

Т.С. ЯКИМОВ, С.А. ФЁДОРОВ, В.Ю. КАЛГИН

Серебряная минерализация в аргиллитах Кирченовского месторождения (Забайкалье)

Изучены пробы рудоносных аргиллитов, отобранные на Кирченовском месторождении (Забайкальский край). Показано, что они богаты благородными металлами. Определены рудообразующие минералы. Последующие исследования в этом направлении могут привести к открытию концептуально нового типа золото- и сереброросодержащих пород.

Ключевые слова: серебро, сульфидная минерализация, Кирченовское месторождение, рудоносные аргиллиты.

Silver mineralizations in argillites from the Kirchenovsky gold-silver mine (Zabaikalsky Krai). T.S. YAKIMOV (V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS, Vladivostok; Far East Federal University, Vladivostok), S.A. FEDOROV (Institute of Metallurgy UB RAS, Yekaterinburg), V.Yu. KALGIN (Far East Federal University, Vladivostok).

Authors investigated the samples of ore-bearing argillites, which are selected on the Kirchenovsky gold-silver mine, Zabaikalsky Krai. It is shown, that they are rich with precious metals. Ore-forming minerals are defined. The subsequent researches in this direction can lead to opening of conceptually new type of gold-silver-containing rocks.

Key words: silver, sulphidic mineralization, Kirchenovsky gold-silver mine, ore-bearing argillites.

Изучение месторождений, содержащих рудную минерализацию, в особенности благородных металлов, в аргиллитах, в настоящее время является весьма актуальным. Особый интерес представляет золотосеребряное оруденение, которое исследовано не в полной мере. К таким месторождениям, включающим данный тип оруденения, относится Кирченовское в Забайкальском крае (Оловянинский район).

Кирченовское месторождение входит в состав Тургинского рудного узла Кукульбейского рудного района. Оно приурочено к сложной зоне окварцевания, пропилитизации и березитизации в экзоконтакте шахтаминских гранитоидов ($\gamma\delta_2J_{2-3}\delta$) (рис. 1). Рудоносные зоны вмещают крутопадающие кварцевые жилы протяженностью от 25 до 2500 м. В целом на месторождении можно выделить 6 типов руды: 1) рудоносные золотосеребряные кварцевые жилы, 2) вмещающие их метасоматиты (березиты), 3) кора выветривания, 4) аргиллиты, 5) кварц-углеродистые и 6) углеродистые метасоматиты. Нами исследовались аргиллиты, где рудные минералы представлены золотом, самородным серебром, аргентитом, арсенопиритом, галенитом, пиритом, сфалеритом, халькопиритом и блеклой рудой, а в зоне окисления – церусситом, скородитом и англезитом. Содержание Au в рудах – 1,57–2,04, Ag – до 84,4 г/т.

*ЯКИМОВ Тимур Сергеевич – инженер, студент-магистр (Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток, Дальневосточный федеральный университет, Владивосток), ФЁДОРОВ Сергей Андреевич – младший научный сотрудник, аспирант (Институт металлургии УрО РАН, Екатеринбург), КАЛГИН Владислав Юрьевич – студент-магистр (Дальневосточный федеральный университет, Владивосток). *E-mail: yakimov-timur@mail.ru

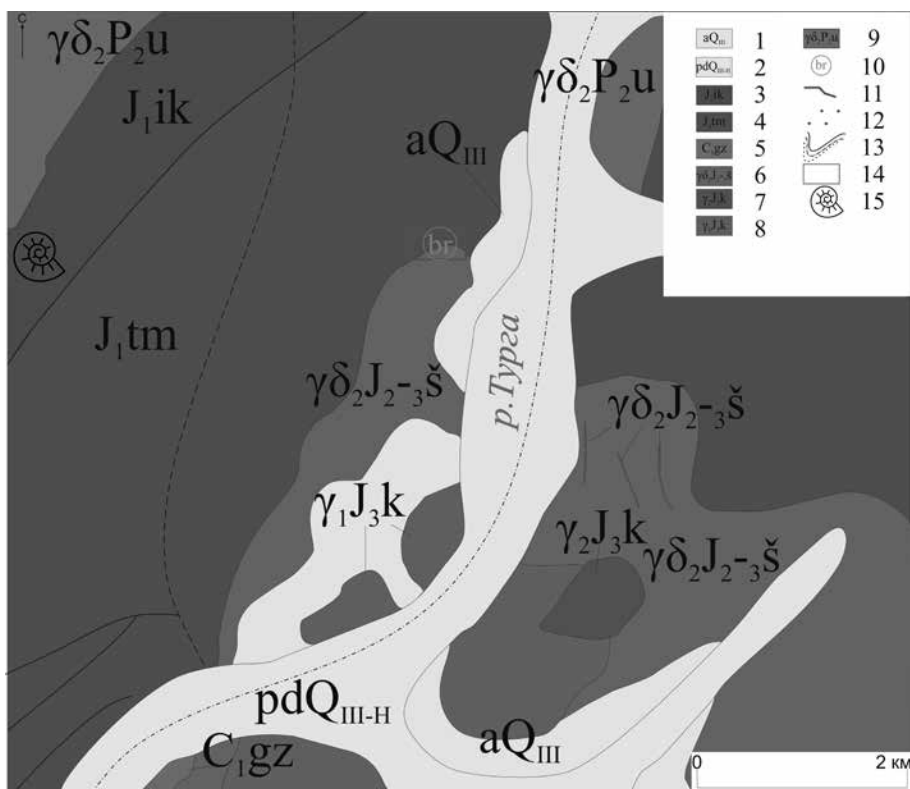


Рис. 1. Схема геологического строения Кирченовского месторождения (Оловянинский район, Забайкальский край) [Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200 000. Изд. 2-е. Серия Приаргунская. Лист М-50-IX (Калангуй); объясн. зап. СПб.: ВСЕГЕИ, 2001. 156 с.].

1 – аллювиальные (а) пески, галечники, валунно-галечные отложения, суглинки, глины (до 35 м); 2 – пролювиально-делювиальные (pd) супеси, пески, суглинки, глины (до 15 м); 3 – икагйская свита: алевролиты, аргиллиты, песчаники, хлидолиты, в основании дресвяники, гравелиты, конгломераты (650–1000 м); 4 – таменгинская свита: песчаники, алевролиты, аргиллиты, хлидолиты, линзы конгломератов (2000–2500 м); 5 – газимурозаводская свита: кварцево-слоистые сланцы, мраморы (800 м); 6 – гранодиориты, граносиениты ($\gamma\delta_2$), кварцевые монодиориты ($q\delta_2$), граниты (γ_2), кварцевые диориты ($q\delta_2$); 7 – вторая фаза кукульбейского гранит-лейкогранитного комплекса: литионит-амазонит-альбитовые граниты (γ_2); 8 – граниты, лейкограниты ($l\gamma_2$, γ_2); 9 – граниты, лейкограниты ($l\gamma_3$); 10 – березиты; 11 – дайки гранитов ($\gamma\delta_2$); 12 – контактовые роговики и ороговикованные породы; 13 – разломы; 14 – Кирченовское месторождение; 15 – морские беспозвоночные

Аргиллиты на Кирченовском месторождении присутствуют в виде небольшого слоя мощностью до 0,5 м вблизи рудоносных кварцевых жил (рис. 2). Породы относятся к таменгинской свите нижней юры (J_1tm), имеют голубовато-серую окраску и слабую слоистость. Аргиллиты имеют гранолепидобластовую структуру и сложены гидрослюдой (80–85 %) и небольшим количеством кварца (до 10 %). Сами рудные минералы составляют 5–10 % объема аргиллитов, представлены пиритом и арсенопиритом, образующими многочисленные вкрапленники (3–4 мм) и линзы (до первых сантиметров).

Материалом для изучения послужили пробы аргиллитов, отобранные авторами в летний период работ 2017 г. Анализ пород осуществлялся в Институте геологии и геохимии УрО РАН (аналитик Д.В. Киселёва) с помощью электронного микроскопа JSM 639LV с энергодисперсионным анализатором EDS X-max 80, а также масс-спектрометра квадрупольного с индуктивно связанной плазмой ELAN 9000.

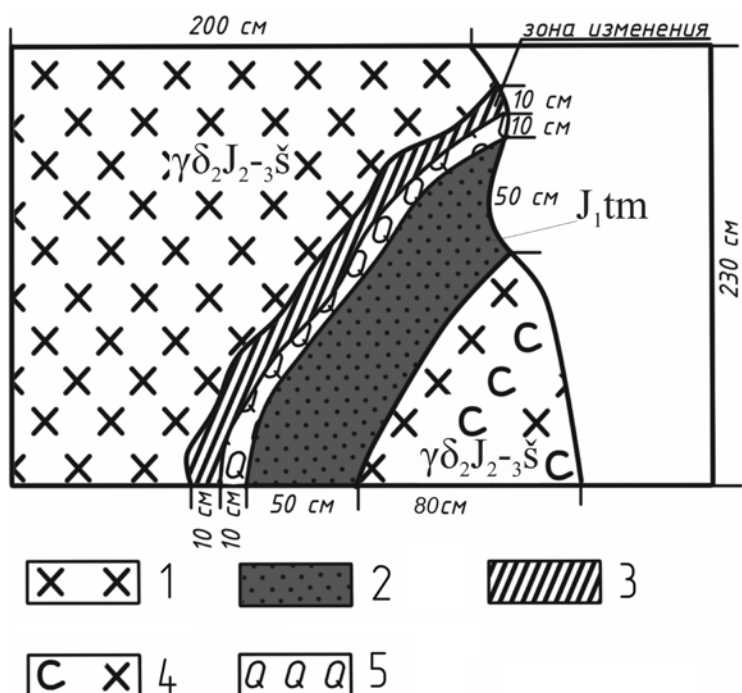


Рис. 2. Схематическая зарисовка горизонта № 920, где были обнаружены углефицированные аргиллиты.
 1 – гранитоиды с пойкилитовой структурой, 2 – углефицированные аргиллиты,
 3 – переходная зона изменений от гранитоидов до углефицированных аргиллитов, 4 – березитизированные гранитоиды, 5 – кварцевый прожилок

Масс-спектрометрический анализ (ICP MS) аргиллитов выявил довольно богатое содержание в них благородных металлов: 5,8 г/т Au, около 700 г/т Ag и порядка 2 г/т Pd. Результаты анализа приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Содержание рудных и сопутствующих элементов в аргиллитах
 Кириченовского месторождения по результатам анализа ICP MS**

Элемент	Содержание, г/т	Элемент	Содержание, г/т
Co	8,428	Pd	2,363
Ni	19,439	Ag	686,133
Cu	1106,323	Sb	390,307
Zn	933,052	W	100,988
As	52743,774	Au	5,830
Rh	0,156	Pb	9722,219

В аргиллитах присутствуют также такие полезные компоненты, как As (до 5 %), Pb (до 1 %) и Cu (до 0,1 %). Эти данные указывают на комплексность сырья и богатую рудную минерализацию.

Под сканирующим электронным микроскопом помимо основных сульфидов – пирита и арсенопирита – было выявлено еще 10 минералов: сульфид серебра, ялпаит, фрейбергит, арсенат Ag и Cu, ковеллин, галенит, мацапелит, карминит, скородит и англезит. Для каждого минерала был определен химический состав (в точке) с помощью энергодисперсионной приставки, а для сульфидов рассчитана кристаллографическая формула. В расчетах

указаны минимальное и максимальное содержания Ag, при его отсутствии – содержания As и Pb. Рассчитанные формулы приведены в табл. 2.

Таблица 2

Кристаллохимические формулы сульфидов, установленных в аргиллитах Кирченковского месторождения

Название минерала	Кристаллохимическая формула
Сульфид серебра (Ag ₂ S)	(Ag _{1,98} , Fe _{0,08}) _{2,06} S _{0,94} (Ag _{2,34} , Fe _{0,01}) _{2,35} S _{0,65}
Ялпаит (Ag ₃ CuS ₂)	(Ag _{2,74} , Fe _{0,16} , As _{0,05}) _{2,95} Cu _{0,83} S _{2,22}
Ковеллин (CuS)	(Cu _{0,89} , Ag _{0,09} , Fe _{0,01} , Pb _{0,01}) _{1,00} S _{0,97}
Фрейбергит ((Ag, Cu) ₁₀ (Fe, Zn) ₂ Sb ₄ S ₁₃)	(Ag _{1,79} , Cu _{8,09}) _{9,88} (Fe _{1,31} , Zn _{0,86}) _{2,17} Sb _{4,17} S _{12,78} (Ag _{2,40} , Cu _{7,51}) _{9,91} (Fe _{1,13} , Zn _{0,93}) _{2,06} Sb _{4,18} S _{12,85}
Галенит (PbS)	(Pb _{0,53} , Fe _{0,32} , Au _{0,02}) _{0,87} S _{1,14} (Pb _{1,00} , Fe _{0,06})S _{0,94}
Пирит (FeS ₂)	(Fe _{0,94} , As _{0,01}) _{0,95} S _{2,05} (Fe _{0,94} , As _{0,02}) _{0,96} S _{2,04}
Арсенопирит (FeAsS)	Fe _{0,95} (As _{0,91} , Sb _{0,01}) _{0,92} S _{1,13} Fe _{0,93} As _{0,97} S _{1,10}

Два минерала (сульфид Ag и арсенат Ag и Pb) остались неопределенными, так как для их идентификации требуются другие специальные методы анализа.

Главный рудный минерал – пирит – образует кубические и пентагондодекаэдрические кристаллы размером до 3–4 мм. Минерал преимущественно мышьяковистый: среднее содержание As в нем составляет 1 %.

Арсенопирит наблюдается в виде псевдоромбических и призматических кристаллов размером не более 1 мм, часто образует скопления, содержит небольшую примесь сурьмы (до 0,4 %). В процессе окисления с поверхности арсенопирит замещается скородитом и мацелитом (рис. 3, з, д). С арсенопиритом нередко ассоциируют минералы серебра, в частности сульфид серебра (Ag₂S), который обволакивает его, в том числе окисленные зерна, образуя тонкую, в 3–4 мкм, рубашку (рис. 3, з). В результате образуются зерна размером 20–40 мкм, центральная часть которых сложена арсенопиритом, средняя – скородитом, периферия – сульфидом серебра. Это указывает на соответствующую последовательность минералообразования (арсенопирит–скородит–сульфид серебра) и на то, что сульфид серебра является более поздним минералом. Значительная часть золота ассоциирует с арсенопиритом [Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200 000. Изд. 2-е. Серия Приаргунская. Лист М-50-IX (Калангуй): объясн. зап. СПб.: ВСЕГЕИ, 2001. 156 с.].

Галенит образует изометричные и каплевидные включения в пирите (рис. 3, е), часто располагающиеся на периферии. Размер включений не превышает 4–5 мкм. Минерал содержит значительное количество железа (до 10 %), в отдельных выделениях присутствует примесь золота (до 2 %). Некоторые зерна галенита частично (с поверхности) или полностью замещаются англезитом. Последний образует мелкозернистые агрегаты размером до 10 мкм.

На месторождении выявлено четыре вида минералов основного рудного компонента – серебра (сульфид серебра, ялпаит, фрейбергит, арсенат серебра и свинца) и два вида серебросодержащих минералов (ковеллин и скородит). Что касается второго основного компонента – золота, то его форма нахождения авторами пока не установлена.

Преобладающим среди минералов серебра является сульфид Ag₂S (рис. 3, а), который образует зерна изометричной, близкой к ромбической, формы, а также их скопления, вплоть до зернистых агрегатов. Размер зерен не превышает 5 мкм, агрегатов – 100 мкм. В Ag₂S количество серебра по расчетам достигает 0,3 формульной единицы, присутствуют примеси Fe (табл. 2). Минерал один из поздних, заполняет интерстиции между

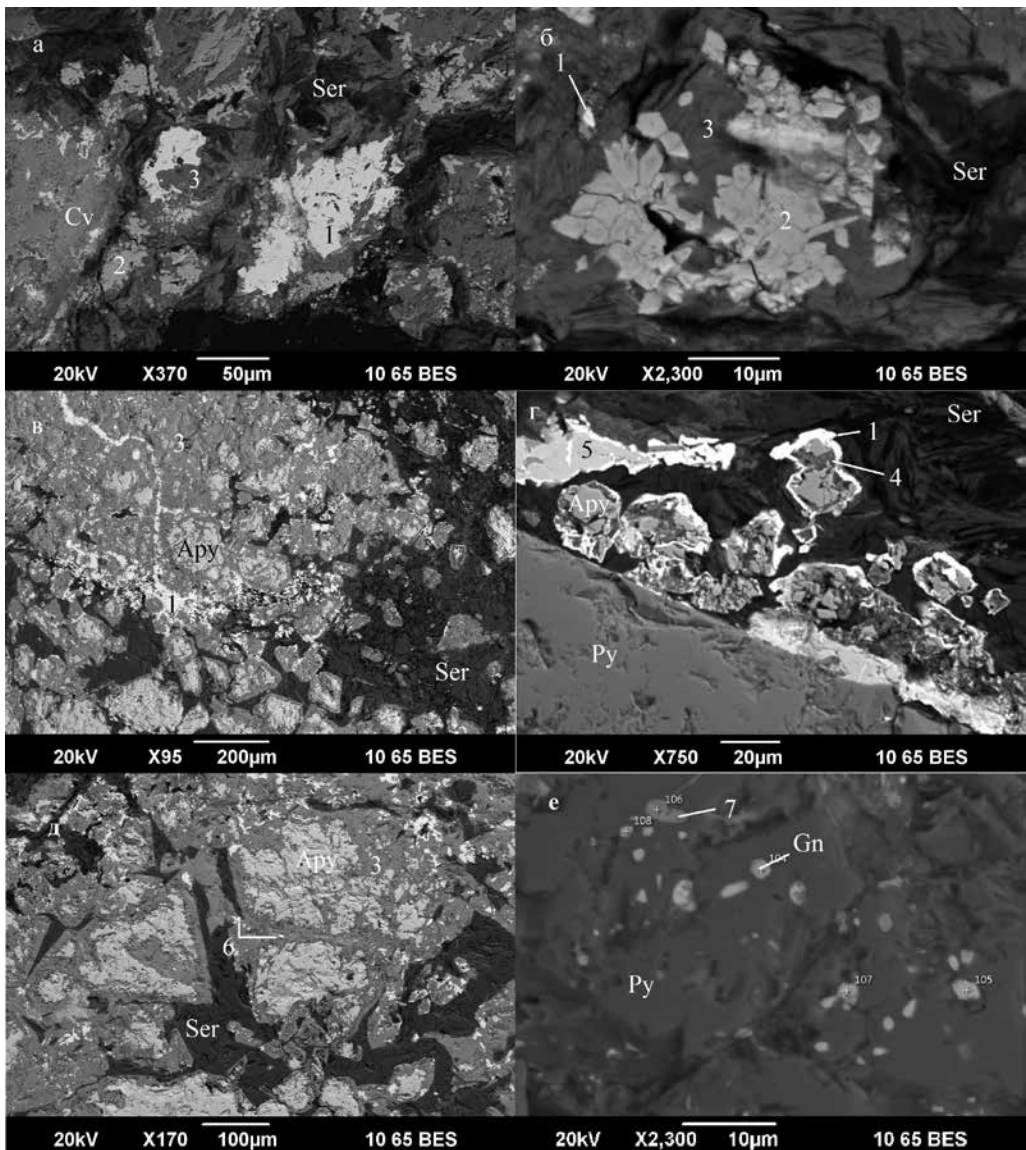


Рис. 3. *а* – зерна и скопления зерен сульфида серебра (1) в общей рудной массе; *б* – скопление изометричных, псевдоромбических зерен карминита (2) в зернистом агрегате мацелелита; *в* – скопление псевдоромбических зерен арсенопирита, с поверхности замещаемого мацелелитом; *г* – зерна арсенопирита в рубашке из скородита (4) и сульфида серебра (1), лежащие на крупном кристалле пирита; *д* – псевдокубические кристаллы арсенопирита, замещенные с поверхности мацелелитом (3), мелкие каплевидные включения в мацелелите – ялпаит (6); *е* – каплевидные включения галенита в кубических кристаллах пирита. Усл. обозначения на снимках: 1 – сульфид серебра (Ag_2S); 2 – карминит; 3 – мацелелит; 4 – скородит; 5 – фрейбергит; 6 – ялпаит; 7 – англезит; Cv – ковеллин; Ser – серицит; Аpy – арсенопирит; Py – пирит; Gn – галенит. Снимки получены на СЭМ в режиме ВЕС

зернами и образует рубашки на них (преимущественно на скородите и арсенопирите). Хороший пример иллюстрирует рис. 3, *в*, где сульфид серебра проходит тонкой жилкой между зернами арсенопирита и местами заполняет оставшееся пространство. В литературе он описан как аргентит [1], но это касается минерала кварцевых жил в метасоматитах исследуемого месторождения. В аргиллитах точная температура образования минерала пока не установлена, а значит, минеральный вид нельзя точно диагностировать без применения специальных методов анализа.

Ялпаит (Ag_3CuS_2) встречается намного реже сульфида серебра, образует тонкие вкрапленники (4–5 мкм) каплевидной формы в мацелитовой рубашке арсенопирита (рис. 3, д), содержит небольшие примеси Fe и As.

Фрейбергит наблюдается в формах, близких к тетрагональным (треугольные сечения, рис. 3, з), размер зерен достигает 20 мкм. Как и арсенопирит, этот минерал покрывается рубашкой из Ag_2S . Часто ассоциирует с арсенопиритом и пиритом, содержит небольшую примесь цинка.

Арсенат Ag и Pb является продуктом вторичного изменения сульфидов. Он довольно редкий и встречается в виде маленьких (1–2 мкм) немного удлинённых зерен в ассоциации с зернистым агрегатом карминита.

Серебросодержащий ковеллин образует тонкопластинчатые агрегаты размером до 200 мкм. Содержание примеси серебра в минерале значительно (достигает 9 %).

Среди вторичных минералов лишь один содержит серебро. Это скородит ($\text{Fe}(\text{AsO}_4) \times 2\text{H}_2\text{O}$), который, как уже отмечалось ранее, развивается по арсенопириту, образуя окислительную корочку толщиной до 5–6 мкм. Содержание серебра в минерале достигает 7 %. Наблюдаются примеси свинца и серы.

Более активно арсенопирит замещается, предположительно, мацелитом ($\text{Ca}_2\text{Fe}_3[\text{AsO}_4]_3\text{O}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), который образует корочки на поверхности и по трещинам первого, а то и вовсе может полностью замещать кристаллы, формируя тонкозернистые псевдоромбические агрегаты размером до 1 мм (рис. 3, в, д).

Карминит ($\text{PbFe}_2[\text{AsO}_4]_2(\text{OH})_2$) в аргиллите наблюдается исключительно в виде скоплений и агрегатов зерен псевдоромбической и призматической форм, размером 5–8 мкм (рис. 3, б). Иногда образует радиально-лучистые агрегаты. Встречается редко. Находится в тесной ассоциации с мацелитом.

Таким образом, в результате исследования в аргиллитах Кирченовского месторождения установлено 12 рудообразующих минералов, в том числе 6 серебряных и серебросодержащих. Ведущими минералами серебра выступают сульфид Ag_2S , в подчинённом количестве присутствуют фрейбергит и ялпаит, редко – арсенат Ag и Pb, а также серебросодержащий скородит. Все эти минералы (за исключением фрейбергита) вторичные, образовались в результате гипергенного процесса изменения основных сульфидов. Причём главным рудным минералом является сульфид серебра – самая поздняя генерация, которая формируется после вторичного изменения сульфидов (тонкая «оболочка» Ag_2S вокруг скородита с арсенопиритом).

Ранее серебряная минерализация аргиллитов Кирченовского месторождения не была изучена ни в спектральном, ни в минеральном отношениях. На данный момент аргиллиты можно считать самыми богатыми, после кварцевых жил, рудами месторождения, которые требуют дальнейшего изучения. В минеральном аспекте два минерала (сульфид серебра, арсенат серебра и свинца) не были определены. Для их идентификации необходимы исследования с применением других методов анализа. Детальное изучение аргиллитов может привести к открытию концептуально нового типа золото- и серебросодержащих пород.

Авторы выражают признательность д-ру геол.-минер. наук Л.А. Изосову за содействие в подготовке статьи к публикации.