ПЕТРОЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ И МИНЕРАЛОГИЯ

УДК 553.412:549
DOI:10.23671/VNC.2019.2.31978

Серебряная минерализация месторождения Канджол (Северный Таджикистан)

Ф.А. Файзиев, к.г.-м.н.

Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии Академии наук Республики Таджикистан, Республика Таджикистан, 734063, г. Душанбе, ул. Айни, 267, e-mail: foteh81@mail.ru

Аннотация: В статье приводятся сведения о стадийности минерализации и даётся характеристика некоторых минералов месторождения Канджол. Отмечается, что образование минералов на месторождении происходило в 5 стадий: кварц-арсенопиритовую, полиметаллическую, медно-сурьмяную, кварц-кальцитовую с серебром и карбонатную. В ранней кварц-арсенопиритовой стадии серебро встречается в очень малых количествах и составляет от 20 до 30 г/т. Во второй полиметаллической стадии серебро отлагается вместе с галенитом и находится в его кристаллической решетке в виде изоморфной примеси. В галените среднее содержание серебра равно 4240 г/т. В третью медно-сурьмяную стадию образуется серебросодержащий тетраэдрит с содержанием серебра 5,7–20,20 мас. %. Концентрация серебра в сульфидах этой стадии составляет (г/т): в галенитах 2865, халькопиритах 330 и пиритах 358,7. Затем образуется наиболее продуктивная на серебро стадия – кварц-кальцитовая с серебром. Здесь серебро образует собственные минералы – пираргирит, аргентит, полибазит, самородное серебро, матильдит. Серебряные минералы встречаются в виде мономинеральных жил, прожилков и включений. Завершает процесс минералообразования на месторождении карбонатная стадия с кварцем, баритом и рудными минералами (галенит, сфалерит). Здесь серебро в небольших количествах содержится в сульфидах. В целом, для серебра продуктивны 2–4 стадии минералообразования. Основное количество серебра (60–70%) связано с 3-й стадией минерализации. В статье охарактеризованы собственно серебряные минералы – пираргирит, аргентит, самородное серебро, полибазит, миаргирит, сильванит, аргентоярозит, арсенаргентит, кераргирит, матильдит, а также тетраэдрит и галенит, несущие промышленную концентрацию серебра. Матильдит на месторождении описывается впервые.

Ключевые слова: Канджол, минерал, минерализация, самородное серебро, пираргирит, тетраэдрит, галенит, матильдит, ассоциация минералов, гипогенные и гипергенные минералы.

Для цитирования: Файзиев Ф.А. Серебряная минерализация месторождения Канджол (Северный Таджикистан). *Геология и Геофизика Юга России*. 2019; 9 (2): 69-82. DOI:10.23671/VNC.2019.2.31978.

Актуальность темы

Месторождение Канджол является одним из важных объектов серебряной минерализации в Карамазаре. Оно известно с древних времен, а в настоящее время отрабатывается Таджикско-Английским совместным предприятием «Нукрафом». Однако минералогия, особенно серебряных и сереброносных минералов на месторождении изучена недостаточно [Прокопенко, 1980; Тютин, Шафран, 1991; Borisenko et al., 2000; Moralev, Shatagin, 1993; Pavlova, Borovikov, 2010]. Представленная статья призвана в какой-то степени восполнить этот пробел.

Методика исследований

Основу работы составляют материалы, собранные автором во время полевых работ на месторождении с 2009 года по настоящее время. Пробы для исследования отбирались в шахтах, штольнях и кернах скважин. При выполнении работы автором описаны 21 шлиф и 15 аншлифов, проведены рентгеноструктурные анализы. На монофракциях рудных минералов выполнены 46 атомно-адсорбционныхи 68 электронно-зондовых анализов. В работе были также использованы результаты пробирных анализов производственных организаций.

Краткая геологическая характеристика месторождения

Месторождение Канджол входит в состав одноименного рудного поля и расположено на юго-восточных склонах Кураминского хребта [Турлычкин, 1972, Файзиев А., Файзиев Ф., 2015а]. Оно приурочено к тектоническому блоку, образованному на востоке Редкометалльным разломом, а на западе – Ограничивающим разломом (рис. 1). Однако основной структурой месторождения является Канджольский раз-

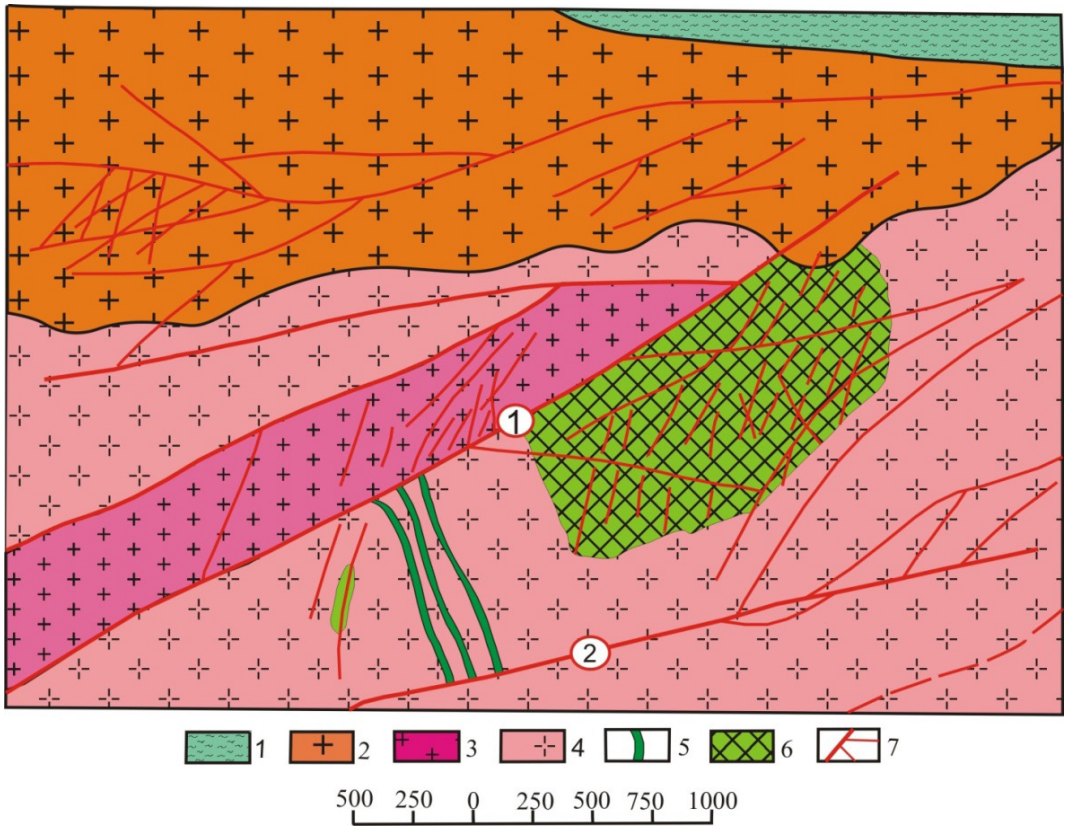

Рис. 1. Схематическая геологическая карта месторождения Канджол (по А.М. Бакланову, В.М. Турлычкину с изменениями и дополнениями автора). 1 – сланцы, 2 – граниты, 3 – порфировидные гранодиориты, 4 – гранодиориты, 5 – минерализованные жилы, 6 – оруденелые зоны, 7 – разломы и оперяющие трещины. Цифрами на схеме обозначены разломы: 1 – Канджольский, 2 – Ограничивающий. /

Fig. 1. Schematic geological map of the Kandzhol deposit (according to A.M. Baklanov, V.M. Turlychkin with changes and additions of the author). 1 – shale, 2 – granite, 3 – porphyritic granodiorite, 4 – granodiorite, 5 – mineralized veins, 6 – mineralized zones, 7 – fractures and feathering cracks. The numbers on the diagram indicate the faults: 1 – Kandzholsky, 2 – Bounding.

лом северо-восточного простирания (40–50°), падение северо-западное (70–85°С) [Файзиев А., Файзиев Ф., 2015б]. На местности он прослеживается около 12 км в виде отчётливо выраженной мощной зоны (от нескольких до десятков метров) дробленных каолинизированных пород. Зона Канджольского разлома имеет сложное внутреннее строение, а мощность ее возрастает с юго-запада на северо-восток. В районе Алчалыкана разлом образует четыре ветви, соединенные между собой более мелкими трещинами. Мощность зоны здесь колеблется от 70 до 100 м.

О стадийности образования минералов

Минерализация на месторождении сформировалась в пять стадий [Турлычкин, 1972]: кварц-арсенопиритовая, полиметаллическая, медно-сурьмяная, кварц-кальцитовая с серебром и карбонатная (кальцит, сидерит, родохрозит с кварцем и баритом). В ранней кварц-арсенопиритовой стадии серебро встречается в очень малых количествах. Атомно-адсорбционным методом в пиритах и арсенопиритах этой стадии обнаружено серебро соответственно 20 и 30 г/т.

Во второй полиметаллической стадии, серебро отлагается вместе с галенитом и находится в его кристаллической решетке в виде изоморфной примеси. В галенитах из этой стадии серебро составляет 4240 г/т (среднее из пяти определений), а в сфалеритах среднее содержание серебра достигает 82 г/т (среднее из 4). Галениты постоянно насыщены примесями тетраэдрита, пираргирита и аргентита.

В третью медно-сурьмяную стадию концентрация серебра в растворе увеличивается, в результате которой образуется серебросодержащий тетраэдрит, в котором содержится от 5,7 до 20 мас.% серебра. Содержание серебра (г/т) в сульфидах этой стадии составляет соответственно в галенитах 2865 (среднее из 10), халькопиритах 330 (6) и пиритах 358,7 (11). Затем наступает наиболее продуктивная на серебро стадия – кварц-кальцитовая с серебром. Серебро образует собственные минералы – пираргирит, аргентит, полибазит, самородное серебро, матильдит. Все эти серебряные минералы образуют значительные скопления в виде мономинеральных жил, прожилков и включений. Они накладываются на минералы ранних стадий.

Завершает процесс минералообразования на месторождении карбонатная стадия с кварцем, баритом и рудными минералами (галенит, сфалерит). Здесь серебро в небольших количествах содержится в сульфидах.

В целом, для серебра продуктивны 2–4 стадии минералообразования. В процентных отношениях количество серебра в первой стадии составляет от 1 до 3%, во второй – 5–7%, в третьей – 60–70%, в четвертой – 15–25%, а в последней – 0,7–1%.

Гипергенные процессы затронули месторождения до глубины 100–150 м от дневной поверхности [Турлычкин, 1972]. В приповерхностных частях до глубины 15 м расположена зона выщелачивания. Здесь содержание серебра низкое – 10–15 г/т. За ним идет зона окисленных руд. Она охватывает глубины от 20 до 150 м. В верхних частях этой зоны до глубины 50 м содержание серебра в рудах повышается и достигает 200–500 г/т. Ниже этой глубины до 100–150 м от поверхности окисленные руды переходят в полуокисленные. В этой части месторождения концентрация серебра имеет максимальное значение и достигает от 1000 до 6000 г/т. По мере углубления по вертикали окисленные минералы постепенно исчезают. Последние же, в свою очередь, сменяются первичными сульфидными минералами. Здесь содержание серебра колеблется в пределах 700–1000 г/т. На этом участке также появляется золото – до 0,5 г/т.

Серебро в зоне окисления присутствует главным образом в виде кераргирита, самородного серебра, аргентита, аргентоярозита. В окисленных рудах серебросны также минералы-сорбенты – лимонит, псиломелан, пиролюзит и глинистые минералы, содержание серебра в которых в 20–30 раз выше, чем в зоне выщелачивания [Турлычкин, 1971].

Отметим, что среднее содержание серебра на месторождении составляет 477,28 г/т. По запасам месторождение Канджол относится к средним.

Химический состав серебряных и серебросодержащих минералов

На месторождении Канджол обнаружены как гипогенные, так и гипергенные минералы серебра. Их всего 13 штук, из них 10 относятся к гипогенным, а 3 к гипергенным. К гипогенным минералам серебра относятся самородное серебро, электрум, сильванит, аргентит, пираргирит, прустит, полибазит, пираргирит, миаргирит, арсенаргентит, матильдит. Из гипергенных минералов установлены кераргирит, аргентоярозит, а также самородное серебро.Наряду с собственными минералами серебро обнаружено в галените и Ag-тетраэдрите.

Самородное серебро на месторождении Канджол встречается довольно часто. Установлены гипогенные и гипергенные разности самородного серебра.

Гипогенное самородное серебро встречается в кварцевых жеодах в виде крайне мелких (размером 0,007–0,02 мм) зерен в галените [Турлычкин, 1972] и в поздних прожилках с пираргиритом, аргентитом и другими минералами. Оно образует также проволочные выделения длиной 2-3 мм, представляющие собой сплетение мелких волосовидных образований в кварце, тончайшие пластинки, пленки, чешуйки и моховидные выделения в мелкокристаллическом галените. Самородное серебро имеет также округлую, реже грушевидную и угловато-округлую, в единичных случаях, дендритовидную форму (рис. 2). Иногда эти выделения наблюдаются в халькопирите 2 и тетраэдрите 1, на границе зерен халькопирита и бурнонита. В поздних карбонатных прожилках серебро образует крупные выделения ветвистой формы размером до 1 см или корочки (до 0,5 мм). Мелкие выделения серебра (0,012 мм) находятся в метаколлоидном пирите и в виде точек рассеяны в аргентите. В отдельных случаях констатировались тонкие (0,01 мм) и короткие (0,16 мм) прожилки

Рис. 2. Древовидное образование самородного серебра. Увел. 10^{x}. По В.М.Турлычкина. /

Fig. 2. Tree formation of native silver. Led. 10x. By V.M. Turlychkin.

серебра на границе зерен халькопирита и галенита. В одном случае вокруг зерна серебра была видна каемка аргентита.

Цвет минерала серебряно-белый с кремовым оттенком. При нажиме легко гнется.

Гипергенное самородное серебро установлено макроскопически в полуокисленных рудах. Оно наблюдается в мелких пустотах (размером 0,5–2 см), расположенных среди массивных тетраэдрит-галенитовых руд. В пустотах выщелачивания и на кристаллах церуссита серебро образует закрученные нитевидные и проволочные скопления, размером 0,2–1,5 см. Иногда в пустотках видны отдельные проволочки серебра. Здесь оно ассоциируется с церусситом, лимонитом, кераргиритом и аргентитом.

Электрум встречается не часто и, также как и самородное серебро, наблюдается в галените 2 в виде включений размером от 0,001 до 2 мм. Точно такие же выделения электрума наблюдались в галените 4 и на границе зерен галенита и кальцита. Иногда электрум и самородное серебро встречаются в одних и тех же зернах галенита. Они отличаются по цвету и травлением: серебро – бело-кремоватого цвета и не травится цианистым калием. Электрум слегка желтоватый и чернеет от цианистого калия. Микротвердость электрума 90–105 кг/мм^2 [Минералы Узбекистана, 1975]. Пробность колеблется от 650 до 700, в среднем 675.

Сильванит обнаружен И.П. Златогурской с соавторами микроскопически в шлифах в галените. Минерал образует прямоугольные зерна, треугольники или выделения неправильной формы размером 0,01–0,05 мм. Характерно резко повышенное двуотражение – 47,3. Цвет белый с желтоватым и коричневым оттенками.

Минерал сильно анизотропный, в скрещенных николях полностью не погасает, твердость ниже 1,7. По отражательной способности, твердости, двуотражению и анизотропии минерал определен как сильванит.

Аргентит встречается как в гипогенных, так и гипергенных рудах. Гипогенный аргентит макроскопически с трудом различается в кварцево-пираргиритовых прожилках. Цвет минерала черный со свинцовым блеском, ковок, черта серая.

Аргентит наблюдается в виде округлых эмульсионных выделений в галените размером 0,005–0,01 мм. Он с пираргиритом образует относительно крупные выделения длиной до 2-3 мм. Ассоциируется с пираргиритом, сфалеритом, самородным висмутом, чаще всего встречается в кальцитовых прожилках [Турлычкин, 1972]. Имеются самостоятельные скопления кристалликов аргентита в пустотах кальцитовых жил. Кристаллики его кубической формы с подчиненными гранями октаэдра. Аргентит иногда находится на границе блеклой руды и сфалерита. Изредка выделения аргентита в галените принимают очертания кубиков. Аргентит в отраженном свете серо-белого цвета, отражательная способность ниже, чем у галенита. Зерна его имеют обычно характерную буроватую пленку (от быстрого окисления) и исштрихованы (из-за низкой твердости минерала). Минерал анизотропен, внутренних рефлексов нет, при слабом прочерчивании стальной иглой наблюдается черта с заусенцами, иногда видны двойники.

Гипергенный аргентит чаще всего наблюдается в виде порошковатых землистых масс, очень редко – плотных кристаллических агрегатов. Наиболее значительные скопления этого минерала наблюдаются в пустотах выщелачивания, в низах зоны окисления, где содержание серебра за счет аргентита и прочих серебряных черней достигает нескольких процентов. Он ассоциирует с самородным серебром,

церусситом, халькозином и купритом. В аргентите наблюдаются удлиненные выделения самородного серебра.

Прустит обнаружен в единичных случаях. Образует мелкие редкие зерна (иногда вместе с пираргиритом) в галените. От пираргирита отличается более густо-синей окраской зерен в отраженном свете.

Пираргирит макроскопически встречается в виде мелких выделений размером 1-2 мм в кварц-кальцит-сульфидных и кварц-пираргиритовых прожилках, где выделения его достигают размера 1–5 см. Форма кристаллов призматическая (столбчатая), иногда отмечаются скаленоэдры и ромбоэдры, в отдельных случаях наблюдается штриховка на гранях кристаллов. Иногда прожилки пираргирита секут халькопирит, пирит и арсенопирит.

Хорошо образованные крупные кристаллы пираргирита (до 0,8 см) встречаются в друзовых пустотах в ассоциации с кристаллами галенита, сфалерита и полибазита. Кристаллы пираргиритаздесь призматического габитуса, часто образуют двойники и тройники прорастания. Длина кристалликов 1–3 мм, поперечное сечение 0,5 мм. На гранях $[11\bar{2}0]$ пираргирита наблюдается штриховка параллельно ребру $[1\bar{1}05]$ [Минералы, 1960].

Мелкие (0,005–0,01мм) включения пираргирита неправильной амебообразной формы встречаются в галените [Турлычкин, 1972]. Он ассоциирует с серым шестоватым кварцем, кальцитом, арсенопиритом 2, галеновисмутитом, саффлоритом и полибазитом.

В свежем изломе пираргирит темно-красного цвета. На изломе быстро тускнеет и становится темным с фиолетовым оттенком. В проходящем свете густокрасный. Блеск алмазный, хрупок, излом раковистый.

В некоторых пробах пираргирита определено повышенное количество золота, достигающее до 30 г/т. Видимого золота не обнаружено. По данным [Турлычкин, 1972] в пираргиритах отмечается золото, в количестве 7,5 г/т.

Состав пираргиритов месторождения Канджол(табл. 1) отличается от теоретического состава. Во всех анализах пираргиритов содержание серебра меньше теоретического (53,10 мас. %, против 59,76 мас. %), а сурьмы больше (29,16 мас. %, против 22,48 мас. %). В пираргиритах месторождения встречаются также медь от 0,1 до 1,02 мас. % (в среднем 0,43) и мышьяк от 0,30 до 0,65 мас. % (0,47). Наличие Cu обычно связано с механическими примесями, а As изоморфно замещает S.

Полибазит встречается крайне редко в друзовых пустотах совместно с пираргиритом. Кристаллы его размером до 2 мм, гексагонального облика, с характерной

Таблица 1. / Table 1.

Химический состав пираргирита, в мас. % /
The chemical composition of pyrargyrite, in wt. %

№№ проб / №№ sample	Ag	Sb	Cu	As	S	Сумма / Sum
1	51,90	30,74	0,1	0,32	17,36	100,42
2	55,81	24,45	1,02	0,62	17,42	99,32
3	52,10	30,74	0,30	0,30	17,36	100,80
4	52,60	30,74	0,30	0,65	17,36	101,65

Примечание: 1–3 – по нашим данным, 4 – по [Турлычкин, 1971].

штриховкой на гранях пинакоида. Цвет полибазита железно-черный, иногда в мелких осколках просвечивает густо красным.

Миаргирит редок, встречается он в виде мелких округлых и удлиненных выделений, размером 0,02–0,4 мм в галените, наряду с пираргиритом и аргентитом. Иногда миаргирит и пираргирит образуют совместные выделения. В одном слу-

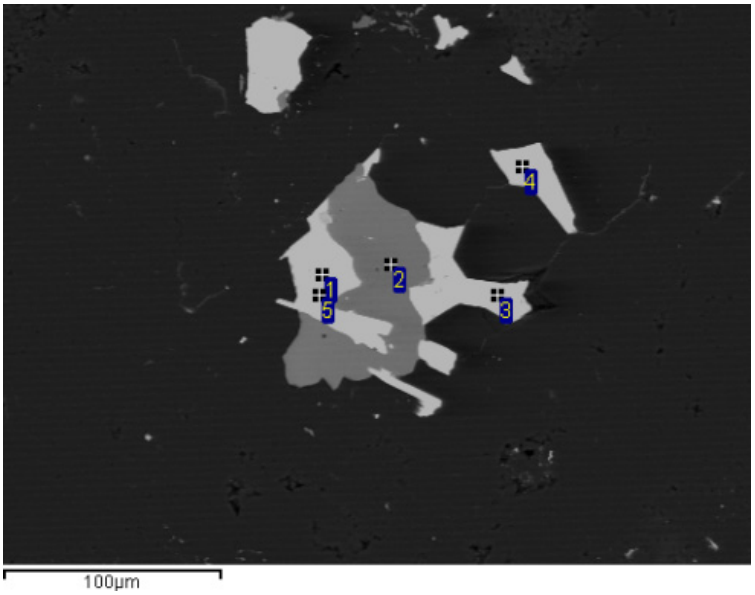

Рис. 3. Изображение участка шлифа в отраженных электронах (BSE). 1, 3, 4, 5 – матильдит, 2 – халькопирит, черный – кварц. /

Fig. 3. Image of the section in reflected electrons (BSE). 1, 3, 4, 5 – matildite, 2 – chalcopyrite, black – quartz.

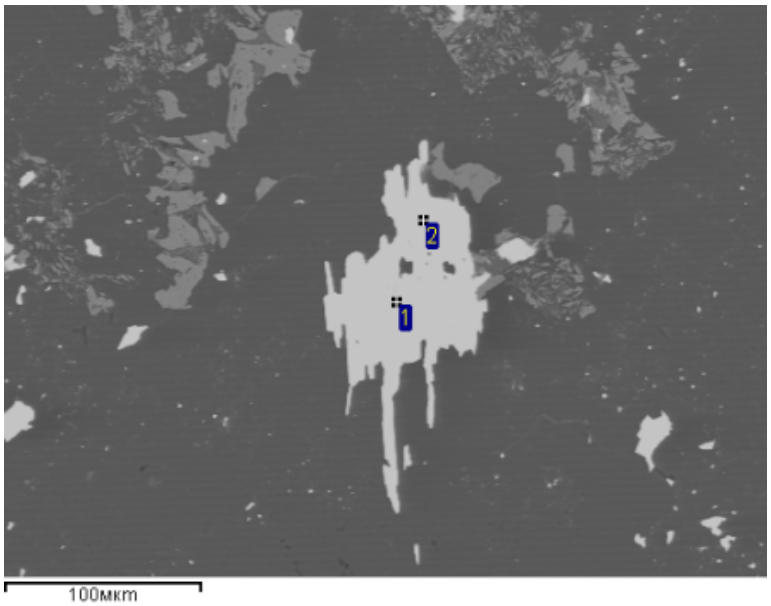

Рис. 4. Изображение участка шлифа в отраженных электронах (BSE). 1, 2 – матильдит, серый – халькопирит, черный – кварц. /

Fig. 4. Image of the section in reflected electrons (BSE). 1, 2 – matildite, gray – chalcopyrite, black – quartz.

чае зерна миаргирита пересечены пираргиритом. По сравнению с пираргиритом миаргирит бесцветный. Он сильно анизотропен, двуотражение хорошо видно: от желтоватого до светло-серого с голубоватым оттенком. Внутренние рефлексы густо-красные. В зернах видна спайность по неровным линиям.

Арсенаргентит констатировался в халькопирите в единичном случае в виде полуидиоморфного выделения размером 0,1 мм. По цвету и отражательной способности (61,1%) несколько напоминает самородное серебро, но он темнее. Твердость 5,9. По цвету и отражательной способности минерал предположительно отнесен к арсенаргентиту.

Матильдит обнаружен нами при микроскопическом исследовании шлифов. Он встречается в ассоциации с халькопиритом (рис. 3). Образует ксеноморфные зерна (рис. 4).

В отраженном свете матильдит стально-серый, в скрещенных николях черный. В шлифах наблюдается срастание матильдита с халькопиритом. Матильдит в кварце образует неправильные выделения.

Химический состав матильдитов из месторождения Канджол (табл. 2) близок матильдитам из месторождения Лейк-Сити (шт. Колорадо, США) [Минералы, 1960]. Разница в том, что в матильдитах месторождения Канджол серебра почти на 2 мас. % больше, а висмута и серы меньше, соответственно на 2,25 и 1,25 мас.%.

М.М. Болдырева [Болдырева, 1970], изучая матильдиты из месторождения Тарыэкан, предлагает использовать их в качестве геологического термометра, т.е. температуры отложения матильдитов ниже 225°С.

Кераргирит встречается в зоне окисления [Турлычкин, 1972]. Он образует фиолетово-серые скопления в виде корок и примазок на кристаллах кварца и на выделениях пиролюзита. Минерал встречается также в виде сажистых пленок в лимоните. В большинстве случаев присутствие гидроокислов марганца и железа затрудняет обнаружение кераргирита. Кераргирит тесно ассоциирует с гипергенными минералами – церусситом, англезитом и самородным серебром.

Аргентоярозит встречается в виде охристых образований в пустотах и трещинах. В низах зоны окисления откладывается иногда в виде зернистых агрегатов. Цвет аргентоярозита от умеренно желтого до ярко-желтого. Блеск алмазный, твердость низкая (чертятся ногтем). В окисленных рудах, особенно где отмечается аргентоярозит, содержание серебра достигает 6500 г/т.

Галенит образует довольно мощные жилы (15 см) с небольшими количествами сфалерита, кварца, кальцита, халькопирита и практически мономинеральные жилы. Вместе с другими сульфидами и нерудными минералами (кварц, кальцит) галенит цементирует обломки вмещающих пород. Иногда сильно деформирован.

Таблица 2. / Table 2

Химический состав матильдита, мас. %

The chemical composition of matildite, wt. %

№№ обр. / №№ sample	Bi	Pb	Ag	S	Сумма / Sum
1	49,76	5,92	28,7	15,47	99,85
2	50,21	5,92	28,38	15,26	99,87
3	51,94	4,02	28,08	15,51	99,54

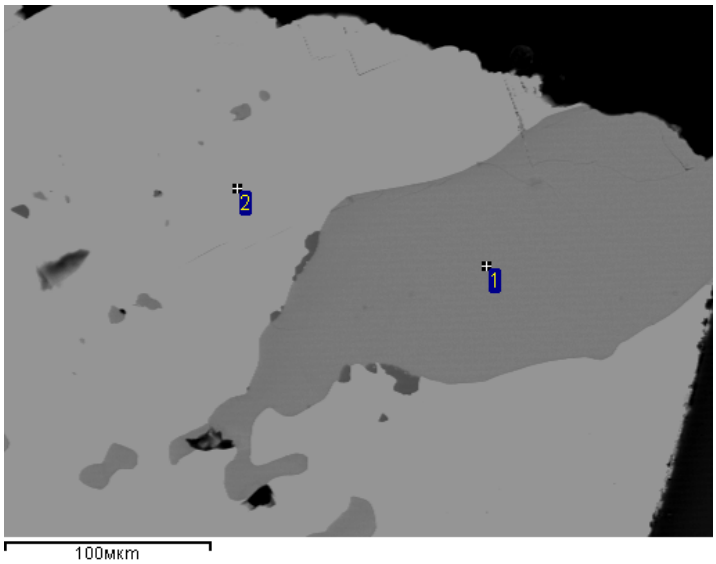

Рис. 5. Изображение участка шлифа в отраженных электронах (BSE), полученное на рентгеновском микроанализаторе JCXA 733 JEOL, при ускоряющем напряжении 20 кВ и токе зонда 1 нА. 1 – серебросодержащий тетраэдрит, 2 – галенит. /

Fig. 5. Image of the section of a section in reflected electrons (BSE), obtained on a JCXA 733 JEOL X-ray microanalyzer, with an accelerating voltage of 20 kV and a probe current of 1 nA. 1 – silver-containing tetrahedrite, 2 – galena.

Галенит образует тесные прорастания со сфалеритом, халькопиритом, Ag-тетраэдритом (рис. 5), пиритом, кварцем и кальцитом. Агрегаты крупно-, мелкозернистые и листоватые. Средне- и мелкозернистые разности приурочены к краевым частям жил, крупнозернистые – к их центральным частям. Листоватая разность галенита представлена агрегатами «полосчатого» или «струйчатого» галенита с шириной отдельных «полос» и «струй» 0,3–0,5 см. Эта разность минерала свидетельствует о деформации и перекристаллизации его под влиянием давления. Последнее подтверждается развитием листоватых разностей галенита вблизи тектонических нарушений, по которым происходили пострудные подвижки.

Микроскопические исследования установили, что галенит образует ксеноморфные зерна, размер которых варьирует от 0,05 до 0,2 мм, иногда больше. Галенит корродирует кальцит, кварц, сфалерит, пирит. Он также в виде тонких прожилков рассекает арсенопирит и пирит, иногда разъедает их с образованием структур замещения. В свою очередь галенит пересекается прожилками (0,1 мм) кварца с халькопиритом, иногда с зернышками пирита или прожилками халькопирита, блеклой руды и сфалерита (клейофана).

В шлифах видно, что в галенит механически входят серебряные минералы, в частности аргентит, Ag-тетраэдрит, пираргирит, миаргирит, прустит, самородное серебро и электрум. Все эти минералы образуют мелкие включения овальной, угловато-округлой, таблитчатой формы размером 0,003–0,03 мм, реже прожилки (пираргирит). Отражательная способность галенита равна 38,4–48,79. Твердость 2,74–2,94, удельный вес 7,58.

Химические анализы галенитов приводятся в таблице 3. Как видно, в нем содержатся достаточно высокие количества Cu (0,27–2,13), Zn (0,48–1,25), Sb (0,07–0,51), Fe (0,09–0,37), что связано с механическими примесями халькопирита, сфа-

Таблица 3. / Table 3.

Химический состав галенита, в мас. % /
The chemical composition of galena, in wt. %

Элементы / Elements / №№ пп / №№ Sample	Pb	Zn	Cu	Sb	As	Bi	Cd	Fe	S	Ag	Сумма / Sum
1	83,08	1,25	0,76	0,19	0,01	0,005	0,042	0,28	13,26	0,32	99,19
2	83,44	0,52	0,63	0,51	-	0,17	-	0,37	13,33	0,07	99,04
3	84,40	0,52	2,13	0,07	-	-	0,01	0,09	13,59	0,07	100,79
4	84,80	0,48	0,27	0,11	0,07	0,01	-	0,25	13,4	1,56	100,94

лерита, пирита, тетраэдрита и бурнонита. Повышенное содержание висмута в галенитах (0,005–0,17 мас. %) объясняется богатством руд самородным висмутом. Из литературных источников известно, что при одновременном вхождении в состав серебра ионов висмута растворимость последнего в галенитах резко возрастает: полная смесимость фаз $AgBiS_2$ и PbS достигается при 215°C [Amcoff, 1984]. По данным [Малахов, 1968] на месторождении Канджол содержание сурьмы и висмута в среднем соответственно составляет 1550 и 10 г/т. По его данным такая большая разница между этими элементами характерна для низкотемпературных и приповерхностных месторождений. Большие значения Sb:Bi> 6,0–13,0 типичны для низкотемпературных галенитов, выкристаллизовавшихся при относительно низких (150–70 кг/см^2) и низких давлениях (ниже 70 кг/см^2).

Кадмий в галенитах содержится в небольших количествах: от 0,005 до 0,042%, среднее его содержание равно 0,017%.

Пробирно-химическим анализом было проанализировано 24 монофракций галенита на серебро и золото. Содержание серебра колеблется от 56 до 3940 г/т (среднее 1009,25 г/т). Из 24 проб золото содержится в 21 пробе, концентрация которого варьирует от следов до 16 г/т (среднее 0,56 г/т).

Пробирным анализом в 17 пробах галенита определено содержание серебра в количестве от 382 до 3498,2 г/т, при среднем содержании 2669,8 г/т. Из этих проба золото отсутствует в 6, а в остальных содержание его варьирует от следов до 3,6 г/т, при среднем содержании 0,54 г/т.

Тетраэдрит совместно с халькопиритом и кварцем слагает отдельные участки в рудных телах. Его прожилки встречаются в раннем кварце, железистом карбонате и во вмещающих породах. Тетраэдрит также наблюдается в виде округлых и удлиненных выделений размером до 1-1,5 см, окруженных пираргиритом. Он в незначительных количествах в виде мелких выделений встречается и в ассоциации с пираргиритом, галенитом, халькопиритом, сфалеритом и кальцитом.

Под микроскопом видно, что тетраэдрит изотропный минерал, внутренних рефлексов нет, цвет серо-белый с зеленоватым оттенком.

По времени образования тетраэдрит близок к халькопириту и образует с ним взаимные прорастания [Файзиев Ф., Файзиев А., 2018]. Иногда тетраэдрит обволакивает зерна халькопирита и галенита. В массивном галените он образует угловато-округлые выделения размером до 3 см.

Удельный вес тетраэдрита, определенный методом гидростатического взвешивания равен 5,17.

Химические анализы тетраэдритов приводятся в таблице 4. Согласно классификации Н.Н. Мозговой и А.И. Цепина [Мозгова, Цепин, 1983] описываемые блеклые руды месторождения Канджол соответствуют Ag-Fe-тетраэдриту (анализы 1, 2), Ag-Zn-тетраэдриту (анализы 3–10), Ag (Hg) – содержащей Zn-тетраэдриту (анализы 11–13). Анализы 1-2 по химическому составу очень схожи тетраэдритам из месторождения Тайшу-Шигекума [Shimada, Hirovatari, 1972], анализы 3–10 – Пулакайо (Боливия), а 11–13 – Тизи н Тага (Алжир) [Charlat, Levy, 1975].

Отметим, что все тетраэдриты месторождения сереброносны. Содержание серебра в них находится в пределах от 5,70 до 20,20 мас. %, в среднем составляет 16,00 мас. %. Также в значительных количествах варьирует концентрация цинка – 1,80–9,81мас. %, в среднем составляет 4,16 мас. %. Концентрации железа в тетраэдритах месторождения колеблется от 2,38 до 5,56, в среднем 3,25 мас. %. В трех пробах обнаружена ртуть, содержание которой в среднем составляет 0,13 мас. %. В связи с этим эти разновидности тетраэдритов относятся к Ag (Hg) – содержащей Zn-тетраэдриту. В одной пробе обнаружен кадмий в количестве 0,35 мас. %.

Таблица 4. / Table 4.

Химический состав тетраэдритов, в мас. % /
The chemical composition of tetrahedrite, in wt. %

№№ обр. / №№ Sample	Cu	Sb	Ag	As	Zn	Fe	Hg	Cd	S	Сумма / Sum	Источник / Source
1	22,2	25,0	20,20	2,3	2,80	3,50	-	-	23,00	99,00	[Чвилева, 1973] / [Chvileva, 1973]
2	23,6	24,0	19,70	-	1,80	5,30	-	-	22,10	97,20	
3	19,05	26,72	20,13	0,27	9,81	5,56	-	-	18,73	100,26	Златогурская и др. (1963) / Zlatogurskaya et al. (1963)
4	23,49	27,28	19,79	-	3,34	3,05	-	-	22,55	99,49	Коллекция автора / Author's collection
5	23.72	26,17	18,65	0,87	4,13	3,02		-	23,27	99,83	
6	24,23	26,66	19,48	-	3,75	2,75	-	-	23,02	99,89	
7	24,64	26,62	18,90	0,55	3,86	2,38	-	0,35	22,77	100,07	
8	24,67	27,09	17,84	-	4,33	2,38	-	-	23,17	99,48	
9	25,78	26,45	17,86	-	4,03	3,16	-	-	23,22	100,50	
10	25,79	26,98	17,97	-	3,39	3,13	-	-	22,81	100,08	
11	34,36	26,88	5.70	2,92	4,21	2,70	0,16	-	24,81	101,74	[Мозгова, Цепин, 1983] / [Mozgova, Cepin, 1983]
12	34,63	26,72	6,08	2,34	4,38	2,61	0,08	-	24,41	101,25	
13	34,98	26,36	5,81	2,88	4,32	2,70	0,15	-	24,88	102,09	

Выводы

На месторождении Канджолв ранних кварц-арсенопиритовой и полиметаллической стадиях серебро находится в качестве изоморфных примесей в других минералах, главным образом в сульфидах. В более поздних стадиях (3-ей и 4-ой) серебро

концентрируется как в виде изоморфных примесей в галенитах, халькопиритах, тетраэдритах, так и образует собственные серебряные минералы – пираргирит, полибазит, аргентит, сильванит, матильдит и др.Ассоциации минералов и характер их сонахождения указывает на отложение серебряной минерализации в интервале 225–100°С.

Литература

1. Болдырева М.М. Матильдит – из месторождения Тары-Экан (Восточный Карамазар) // ДАН СССР. – 1970. – Т. 194. №2.– С. 407–409.

2. Малахов А.А. Висмут и сурьма в галенитах – показатели некоторых условий образования рудных месторождений // Геохимия.– 1968.– №11.– С. 1283–1296.

3. Минералы. Справочник. Т. 1.– М.: Изд. АН СССР, 1960. – С. 378–380.

4. Минералы Узбекистана. Справочник. Т. 1. – Ташкент. –1975.– 344 с.

5. Мозгова Н.Н., Цепин А.И. Блеклые руды. Особенности химического состава и свойства. – М.: Наука, 1983.– 280 с.

6. Прокопенко Б.С. Геолого-геохимическая роль вмещающей среды в формировании золото-серебряного оруденения Табошар-Канджольского рудного района // Зап. Узбекист. отд. ВМО. – 1980. – Вып. 33. – С. 184–187.

7. Турлычкин В.М. Геология, минеральный состав руд и структурные условия локализации золотого и серебряного оруденения Канджольского рудного поля // Автореф. канд. дисс. – Ташкент.– 1971. – 30 с.

8. Турлычкин В.М. Канджольское рудное поле // В кн.: Геология и минеральные комплексы Западного Карамазара. – М.: Недра, 1972.– С. 368–382.

9. Тютин М.А., Шафран Е.Б. Экстенсивность и интенсивность золотого и серебряного оруденения Южного Памира // Известия АН Тадж. ССР. Отд. физ.-матем, химич. и геол. Наук. – 1991. – №4(122). – С. 73–76.

10. Файзиев А.Р., Файзиев Ф.А. Рудноформационные типы серебряных месторождений Таджикистана // Изв. АН РТ. – 2015а. – №3(160).– С. 92–99.

11. Файзиев А.Р., Файзиев Ф.А. Серебро-полиметаллический рудно-формационный тип оруденения в Таджикистане // Вестник ТНУ. – 2015б. – №1/5(188). – С. 271–278.

12.Файзиев Ф.А., Файзиев А.Р. Блеклые руды в серебряных и серебросодержащих месторождениях Таджикистана и их сереброносность // Геология и геофизика Юга России. – 2018. – №4. – С. 226–234.

13. Чвилева Т.И. Влияние примесей на оптические и некоторые другие свойства блеклых руд // В кн. Исследованиевобластирудноймминералогии. – М.: Наука, 1973.– С. 67–76.

14. Amcoff O. Distribution of silver in massive sulfide ores. Miner. Deposita. – 1984. – Vol. 19. №1. – Pp. 63–69.

15. Borisenko A. S., Pavlova G. G., Borovikov A. A., Vladimirov A. G., Mortsev N. K. Silver deposits of the Pamir region, Tajikistan: Metallogeny, mineralogy, and genesis // International Geology Review. – 2000. – Vol. 42, No. 8. – pp. 702-723.

16. Charlat M., Levy C. Influence des principales substitutions sur les parameter cristallindans la serietennantite-tetrahedrite. – Ibid. – Vol. 98. №2/3. – 1975. – Pp. 152–158.

17. Moralev G.V., Shatagin K.N. Rb-Sr study of Au-Ag Shkolnoe deposit (Kurama Mountains, North Tajikistan): age of mineralization and time scale of hydrothermal processes. // Mineralum Deposita. – 1993. - V. 34. №4. – Pp. 405–413.

18. Pavlova G. G., Borovikov A. A. Silver-antimony deposits of Central Asia: physico-chemical model of formation and sources of mineralisation // Australian Journal of Earth Sciences. – 2010. – Vol. 57, No. 6. – pp. 755-775.

19. Shimada N., Hirovatari F. Argentiantetrahedrites from the Taishu-Shigekuma mine, Tsushima Island. // Jap. Miner. J. – Vol. 7. №1. – 1972. – Pp. 77–87.

20. Toulmin P. Proustite-pyrargyrite solid solutions. Amer. Mineral. – 48. – 1963. – Pp. 725–736.

PETROLOGY, GEOCHEMISTRY AND MINERALOGY

DOI:10.23671/VNC.2019.2.31978

Silver mineralization of the deposit of Kanjol (Northern Tajikistan)

F.A. Fayziev, Cand. Sci. (Geol.-Min.)

Institute of Geology, Earthquake Engineering and SeismologyAcademy of Sciences of the Republic of Tajikistan, 267Ayni Str., 734063Dushanbe, Republic of Tajikistan
e-mail: foteh81@mail.ru

Abstract: The article gives information on the stages of mineralization and gives a description of some minerals from the Kanjol deposit.It is noted that the formation of minerals in the field occurred in 5 stages – quartz-arsenopyrite, polymetallic, copper-antimony, quartz-calcite with silver and carbonate. In the early quartz-arsenopyrite stage, silver is found in very small quantities and ranges from 20 to 30 g/t. In the second polymetallic stage, silver is deposited together with galena and is in its crystal lattice as an isomorphic impurity. In galena, the average silver content is 4240 g/t. In the third copper-antimony stage, a silver-containing tetrahedrite is formed with a silver content of 5.7-20.20 wt.%. The concentration of silver in sulfides of this stage is (g/t): in galenites 2865, chalcopyrite 330 and pyrite 358,7. Then the most productive stage on silver is formed – quartz-calcite with silver. Here silver forms its own minerals – pyrargyrite, argentite, polybasite, native silver, matildite. Silver minerals are found in the form of monomineral veins, veinlets and inclusions. The carbonate stage with quartz, barite and ore minerals (galena, sphalerite) completes the process of mineral formation at the deposit. Here silver is found in small amounts in sulfides. In general, 2–4 stages of mineral formation are productive for silver. The main amount of silver (60-70%) is associated with the 3rd stage of mineralization. The article describes the silver minerals themselves – pyrargyrite, argentite, native silver, polybasite, myargyrite, sylvanite, argentoyarosite, arsenargentite, cerargyrite, matildite, as well as tetrahedrite and galena, bearing industrial concentration of silver. Matildite on the field is described for the first time.

Keywords: Kanjol, mineral, mineralization, native silver, pyrargyrite, tetrahedrite, galena, matildite, association of minerals, hypogenic and hypergenic minerals.

For citation: Fayziev F.A. Silver mineralization of the deposit of Kanjol (Northern Tajikistan). *Geology of the South of Russia*. (in Russ.). 2019; 9 (2): 69-82. DOI:10.23671/VNC.2019.2.31978.

References

1. Boldyreva M.M. Matildith - from the field Tary-Ekan (East Karamazar). Proceedings of the USSR Academy of Sciences. 1970. Vol. 194. No.2. Pp. 407–409. (in Russ.)

2. Malahov A.A. Bismuth and antimony in galena – the indicators of some conditions for the formation of ore deposits. Geochemistry. 1968. No.11. Pp. 1283–1296. (in Russ.)

3. Mineraly. Minerals. Directory. Vol. 1. M. AS USSR. 1960. Pp. 378–380. (in Russ.)

4. Minerals of Uzbekistan. Directory. Part 1. 1975. 344 p. (in Russ.)

5. Mozgova N.N., Cepin A.I. Fahlores ore (features of the chemical composition and properties). M. Nauka. 1983. 280 p. (in Russ.)

6. Prokopenko B.S. Geological and geochemical role of the host environment in the formation of the gold-silver ore of the Taboshar-Kanjol ore region. Zap. Uzbekist. otd. VMO, Issue 33, 1980. Pp. 184–187. (in Russian)

7. Turlychkin V.M. Geology, mineral composition of ores and structural conditions of localization of gold and silver mineralization of the Kangjol ore field. Author's abstract. Cand. diss. Tashkent. 1971. 30 p. (in Russ.)

8. Turlychkin V.M. Kangjol ore field. Geology and mineral complexes of West Karamazar. M. Nedra. 1972. Pp. 368–382. (in Russ.)

9. Tyutin M.A., Shafran E.B. Extensity and intensity of gold and silver mineralization of the Southern Pamir. Izvestija AN Tadzh. SSR, No.4. (122), 1991. Pp. 73–76. (in Russian)

10. Fajziev A.R., Fajziev F.A. Ore-formation types of silver deposits in Tajikistan. Izv. AN RT. No.3(160). 2015a. Pp. 92–99. (in Russ.)

11. Fajziev A.R., Fajziev F.A. Silver-polymetallic ore-formation type of mineralization in Tajikistan. Bulletin of TNU. 2015b. № 1/5 (188). Pp. 271–278. (in Russ.)

12. Fajziev F.A., Fajziev A.R. Fahlores in silver and silver-containing deposits of Tajikistan and their silver-bearing. Geology and Geophysics of the South of Russia. No.4. 2018. Pp. 226–234. (in Russ.)

13. Chvileva T.I. Influence of impurities on optical and some other properties of faded ores. Ore mineralogy research. M. Nauka. 1973. Pp. 67–76.

14. Amcoff O. Distribution of silver in massive sulfide ores. Miner. Deposita. 1984. Vol. 19. №1. – Rp. 63–69.

15. Borisenko A. S., Pavlova G. G., Borovikov A. A., Vladimirov A. G., Mortsev N. K. Silver deposits of the Pamir region, Tajikistan: Metallogeny, mineralogy, and genesis // International Geology Review. – 2000. – Vol. 42, No. 8. – pp. 702-723.

16. Charlat M., Levy C. Influence des principales substitutions sur les parameter cristallindans la serietennantite-tetrahedrite. Ibid. Vol. 98. No.2/3. 1975. Pp. 152–158.

17. Moralev G.V., Shatagin K.N. Rb-Sr study of Au-Ag Shkolnoe deposit (Kurama Mountains, North Tajikistan): age of mineralization and time scale of hydrothermal processes. // Mineralum Deposita. – 1993. - V. 34. №4. – Pp. 405–413.

18. Pavlova G. G., Borovikov A. A. Silver-antimony deposits of Central Asia: physico-chemical model of formation and sources of mineralisation // Australian Journal of Earth Sciences. – 2010. – Vol. 57, No. 6. – pp. 755-775.

19. Shimada N., Hirovatari F. Argentiantetrahedrites from the Taishu-Shigekuma mine, Tsushima Island. Jap. Miner. J. Vol. 7. No.1. 1972. Pp. 77–87.

20. Toulmin P. Proustite-pyrargyrite solid solutions. Amer. Mineral. 48. 1963. Pp. 725–736.