		■			
Минералы висмута		■	■		
Молибденит			■		
Магнетит			■		
Рутил			■		
Альбит			■		
КПШ			■		
Серицит			■		
Кальцит			■		
Галенит			■	■	
Блёклая руда				■	
Станнин				■	
Буланжерит				■	
Арсенопирит				■	
Гётит, гидрогётит				■	
Мельниковит					■
Марказит					■
Гематит					■
Ковеллин					■
Молибдит					■
Повеллит					■
Морфологический тип оруденения	Вкрапленный	Прожилковый, вкрапленный	Жильно-прожилковый	Гнездово-вкрапленный, прожилковый	

ротиновой минерализации в зоне прожилкового окварцевания на глубине можно ожидать молибденовую минерализацию, в том числе не выходящую на поверхность.

В обобщённом виде схема рудно-метасоматической зональности следующая: в центре

кварцевого штокверка находится молибденит-пиритовая минерализация, которая сменяется зоной развития молибденит-пирротин-пиритовой минерализации, а на периферии рудного штокверка – молибденит-пирит-пиротиновая. Халькопирит относится к сквоз-



ным минералам. Сфалерит и галенит развиты по флангам кварц-молибденитового штокверка, что типично для медно- и молибден-порфировых месторождений [3]. Образование основного объёма молибдена в штокверке связано с рудной стадией гидротермально-метасома-

тического этапа минералообразования. Метасоматиты в пределах рудопроявлений имеют эпидот-актинолит-хлорит-альбитовый состав, околорудные изменения – кварц-калишпат-мусковитовый и кварц-карбонат-серицит-хлоритовый.

Список литературы

1. Даценко В. М. О генетической связи молибденовых рудопроявлений Тёплый ключ с буюд-жульским монзонит-сиенитовым массивом // Геология и минеральные ресурсы Центральной Сибири. – Красноярск : КНИИГиМС, 2005. – Вып. 6. – С. 211–216.
2. Карасева Г. Г., Некос В. В., Куйбида С. В., Шведов Г. И. Молибден-порфировое месторождение Тёплый Ключ 2 (Восточный Саян) // Руды и металлы. – 1998. – № 3. – С. 33–41.
3. Попов В. С. Геология и генезис медно- и молибден-порфировых месторождений. – М. : Наука, 1977. – 203 с.
4. Семенова Н. В. Сравнительный рудно-геохимический анализ месторождений и рудопроявлений молибдена штокверкового типа на юге Красноярского края // Геология и геофизика. – 1991. – № 6. – С. 20–26.
5. Lowell J. D. Lateral and vertical mineralization zoning in porphyry ore deposits // *Economic Geology*. – 1970. – V. 65. – P. 373–408.
6. Sillitoe R. H. Porphyry copper systems // *Economic Geology*. – 2010. – V. 105, № 1. – P. 3–41.

References

1. Datsenko V. M. O geneticheskoi svyazi molibdenovykh rudoproyavlenii Teplyi klyuch s buedzhul'skim montsonit-sienitovym massivom [On the genetic relationship of molybdenum ore occurrences of the Teply Klyuch with the Buedzhul monzonite-syenite massif], *Geologiya i mineral'nye resursy Tsentral'noi Sibiri* [Geology and Mineral Resources of Central Siberia], Krasnoyarsk, KNIIGiMS Publ., 2005, V. 6, pp. 211–216.
2. Karaseva G. G., Nekos V. V., Kuibida S. V., Shvedov G. I. Molibden-porfirovye mestorozhdenie Teplyi Klyuch 2 (Vostochnyi Sayan) [The Teply Klyuch 2 porphyry Mo deposit, the Eastern Sayan], *Rudy i metally* [Ores and Metals], 1998, No 3, pp. 33–41. (In Russ.).
3. Popov V. S. Geologiya i genezis medno- i molibden-porfirovykh mestorozhdenii [Geology and genesis of copper and molybdenum-porphyry deposits], Moscow, Nauka Publ., 1977, 203 p.
4. Semenova N. V. Sravnitel'nyi rudno-geokhimicheskii analiz mestorozhdenii i rudoproyavlenii molibdena shtokverkovogo tipa na yuge Krasnoyarskogo kraja [Comparative ore-geochemical analysis of molybdenum deposits and ore occurrences of the stockwork type in the south of the Krasnoyarsk Territory], *Geologiya i geofizika* [Russian Geology and Geophysics], 1991, No 6, pp. 20–26. (In Russ.).
5. Lowell J. D. Lateral and vertical mineralization zoning in porphyry ore deposits, *Economic Geology*, 1970, V. 65, pp. 373–408.
6. Sillitoe R. H. Porphyry copper systems, *Economic Geology*, 2010, V. 105, No 1, pp. 3–41.

Сучков Александр Викторович (alexsandir@mail.ru)

специалист ¹

Выдрич Денис Евгеньевич

кандидат геол.-минерал. наук, старший геолог ²

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н. М. Федоровского, г. Москва, Россия;

² ООО «Полюс Геосервис», г. Санкт-Петербург, Россия