

Н.И. МОДНИКОВ, Т.И. ГЕТМАНСКАЯ, К.В. ЮРКИНА

## ОБ ОЛОВЯННО-СЕРЕБРЯНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ НА ОДНОМ РЕДКОМЕТАЛЬНОМ ПРОЯВЛЕНИИ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ

Рудопоявление расположено на площади докембрийского складчатого сооружения, сложенного кристаллическими сланцами нижнего протерозоя, вытягивающимися в субширотном ( $280^\circ$ ) направлении и падающими в южных румбах под углом  $50-55^\circ$ . Сланцы прорваны комплексом даек диабазовых порфиров, гранит-порфиров и онгоцитов, а также небольшим ( $150 \times 60$  м) более поздним штоком лейкократовых литий-фтористых гранитов. В пределах участка проявлено интенсивное многократное брекчирование пород на магматическом и постмагматическом этапах. Предположительно выделяются четыре этапа брекчирования. Формирование брекчированных пород происходило в близповерхностных условиях при многократных газовых прорывах. Метасоматические изменения пород в пределах участка носят площадной характер и обнаруживают переходы от грейзеновой к пропилитовой турмалин-хлоритовой формации. Во внешней зоне проявлены хлоритизация, серицитизация, турмалинизация и эпидотизация пород, сменяющиеся во внутренней зоне развитием топаза, литиевых слюд, альбита, криолита и флюорита. Выделяются следующие рудные ассоциации, соответствующие последовательным стадиям минерализации: 1 — кварц-топаз-слюдистые метасоматические зоны с рутил-касситеритовой минерализацией; 2 — кварц-касситерит-вольфрамитовые жилы и прожилки; 3 — минерализованные брекчии и жилы кварц-топаз-флюорит-криолитового состава с вольфрамитом, касситеритом, бериллом и бертрандитом; 4 — сульфидно-сульфосольные прожилки с оловянно-серебряной минерализацией.

Рудные тела представляют собой минерализованные зоны дробления, прожилково-метасоматические и жильные зоны с вкрапленным и прожилково-вкрапленным оруденением. Сульфидно-сульфосольная ассоциация является наиболее поздней, наложенной на более ранние рудные ассоциации. Наиболее интенсивно она проявлена в метасоматических зонах слюдисто-топазовых грейзенов и кварц-касситерит-вольфрамитовых жилах. Мощность прожилково-метасоматических зон составляет 5–10 см, строение их тонкополосчатое за счет чередования полос различного состава и зернистости.

Таблица 1

Содержание элементов-примесей (в мас.%) в пиритах и сфалеритах (по данным количественного спектрального анализа)

| Номер образца | Минерал  | Ассоциация                                   | As    | Sn     | Cu    | Ti    | Mn    | Mo       |
|---------------|----------|--|-------|--------|-------|-------|-------|----------|
| Ут-233г       | Пирит    | Кварц-топаз-криолит-слюдистая с сульфидами   | 0,57  | 0,63   | 0,096 | 0,063 | 0,027 | < 0,0004 |
| Ут-104        | Пирит    | Кварц-полевошпат-топаз-слюдистая с криолитом | < 0,1 | 0,0028 | 0,042 | 1,6   | 0,026 | < 0,0004 |
| Ут-131А       | Пирит    | То же  | 0,17  | 0,0045 | 0,03  | 0,33  | 0,02  | < 0,0004 |
| Ут-131        | Сфалерит | Кварц-топаз-криолит-сидеритовая с сульфидами | < 0,1 | > 1    | 0,93  | 0,19  | 1,6   | < 0,0004 |

Перемежаются полосы кварц-топазовые, топазовые и топаз-полевошпатовые. Топазовые прослои представлены микросферолитами, сноповидными, лапчатыми, иногда колломорфными агрегатами, прорастающими с кварцем и флюоритом. Топаз-полевошпатовые полосы более крупнозернистые. Зальбандовые зоны представлены тонкочешуйчатыми слюдистыми агрегатами с гнездами криолита, сидерита и вкрапленностью касситерита. Вольфрамит наблюдается в виде нитевидных мономинеральных просечек и прожилков, а также в виде тонкой вкрапленности в сульфидном агрегате. По составу он относится к фербериту с незначительной примесью гюбнеритовой молекулы. Содержание тантала в вольфрамите составляет сотые-тысячные доли процента, ниобия — сотые-десятые доли процента.

Сульфидно-сульфосольная минерализация проявлена крайне неравномерно, образует линзы, гнезда, прожилки. Среди рудных минералов преобладают пирит, арсенопирит и пирротин. В подчиненных количествах присутствуют халькопирит, галенит, сфалерит, станнин, касситерит и вольфрамит. Серебросодержащие минералы представлены канфилдитом, фрейбергитом, пираргиритом, пруститом и аргентитом. Ниже приводится характеристика важнейших рудных минералов.

Пирит и арсенопирит близки по времени выделения, но пирит, видимо, является более поздним, так как в совместных выделениях с арсенопиритом последний присутствует иногда в виде призматических включений в пирите. Размер таких включений колеблется от 0,02 до 0,1 мм. Пирит встречается в основном в виде кубических кристаллов размером 0,3–1 мм, а также мелких ксеноморфных выделений (0,03–0,01–0,3 мм). Для арсенопирита характерны выделения клиновидной и прямоугольной формы, реже — неправильные ксеноморфные зерна размером от 0,05 до 1 мм, редко 2–3 мм. Кроме арсенопирита, с пиритом ассоциируют галенит, сфалерит, халькопирит, пирротин, станнин и фрейбергит. Элементы примеси в пиритах исследованы с применением количественного спектрального метода (табл. 1). В них обнаружены примеси олова, серебра, меди, цинка, свинца, мышьяка, никеля, кобальта и других элементов. Значительное содержание большинства из этих элементов связано с присутствием микровключений самостоятельных минеральных форм — станнина, касситерита, сфалерита, галенита и арсенопирита.

Пирротин наблюдается в виде отдельных зерен и их агрегатов размером от 0,01 до 0,4 мм, часто образуя совместные выделения с халькопиритом, а также каплевидные и округлые включения в сфалерите. Кроме того, встречаются редкие мелкие включения в арсенопирите, реже — сростания пирротина с галенитом. Мельчайшие включе-

| Bi     | Ni     | V      | Ag      | Cd     | Zn    | Co     | Pb    | Cr       | Sb     | W      |
|--------|--------|--------|---------|--------|-------|--------|-------|----------|--------|--------|
| 0,0033 | 0,0042 | 0,0015 | >0,003  | 0,006  | 0,9   | 0,0051 | 0,81  | < 0,0001 | 0,019  | 0,01   |
| <0,001 | 0,003  | 0,0016 | 0,0013  | <0,005 | 0,035 | 0,016  | 0,069 | <0,0001  | <0,015 | <0,003 |
| <0,001 | 0,003  | 0,0015 | 0,00075 | <0,005 | 0,011 | 0,0087 | 0,042 | <0,001   | <0,015 | 0,012  |
| 0,014  | 0,0051 | 0,0022 | >0,003  | 0,069  | 3     | 0,011  | 0,6   | <0,001   | 0,029  | 0,016  |

Таблица 2

Химический состав сульфоселей олова и серебра по данным локального рентгеноспектрального анализа (в мас.%)

| Элементы | Фрейбергит | Станнин | Канфильдит |         | Аргентит |
|----------|------------|---------|------------|---------|----------|
|          | 1          | 2       | 3          | 4       | 5        |
| Cu       | 16,3       | 30,2    | Не опр.    | Не опр. | Не опр.  |
| Ag       | 32,2       | 0,4     | 71,3       | 72,3    | 84,0     |
| Zn       | 1,5        | 0,5     | Не опр.    | Не опр. | Не опр.  |
| Sn       | Не опр.    | 28,0    | 9,8        | 9,6     | "        |
| Fe       | 4,6        | 11,8    | Не опр.    | Не опр. | "        |
| Sb       | 24,4       | Не опр. | "          | "       | "        |
| S        | 22,1       | 29,6    | 16,8       | 16,8    | 13,5     |
| As       | Не обн.    | Не обн. | Не обн.    | Не обн. | Не обн.  |
| Bi       | "          | "       | "          | "       | Не опр.  |
| Se       | Не опр.    | Не опр. | "          | "       | "        |
| Te       | "          | "       | "          | "       | "        |
| Ge       | "          | "       | "          | "       | "        |
| Сумма    | 99,1       | 100,5   | 97,9       | 98,7    | 97,5     |

Примечание. Анализы выполнены К.В. Юркиной (ВИМС).

Кристаллохимические формулы

1.  $(Cu_{4,83}Ag_{5,64}Fe_{1,55}Zn_{0,43})_{12,47}Sb_{3,47}S_{13}$ ;
2.  $Cu_{2,06}Fe_{0,92}Sn_{1,02}Zn_{0,03}Ag_{0,02}S_4$ ;
3.  $Ag_{7,8}Sn_{0,98}S_6$ ;
4.  $Ag_{7,7}Sn_{0,93}S_6$ ;
5.  $Ag_{2,04}S$ .

ния пирротина (0,001–0,004 мм) в халькопирите и сфалерите, вероятно, образовались в результате распада твердого раствора, возникшего вследствие понижения температуры в ходе процесса минералообразования. В единичных случаях в пирротине наблюдаются микроскопические выделения вытянутой формы более светлого минерала. С помощью микрозонда удалось установить, что это никельсодержащий сульфид, предположительно пентландит. По мелким трещинкам наблюдается замещение пирротина марказитом. На основании проведенных исследований выделяются две генерации пирротина: пирротин первой генерации близок по времени образования к пириту и арсенипириту, но более ранний по сравнению с ними. Он представлен самостоятельными выделениями и сростаниями с халькопиритом, касситеритом, реже с рутилом; пирротин второй генерации образовался в результате распада твердого раствора и наблюдается в тесной ассоциации с галенитом, сфалеритом, станнином и мелкими выделениями халькопирита второй генерации.

Галенит, сфалерит и халькопирит, как правило, находятся в тесной ассоциации и образуют совместные тонкие сростания. Часто с этими минералами ассоциирует станнин и в единичных случаях – фрейбергит. Эта ассоциация обнаруживает признаки более поздней кристаллизации в сравнении с пиритом и арсенипиритом. Халькопирит после пирита является наиболее часто встречающимся сульфидом. Он представлен двумя генерациями. Ранняя генерация образует самостоятельную рассеянную вкрапленность в грейзенизированных сланцах в виде зерен размером 0,02–0,5 мм, а также сростания с пиритом, арсенипиритом и пиротином. Вторая генерация представляет эмульсионную вкрапленность в сфалерите, а также тонкие сростания с галенитом и сфалеритом. Галенит формирует ксеноморфные агрегаты размером 0,05–1 мм, выполняющие свободное пространство между зернами и кристаллами других минералов. Он часто образует включения в арсенипирите, реже – пирите (от 0,006 до 0,1 мм),



Рис. 1. Канфильдит (1) и касситерит (3) в пирротине (2)

*а* — в поглощенных электронах; в рентгеновском характеристическом излучении: *б* — серебра, *в* — олова, Увел. 800

частично корродирует и замещает более ранние сульфиды. Рентгеноспектральным методом в монофракциях галенита установлено высокое содержание серебра (7–10%). При детальном исследовании галенита локальным рентгеноспектральным анализом в нем обнаружены включения фрейбергита и самородного серебра. Сфалерит образует тонкие сростания с галенитом и халькопиритом, а также встречается в виде самостоятельных выделений размером 0,03–1 мм и в виде включений в арсенипирите и пирите. В наиболее крупных выделениях сфалерита наблюдаются продукты распада твердого раствора — включения халькопирита, станнина, реже пирротина. По данным количественного спектрального анализа сфалерит содержит примеси олова, меди, титана, висмута, никеля, ванадия, серебра, сурьмы и вольфрама (табл. 1). Значительное содержание большинства из этих элементов, так же как и в пиритах, связано с микровключениями самостоятельных минеральных форм. Олово и медь — генетически важные примеси в сфалерите и связаны как с хорошо наблюдаемыми микровключениями станнина, так и с изоморфным вхождением в структуру сфалерита [4]. Оловосодержащий сфалерит является характерной минералогической особенностью Боливийских оловянно-серебряных месторождений, также известен на Циновце, Корнуолле и других грейзеновых оловянных месторождениях.

Станнин встречается редко, в основном в виде мелких ксеноморфных выделений (0,05–0,15 мм), ассоциирующих с халькопиритом, сфалеритом и пирротинном, реже галенитом и касситеритом. По данным локального рентгеноспектрального анализа станнин содержит 0,4% серебра (табл. 2).

Канфильдит обнаружен в тесной ассоциации со станнином и касситеритом (рис. 1) и является одним из наиболее поздних минералов сульфидно-сульфосольной ассоциации. Он отмечен в единичных случаях в виде мелких (0,02 мм) изометричных включений в пирротине наряду с включениями касситерита. Химический состав канфиль-

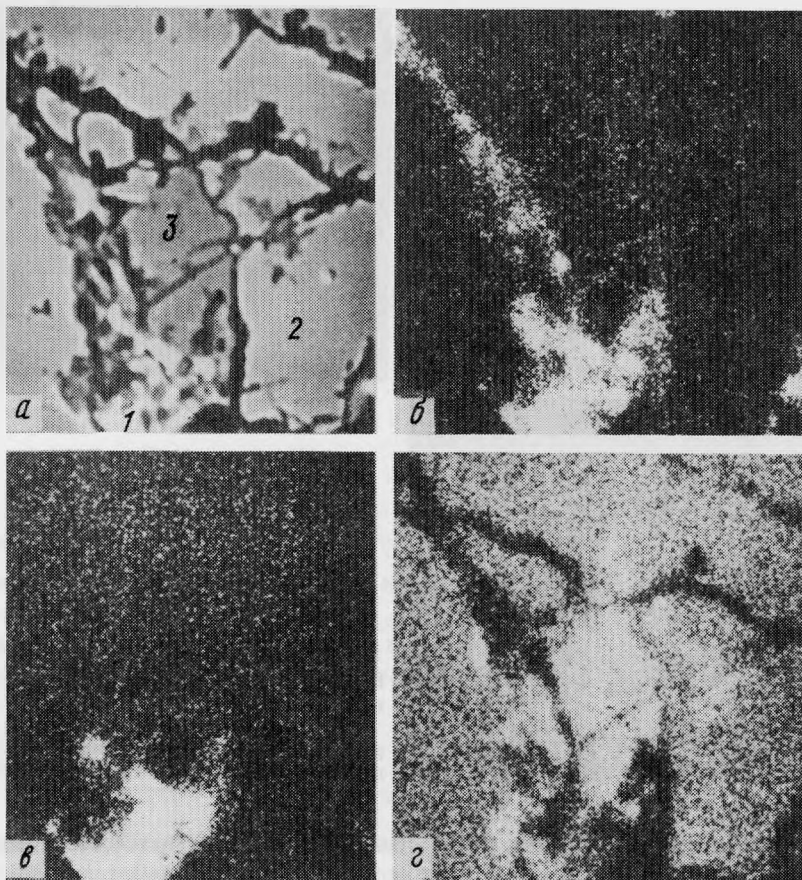


Рис. 2. Срастание пирраргирита с фрейбергитом (1) в ассоциации с пиритом (2) и халькопиритом (3)  
*a* — в поглощенных электронах; в рентгеновском характеристическом излучении: *б* — серебра,  
*в* — сурьмы, *г* — серы. Увел. 800

дита (см. табл. 2) отличается от канфильдитов, близких по генезису, отсутствием таких изоморфных примесей, как селен и теллур, элементов, особенно характерных для канфильдитов из полиметаллических месторождений [1–3, 6]. Эти вариации состава, по-видимому, отражают специфику генезиса минерала.

Фрейбергит — основной серебряный материал в сульфидной ассоциации. Он установлен в виде мельчайших (0,1 мм) округлых выделений в галените, реже — в сфалерите. Более мелкие (0,01 мм) выделения в ассоциации с касситеритом наблюдаются в пирротине, сростки с пирраргиритом размером 0,04 мм установлены в пирите и халькопирите (рис. 2). По данным локального рентгеноспектрального анализа фрейбергит относится к разновидности, в которой железо резко преобладает над цинком. Важной особенностью состава фрейбергита является высокое содержание серебра (см. табл. 2).

Аргентит, прустит и пирраргирит встречаются редко в виде примазок, мелкодисперсных зернистых агрегатов и зерен размером 0,05 мм. Совместно с фрейбергитом они образуют включения в сульфидах, а также установлены в гётите, замещающем вольфрамит (рис. 3). Иногда вместе с этими минералами находится тонкая сыпь зернышек самородного серебра. Установленные серебряносодержащие минералы представляются наиболее поздними образованиями в сульфидной ассоциации. Большая часть этих минералов, по-видимому, развивается в результате замещения фрейбергита под

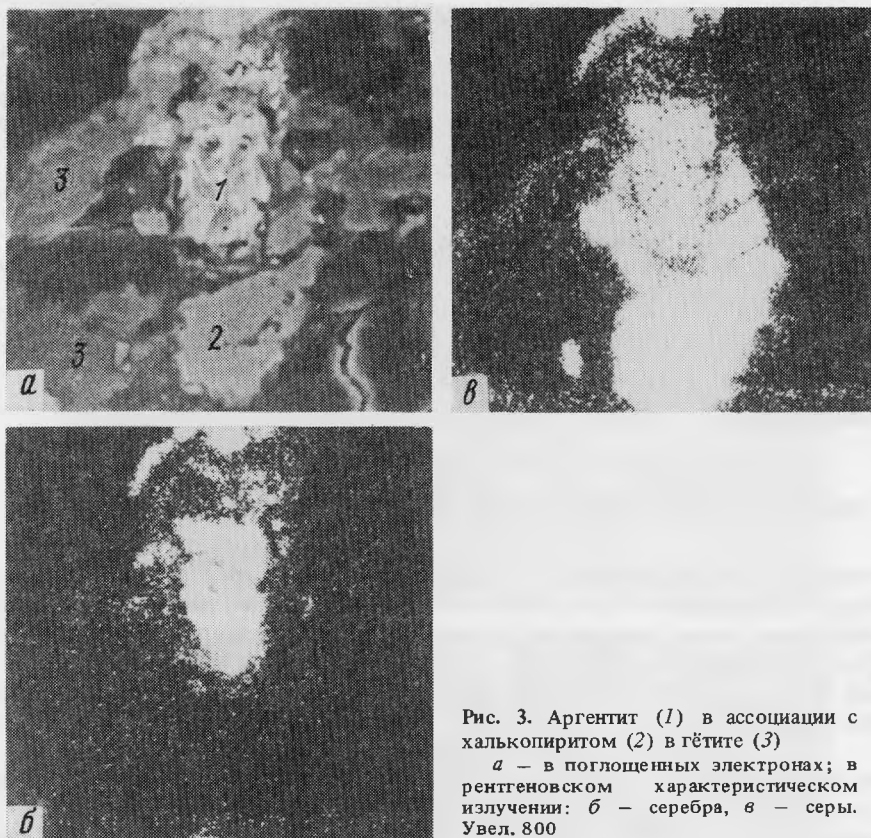


Рис. 3. Аргентит (1) в ассоциации с халькопиритом (2) в гётите (3)  
*a* — в поглощенных электронах; в рентгеновском характеристическом излучении: *б* — серебра, *в* — свинца.  
 Увел. 800

воздействием низкотемпературных остаточных растворов. Химический состав аргентита приведен в табл. 2, прустит и пираргирит определены по данным качественного рентгеноспектрального анализа. Этим же методом установлены тончайшие включения самородного серебра в кварц-альбитовом агрегате основной массы даек онгонитов, содержащих от 30 до 100 г/т серебра (данные количественного рентгенорадиометрического анализа).

#### ВЫВОДЫ

1. В рудах комплексного криолит-олово-вольфрамового проявления выявлена оловянно-серебряная минерализация, представленная высокосеребряной разновидностью фрейбергита, канфильдитом, аргентитом, пираргиритом, пруститом и самородным серебром. Оловянно-серебряная минерализация является наиболее поздней ассоциацией, завершающей грейзеново-гидротермальный процесс минералообразования.

2. Широко проявленная сереброносность рудных минералов наряду с такими геологическими особенностями, как пространственная и генетическая связь оруденения с субвулканическими порфиристыми фациями гранитоидных пород, широкое развитие магматических и рудных брекчий, телескопирование, развитие тонкозернистых структур минеральных агрегатов позволяют отнести оруденение к близповерхностным грейзеновым образованиям, сопоставимым с Боливийскими вольфрам-олово-серебряными месторождениями [5, 7].

3. Неравновесность оловянно-серебряной минерализации с грейзеновым парагенезисом позволяет предполагать, что выявленное на поверхности проявление представлено верхней слабо эродированной частью сложной многостадийной рудогенерирующей системы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Некрасова А.Н., Бородаев Ю.С. Первая находка селеносодержащего канфилдита // Докл. АН СССР. 1972. Т. 203, № 4. С. 907–910.
2. Онтоев Д.О., Тронева Н.В., Цепин А.И., Вяльцев Л.Н. Первая находка теллуристого канфилдита // Докл. АН СССР. 1971. Т. 201, № 3. С. 693–696.
3. Подольский А.М., Рябова Е.Г., Юркина К.В. и др. Первая находка чистого канфилдита в СССР // Докл. АН СССР. 1977. Т. 235, № 5. С. 1174–1177.
4. Рамдор П. Рудные минералы и их сростания. М.: Мир, 1962. 1132 с.
5. Терноф Ф. Сравнительная характеристика главных рудных месторождений Центральной Боливии // Проблемы эндогенных месторождений. М.: Мир, 1964. С. 197–233.
6. Harris D.C., Owens D.R. A tellurium-bearing canfieldite, from Revelstoke // Canad. Miner. 1971. Vol. 10, pt 5. P. 895–898.
7. Turneaure F.S. The Bolivian tin-silver province // Econ. Geol. 1971. Vol. 66. P. 215–225.

УДК 553.491.4.553.48

А.И. ПОНОМАРЕНКО, В.А. КОВАЛЕНКЕР, Н.В. ТРОНЕВА

### СОСТАВ И ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РЬ-СОДЕРЖАЩЕГО ПАРКЕРИТА

В зоне верхнего эндоконтакта сплошных сульфидных руд на одном из участков развития симплектитовых сростков галенита с мойхукитом, пирротиниом и пентландитом обнаружена новая разновидность минерала из ряда паркерит ( $\text{Ni}_3\text{Bi}_2\text{S}_2$ ) – шандит ( $\text{Ni}_3\text{Pb}_2\text{S}_2$ ) – Pb-содержащий паркерит.

Ранее на этом же месторождении был обнаружен и изучен обычный паркерит без заметных содержаний свинца и сурьмы – не более первых десятых долей процента [2].

Сульфидные руды на данном участке представлены в основном мойхукитом, пирротиниом и пентландитом с подчиненным значением галенита и магнетита.

Преимущественно среди мойхукита находятся каплевидные выделения сложного зонального строения размером от 0,2–0,3 до 6–8 мм, которые представлены самородными элементами и нитерметаллидами и с которыми связано образование Рb-содержащего паркерита. В строении каплевидных выделений установлена определенная закономерность. Так, выделения размером 0,1–0,3 мм имеют более простое строение, т.е. их центральные участки обычно представлены золотом, а периферия – сплошной каймой из кристаллов паркерита, ориентированных по нормали к поверхности ядра обособления.

В строении более крупных выделений, кроме золота, в их центре расположены такие минералы палладия, как соболевскит ( $\text{PdBi}$ ) и фрудит ( $\text{PdBi}_2$ ). Характер внешней оторочки остается прежним, т.е. сложен паркеритом. В более крупных (до 3 мм) выделениях мощность паркеритовой оторочки достигает 0,4–0,7 мм, ее строение мозаичное, размер отдельных кристаллов – до 0,05–0,65 мм, ориентировка их произвольная. В поляризованном свете Рb-содержащий паркерит обнаруживает полисинтетическое двойниковое строение. В крупных обособлениях (до 8 мм) проявляется классическая зональность, в центре (до 1 мм) образовано изометрическое зерно паоловита ( $\text{PdSn}$ ) с тончайшими просечками фрудита и минерала, обладающего сильным двуотражением и сильной анизотропией в черно-белых тонах. Паоловит окружен каймой (0,7–1,1 мм) кабриита ( $\text{Pd}_2\text{SnCu}$ ), состоящей из агрегата ксеноморфных кристаллов размером от 0,02–0,05 до 0,08–0,12 мм, при этом крупность зерен увеличивается от центра к периферии, для большинства из них характерно полисинтетическое двойниковое строение. Среди зерен кабриита распространены включения фрудита и золота (0,01–0,03 мм), при этом количество включений золота заметно увеличивается к внешней зоне кабриита. Далее от центра зона кабриита окружена сплошной пленкой золота (0,01–0,2 мм). И наконец, после золота расположена внешняя оторочка (0,01–