

**Минералого-геохимическая характеристика эпитермального Au-Ag рудообразования в тыловой зоне Охотско-Чукотского вулканогенного пояса**

**Колова Е.Е.**

**Mineralogical and geochemical characteristics of epithermal Au-Ag ore formation in the rear zone of the Okhotsk-Chukotka volcanogenic belt**

**Kolova E.E.**

Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт ДВО РАН,  
г. Магадан;

e-mail: kolova@neisri.ru

Au-Ag месторождение Печальное сформировалось в два этапа в пределах тыловодужного рифта Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. Основная минеральная рудная ассоциация представлена серебро-селенидным типом, которая, согласно фазовым равновесиям  $\text{Ag}_2\text{S}-\text{Ag}_2\text{Se}$ , образовалась при температурах 178-87 °С.

Золото-серебряное эпитермальное месторождение Печальное, открытое в 1984 г., по своему расположению, геологическому строению и структуре рудного поля контрастно отличается от известных на СВ России объектов этого типа: 1) локализуется в тыловой зоне Охотско-Чукотского вулканогенного пояса (ОЧВП) на удалении более чем 200 км от его осевой части, в крайней северо-восточной зоне Балыгычанского поднятия; 2) рудное поле, площадь которого составляет порядка 5 км<sup>2</sup>, приурочено к экструзивно-купольному поднятию (Майская вулканоструктура), являющемуся частью проявления локального вулканического ареала площадью около 100 км<sup>2</sup>, известного как печальнинский трахибазальт-трахириолитовый комплекс кампанского возраста [3], состоящий из вулканогенно-терригенных, субвулканических и жерловых образований; 3) расположено в экзоконтакте Верхне-Оротуканского массива, сложенного лейкократовыми гранитами Омсукчанского комплекса, возраст которого принят 87-81 млн лет [3]; 4) в рудном поле выявлено 45 жильных тел и кварцевое тело, залегающее согласно с подошвой конгломератовой пачки печальнинского комплекса; 5) жильные тела имеют плитообразную форму (падение 50-75°), мощность от 0.1 до 3 м, одна жила 6.2 м, протяженность 200-300 м, простираение преимущественно субширотное, группируются в три жильно-прожилковые зоны, образующие линзовидные кулисы мощностью до 300 м и протяженностью 1.2-4.1 км; субгоризонтальное кварцевое тело имеет площадь 1.3 км<sup>2</sup>, мощность от 0.5 до 6.8 м; 6) состав рудных тел кварц-адуляровый, кварцевый, кварц-карбонатный, иногда кварц-флюоритовый, количество рудной минерализации не более 3 %; 7) рудные тела локализируются в нижнеюрских ороговикованных терригенных породах, концентрируясь вокруг экструзии трахириолитов печальнинского комплекса, но при этом не проникая ни в нее, ни в покровы базальтов; 8) трахириолиты повсеместно сильно пропилитизированы, вблизи от жил развиты кварц-серицит-гидрослюдистые, кварц-адуляровые, монокварцевые метасоматиты и аргиллизиты; 9) отношение Au:Ag – 1:40-1:60.

Исследованиями 2023 г. была охвачена центральная часть рудного поля, отобраны образцы руд из полотна поверхностных горных выработок и керн колонковых скважин.

По содержанию химических элементов (спектральный анализ, ЦКП СВКНИИ ДВО РАН, n=46) наши образцы делятся на четыре группы: (1) Au 18.3 г/т, Ag 20 г/т, Ge 7 г/т; (2) Zn до 325 г/т, Pb до 244 г/т, As до  $4.6 \cdot 10^3$  г/т; (3) As до  $21 \cdot 10^3$  г/т, Sb до 375 г/т, Ag до 20 г/т, Ni до 66 г/т, Co до 222 г/т; (4) Bi до 94 г/т, As до  $4.9 \cdot 10^3$  г/т, Ni до 76 г/т, Co до 211 г/т, Zn до 170 г/т, W до 15 г/т. Полученные геохимические данные согласуются с ранее использованными для оценки рудного потенциала методами неиерархической классификации и горизонтальных сечений [2].

Каждая выделенная группа имеет текстурно-структурные и минералогическо-геохимические особенности. Текстуры образцов первой группы колломорфно-полосчатые, каркасно-пластинчатые, гребенчатые, кокардовые, брекчиевые, иногда массивные (рис. 1а-г). Полосчатость обусловлена чередованием белого с оттенками розового и оранжевого цветов, скрытокристаллического, мелкозернистого и халцедоновидного кварца, адуляра (рис. 1б) и гнездово-вкрапленной рудной минерализацией. Мощность прослоев с рудной минерализацией не превышает 0.5 см. (рис. 1а). Количество рудной минерализации 1 %, редко до 3 %. Образцы второй группы имеют прожилковую, массивную, кавернозную текстуры (рис. 1д). Прожилки сложены среднезернистым, иногда сахаровидным кварцем. Границы прожилков извилистые. Рудная минерализация гнездово-вкрапленная, размещается преимущественно в тонких, ветвящихся прожилках, сопровождающих более мощные (рис. 1д), ее количество не превышает 3 %. Образцы третьей и четвертой групп характеризуются прожилковой, массивной и брекчиевой текстурами (рис. 1е-з). Прожилки имеют ровные, рвущие контакты. Сложены серым, белым, полупрозрачным кварцем мелкозернистой до скрытокристаллической структуры. Брекчии сложены сульфидно-кварцевыми агрегациями, сцементированными серым, скрытокристаллическим кварцем (рис. 1з). Количество рудной минерализации в таких образцах достигает 40 %.

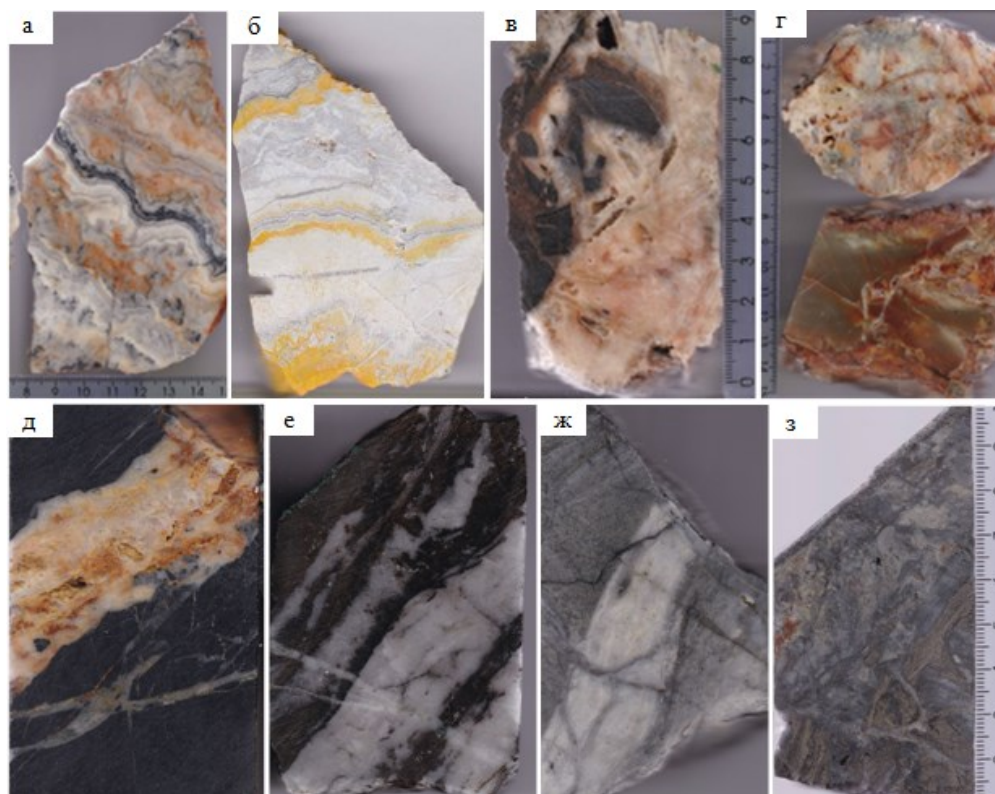


Рис. 1. Текстуры руд месторождения Печальное: а-б – колломорфно-полосчатая (б – реакционная окраска на выявление К-содержащих минералов); в – каркасно-пластинчатая в агрегации с брекчиевой; г – массивная в агрегации с кавернозной (верхний образец кварц-флюоритовая жила, нижний – халцедоновый прожилок); д-ж – прожилковая; з – брекчиевая.

Рудная минерализация распределена преимущественно неравномерно, формирует облачные скопления. Размер минеральных зерен до 250 мкм, в среднем 50-100 мкм.

В образцах первой группы преобладают минералы ряда акантит-науманнит. Из массива полученных микрорентгеноспектральных данных (n=247 определений) 17 % отвечают составу акантита; 14 % – акантита с примесью Se до 5 вес. %; 66 % – близки агвилариту, с вариацией Se от 5 до 16.8 вес. %; 3 % – науманнита с примесью S от 1.9 до 2.5 вес. % (рис. 2а). Селен образует в зернах наибольшие скопления в центральных и

краевых частях. Второй по распространенности минеральный ряд штернбергит-аргентопирит. Вариации Ag от 33.6 до 54.3 вес. %, единичные случаи наличия Cu до 4.4 вес. % и Se до 3.2 вес. %. Часто наблюдается минералы из группы полибазита-пирсеита с вариациями Se от 0.78 до 7.3 вес. %, Sb от 1.9 до 10.1 вес. %, As до 3.7 вес. %, в крайних значениях соответствуя биллингслеиту и селенополибазиту. Следующим по распространенности минеральным рядом в образцах первой группы является канфильдит-аргиродит, преимущественно соответствуя аргиродиту и имея постоянную примесь Se до 5.7 вес. % и Fe до 1.9 вес. %. В парагенезисе с перечисленными минералами, образуя тесные сростания, присутствует Au-Ag твердый раствор – 87 % всех анализов соответствует кюстелиту, 12 % электруму (рис. 2б). Редко, но диагностируется ютенбогартит. В его составе вариации Au от 30.2 до 41.9 вес. %, в единичных случаях присутствует Se до 3.6 вес. %. Из сульфидов в этих образцах имеется пирит, обладающий постоянной примесью Zn до 1.36 вес. %, сфалерит с примесью Fe до 8.5 вес. % и арсенопирит с примесью Sb до 1.5 вес. %.

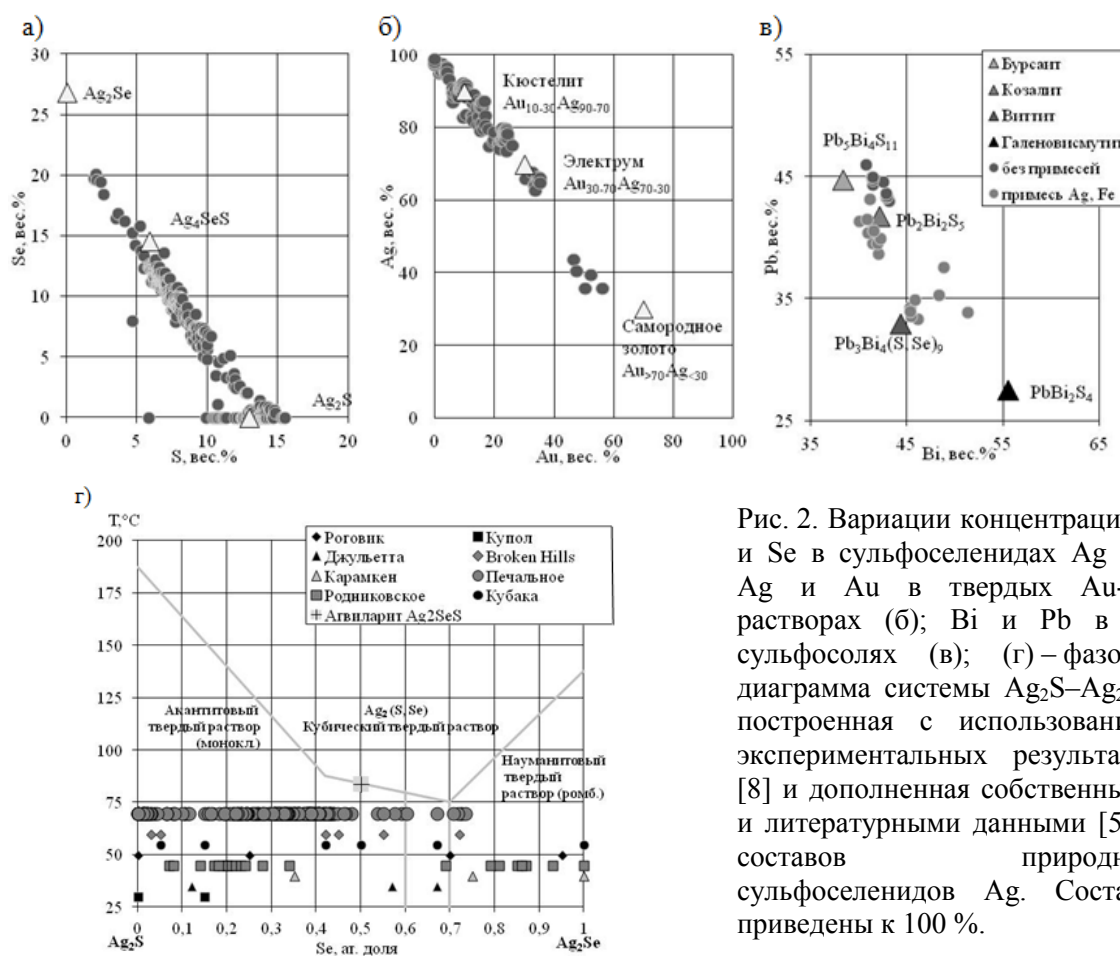


Рис. 2. Вариации концентраций S и Se в сульфоселенидах Ag (а); Ag и Au в твердых Au-Ag растворах (б); Bi и Pb в их сульфосолях (в); (г) – фазовая диаграмма системы  $Ag_2S$ – $Ag_2Se$ , построенная с использованием экспериментальных результатов [8] и дополненная собственными и литературными данными [5, 6] составов природных сульфоселенидов Ag. Составы приведены к 100 %.

В образцах второй-четвертой групп минеральный состав схож. Наиболее распространенный минерал – пирит. Преимущественно он образует фрамбоидальные, скелетные агрегаты, зачастую зональной структуры. Его скопления имеют струйчатые, «кружаччатые» формы. Редко встречается идиоморфный пирит, но он катаклазирован. В составе пирита присутствуют примеси As до 2 вес. %, Sb до 0.4 вес. %, редко Cu до 2.4 вес. %. Второй по распространенности минерал – арсенопирит. Обычно формирует крупные идиоморфные кристаллы, краевые зоны которых кавернозные, каверны иногда заполнены сульфидами Ag. Имеются агрегаты арсенопирита скелетных форм. Арсенопирит часто катаклазирован. В составе арсенопирита в 80 % случаев установлены примеси Sb до 2.7 вес. %, Co до 3.1 вес. % и Ni до 2.7 вес. %. Состав арсенопирита эволюционирует до глаукодота, в котором количество Co варьирует от

6.3 до 14.9 вес. %, Ni от 1.1 до 4.7 вес. %. В парагенезисе с пиритом редко встречается халькопирит. Он имеет стехиометричный состав. В образцах с повышенным Bi микрорентгеноспектральным анализом установлены сульфосоли Bi и Pb, сульфотеллуриды, висмутин и висмут самородный. По соотношениям Bi и Pb в сульфосолях их составы близки преимущественно к козалиту, реже к виттиту (рис. 2в). 70 % изученных их агрегатов содержат примеси Fe до 0.8 вес. % и Ag до 7.1 вес. %. Сульфотеллуриды имеют вариации Te от 6.6 до 14.3 вес. % и примесь Pb до 6.1 вес. %, что позволяет их отнести к баксаниту и сульфожозеиту.

Проведенные исследования дают возможность сделать вывод о том, что в рудном поле месторождения Печальное проявлено два этапа рудообразования – высокотемпературный и низкотемпературный. Первый этап имеет As-Bi-Te-Co-Ni-W-Pb-Zn геохимическую специализацию, второй – Ag-Au-Se. Минералы первого этапа характерны для высокотемпературных скарновых и полиметаллических месторождений, связанных со становлением гранитных массивов. В данном случае, генератором рудообразования мог выступать Верхне-Оротуканский массив, в экзоконтакте которого находится рудное поле. Температуры формирования руд второго этапа в соответствии с фазовыми равновесиями псевдобинарной системы  $Ag_2S$ - $Ag_2Se$  [8] оцениваются в 178-87 °C (рис. 2г). Наличие широкого спектра минеральных рядов с вариациями Ag, S, Se, Au, Fe, Sb, Ge, Sn свидетельствуют о скоротечности и низкоградиентности процесса рудообразования. Второй этап по минералогическим параметрам отвечает рудообразованию, связанному с вулканогенным процессом. Полученные результаты напрямую согласуются с выводами геохимических исследований [2] о наличии двух типов оруденения – сильно эродированного высокотемпературного Au-кварцевого и наложенного на него и также сильно эродированного низкотемпературного Au-Ag.

По минеральному составу, значительному распространению Se-содержащих минералов и вариаций S и Se в них (рис. 2г), которые являются прямым следствием их фугитивности в гидротермальном процессе, руды второго этапа месторождения Печальное проявляют схожесть со многими Au-Ag эпитермальными месторождениями СВ России [5, 6] и Пацифики [7]. По структуре рудного поля и минеральному составу руд наиболее близкий аналог месторождению Печальное является месторождение Аметистовое [1, 4]. Имея сходные черты с промышленно значимыми рудными объектами, месторождение Печальное, тем не менее, является непромышленным объектом с прогнозными ресурсами Au 3-4 т, Ag 150 т [3].

### Список литературы

1. Бортников Н.С., Толстых Н.Д. Эпитермальные месторождения Камчатки // Геология рудных месторождений. 2023. Т. 65. № 7. С. 722-752.
2. Каменихин Н.Т. Геохимические способы определения ярусов оруденения на ранних стадиях исследования // Разведка и охрана недр. 2006. № 1. С. 39-45.
3. Кузнецов В.М., Жигалов С.В., Ведерникова Т.А., Шпикерман В.И. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Верхояно-Колымская. Лист Р-56 Сеймчан. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2008. 426 с.
4. Некрасов И.Я. Вулкано-купольная структура Аметистового месторождения и зональность золото-серебряного оруденения // Доклады РАН. 1996. Т. 347. № 4. С. 509-511.
5. Пальянова Г.А., Кравцова Р.Г., Журавкова Т.В. Твердые растворы  $Ag_2(S, Se)$  в рудах золото-серебряного месторождения Роговик (Северо-Восток России) // Геология и геофизика. 2015. Т. 56. № 12. С. 2198-2211.
6. Савва Н.Е. Минералогия серебра Северо-Востока России / Науч. ред. А.А. Сидоров. М.: Триумф, 2018. 544 с.
7. Cocker H.A., Mauk J.L., Rabone S.D.C. The origin of Ag-Au-S-Se minerals in adularia-sericite epithermal deposits: constraints from the Broken Hills deposit, Hauraki Goldfield, New Zealand // Mineralium Deposita. 2013. V. 48. P. 249-266.
8. Pingitore N.E., Ponce B.F., Estrada L. et. al. Calorimetric analysis of the system  $Ag_2S$ - $Ag_2Se$  between 25 and 250°C // Journal of Materials Research. 1993. V. 8. P. 3126-3130.