

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*

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 золото кварцевых 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 %)	ютенбогаардит	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	FeAs_2	вулканит	CuTe
рокезит	CuInS_2	вейссит	$\text{Cu}_{2-x}\text{Te}_2$
индит	FeIn_2S_4	Селениды	
кадмоиндит	$(\text{CdIn}_2\text{S}_4)$	клаусталит	PbSe
джалиндит	$\text{In}(\text{OH})_3$	науманнит	Ag_2Se
пентландит	$(\text{Fe,Ni})_9\text{S}_8$	агвиларит	Ag_4SeS
Теллуриды		пенжинит	$(\text{Ag,Cu})_4\text{Au}(\text{S,Se})_4$
гессит	Ag_2Te	светланит	SnSe
теллуровисмутит	Bi_2Te_3	Блеклые руды	
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	Ag_3AuTe_2	фрейбергит	$\text{Ag}_{10}\text{Zn}_2\text{Sb}_4\text{S}_{13}$
сильванит	AuAgTe_2	голдфилдит	$\text{Cu}_{12}\text{SbTe}_3\text{S}_{13}$
калаверит	AuTe_2	зандбергит*	(9 % Zn)
колорадоит	HgTe	шварцит	$(\text{Hg,Cu})_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$
алтаит	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>