

## **О формах нахождения благородных металлов в рудах Камчатского края**

**В.М. Округин, Ш.С. Кудяева, С.В. Москалева, О.А. Зобенько, Е.Д. Скильская,  
Д.А. Яблокова, Т.М. Философова, В.М. Чубаров, К.О. Шишканова**

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский,  
683006; e-mail: [okrugin74@gmail.com](mailto:okrugin74@gmail.com)*

Благороднометалльная минерализация имеет исключительно важное значение для экономики Камчатского края. В процессе разработки рудных объектов происходит формирование техногенных месторождений. Для разработки и извлечения важных в промышленном отношении металлов и соединений необходима разработка безотходных технологий их комплексного извлечения.

На территории Камчатского края (КК) присутствуют практически все известные Человечеству полезные ископаемые. На конец 2020 г. учтено более 400 месторождений: газ горючий – 4, твёрдые горючие полезные ископаемые – 113 (угли – 7, торф – 106), теплоэнергетические воды – 16, благородные и цветные металлы – 71: золотосеребряные – 66, платиноиды – 5, цветные – 4, ртути – 3; питьевых и технических подземных вод – 74, минеральных вод – 3; общераспространенные (гравий, стройматериалы) – 238.

Следует отметить наличие более 300 точек с аномальной благороднометалльной минерализацией, значительная часть которых может быть переведена в разряд рудопроявлений и месторождений.

Благородные металлы – группа инертных металлов, встречающихся в природе, обычно, в чистом виде. Она включает золото, серебро, платину, осмий, иридий, палладий, родий и рутений, получившие такое название за необычайно высокую химическую стойкость.

По данным USGS (Геологическая служба США) на 2017 г. наибольшими запасами золота обладает Австралия – 9 800 т; второе место занимает ЮАР – 6 000 т; на третьем располагается Россия с запасами порядка 5 500 т [3].

Крупнейшие месторождения золота и серебра сформировались миллиарды и сотни миллионов лет назад. В ходе последующего геологического развития они подверглись длительному воздействию разнообразных эндогенных и экзогенных факторов [1, 2].

Руды золоторудных и комплексных золото-серебро-полиметаллических месторождений КК сформировались в интервале от 70 миллионов лет до первых сотен и десятков тысяч лет. На некоторых месторождениях процессы рудообразования продолжают в настоящее время. Это одна из главнейших причин удивительного разнообразия текстурно-структурных особенностей, минерального состава и отсутствия классической зональности рудных объектов региона.

В 2018 г. производство благородных металлов в КК составило: золото – 3 986 кг, серебро – 12 518 кг, платина 52.2 кг (по данным Министерства природных ресурсов КК).

Руды благородных металлов отличаются большим разнообразием минерального и химического составов (таблица), неоднородным микростроением, наноразмерными формами нахождения важных в промышленном отношении химических элементов, широким формационным спектром от золотокварцевых до меднопорфировых и ликвационных медно-никелевых. Это полихронные и полигенные комплексные объекты.

Основное промышленное значение имеют самородное золото, второстепенное – кюстелит (Au около 10-20 %), теллуриды и селениды.

Важными особенностями золотоносных руд КК являются: присутствие самородного золота, как свободного (в жильном кварце), так и связанного (в виде микровключений в рудных минералах); исключительно мелкие размеры. Более 80 % минералов благородных металлов в рудах находится в виде наноразмерных частиц. Они могут уходить в «хвосты» и накапливаться в хвостохранилищах с формированием вторичных антропогенных (техногенных) месторождений.

Для повышения эффективности ГОКов и минимизации негативного воздействия на окружающую среду целесообразна оперативная корректировка технологических схем извлечения, разработка новейших «безотходных технологий». Необходимость их внедрения будет возрастать по мере развития горнорудной деятельности.

Таблица. Минеральный состав руд месторождений Камчатского края

| Минерал  | Формула               | Минерал                      | Формула                       |
|--|-----------------------|------------------------------|-------------------------------|
| <i>Самородные, сплавы, интерметаллические соединения</i> |                       | реальгар                     | $As_4S_4$                     |
| самородное золото  | Au                    | молибденит                   | $MoS_2$                       |
| электрум   | (25<Au<75 %)          | ютенбогаардтит               | $Ag_3AuS_2$                   |
| кюстелит   | (Au<25 %)             | ленаит                       | $AgFeS_2$                     |
| самородное серебро                                       | Ag                    | штернбергит                  | $AgFe_2S_3$                   |
| самородный теллур  | Te                    | прустит                      | $Ag_3AsS_3$                   |
| самородный селен   | Se                    | ксантоконит                  | $Ag_3AsS_3$                   |
| самородный мышьяк  | As                    | овихиит                      | $Ag_2Pb_5Sb_6S_{15}$          |
| самородное железо  | Fe                    | сакураит                     | $(Cu,Zn,Fe)_3(In,Sn)S_4$      |
| самородная медь  | Cu                    | тетрадимит                   | $Bi_2Te_2S$                   |
| самородный висмут  | Bi                    | пираргирит                   | $Ag_3SbS_3$                   |
| самородная сера  | S                     | стефанит                     | $Ag_5SbS_4$                   |
| мошеллансбергит  | $Ag_5Hg_8$            | стибиопирсеит-арсенполибазит | $(Ag,Cu)_{16}(As,Sb)_2S_{11}$ |
| богдановит   | $(Au,Te,Pb)_3(Cu,Fe)$ | борнит                       | $Cu_5FeS_4$                   |
| бессмертновит  | $Au_4Cu(Te,Pb)$       | люционит                     | $Cu_3(As,Sb)S_4$              |
| билибинскит  | $Au_3Cu_2PbTe_2$      | фаматинит                    | $Sb_4Cu$                      |
| <i>Сульфиды и сульфосоли</i>                             |                       | энаргит                      | $Cu_3AsS_4$                   |
| пирит  | $FeS_2$               | бурнонит                     | $CuPbSbS_3$                   |
| марказит   | $FeS_2$               | буланжерит                   | $Pb_5Sb_4S_{11}$              |
| сфалерит   | ZnS                   | джермсонит                   | $FePb_4Sb_6S_{14}$            |
| халькопирит  | $CuFeS_2$             | колусит                      | $Cu_{13}As_4S_{16}$           |
| галенит  | PbS                   | моусонит                     | $Cu_6Fe_2SnS_8$               |
| алабандин  | MnS                   | станноидит                   | $Cu_8(Fe,-Zn)_3Sn_2S_{12}$    |
| аргентит   | $Ag_2S$               | станнит                      | $Cu_2FeSnS_4$                 |
| киноварь   | HgS                   | канфильдит                   | $Ag_3SnS_6$                   |
| арсенопирит  | FeAsS                 | диафорит                     | $Ag_3Pb_2Sb_3S_8$             |
| пирротин   | FeS                   | линнаит                      | $Co^{+2}Co^{+3}_2S_4$         |
| ковеллин   | CuS                   | ходрушит                     | $Cu_8Bi_{12}S_{22}$           |
| халькозин  | $Cu_2S$               | бертьерит                    | $FeSb_2S_4$                   |
| антимонит  | $Sb_2S_3$             | галеновисмутит               | $PbBi_2S_4$                   |
| аурипигмент  | $As_2S_3$             | гринокит                     | CdS                           |

Таблица. Продолжение

|                  |                                   |                     |  |
|------------------|-----------------------------------|---------------------|--|
| гудмундит        | FeSbS                             | риккардит           | $\text{Cu}_{4-x}\text{Te}_2$                         |
| леллингит        | $\text{FeAs}_2$                   | вулканит            | $\text{CuTe}$  |
| рокезит          | $\text{CuInS}_2$                  | вейссит             | $\text{Cu}_{2-x}\text{Te}_2$                         |
| индит            | $\text{FeIn}_2\text{S}_4$         | <b>Селениды</b>     |  |
| кадмоиндит       | $(\text{CdIn}_2\text{S}_4)$       | клаусталит          | $\text{PbSe}$  |
| джалиндит        | $\text{In}(\text{OH})_3$          | науманнит           | $\text{Ag}_2\text{Se}$                               |
| пентландит       | $(\text{Fe,Ni})_9\text{S}_8$      | агвиларит           | $\text{Ag}_4\text{SeS}$                              |
| <b>Теллуриды</b> |                                   | пенжинит            | $(\text{Ag,Cu})_4\text{Au}(\text{S,Se})_4$           |
| гессит           | $\text{Ag}_2\text{Te}$            | светланит           | $\text{SnSe}$  |
| теллуровисмутит  | $\text{Bi}_2\text{Te}_3$          | <b>Блеклые руды</b> |  |
| кавазулит        | $\text{Bi}_2(\text{Te,Se,S})_3$   | тетраэдрит          | $\text{Cu}_{10}\text{Fe}_2\text{Sb}_4\text{S}_{13}$  |
| скиппенит        | $\text{Bi}_2\text{Se}_2\text{Te}$ | теннантит           | $\text{Cu}_{10}\text{Fe}_2\text{As}_4\text{S}_{13}$  |
| петцит           | $\text{Ag}_3\text{AuTe}_2$        | фрейбергит          | $\text{Ag}_{10}\text{Zn}_2\text{Sb}_4\text{S}_{13}$  |
| сильванит        | $\text{AuAgTe}_2$                 | голдфилдит          | $\text{Cu}_{12}\text{SbTe}_3\text{S}_{13}$           |
| калаверит        | $\text{AuTe}_2$                   | зандбергит*         | (9 % Zn)   |
| колорадоит       | $\text{HgTe}$                     | шварцит             | $(\text{Hg,Cu})_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$        |
| алтаит           | $\text{PbTe}$                     | хакит               | $\text{Cu}_{10}\text{Hg}_2\text{Sb}_4\text{Se}_{13}$ |

Примечание: \* – разновидность мышьяковистой блеклой руды (содержит Sb и Zn).

### Список литературы

1. Некрасов И.Я. Геохимия, минералогия и генезис золоторудных месторождений. М.: Наука, 1991. 302 с.
2. Смирнов В.И. Геология полезных ископаемых. М.: Недра, 1982. 668 с.
3. National Minerals Information Center. Gold Statistics and Information. URL: <https://www.usgs.gov/centers/nmic/gold-statistics-and-information>