

ОБЗОР МИНЕРАЛОГИИ ЗОЛОТА В ВЕДУЩИХ ТИПАХ Au МИНЕРАЛИЗАЦИИ

Спиридонов Э.М.

МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, mineral@geol.msu.ru

В статье дан систематический обзор минералогии золота ведущих видов золоторудной минерализации: пневматолитовой (в отложениях вулканических эксгаляций, магматических сульфидных и малосульфидных залежах); гидротермальной (ведущий тип); гипергенной; метаморфогенной. По типу магматических образований, которые непосредственно предшествуют или сопровождают гидротермальную деятельность, выделены золоторудные и золотоносные формации: плутоногенные, вулканогенно-плутоногенные, вулканогенные и амагматичные.

The article provides a systematical compilation of the data on the gold mineralogy of the leading types of the gold mineralization to follow: pneumatolytic (in sediments of volcanic exhalations, magmatic sulphide and low sulphide deposits); hydrothermal (leading type); hypergenous; metamorphic ones. According to the type of magmatic formations that precede or accompany the hydrothermal activity, the gold and gold-bearing formations to follow have been defined: plutonogenous, volcanogenic-plutonogenous, volcanogenic and amagmatic.

При высоких температурах золото охотно растворяется в любых металлических расплавах, на чём основан основной и наиболее надёжный метод определения содержания золота в рудах – пробирный анализ: восстановительная плавка с образованием свинцового расплава. Золото столь же охотно растворяется в сульфидных расплавах, свойства которых близки к металлическим. Поэтому основная масса золота в планетах и метеоритах нашей Солнечной системы связана в высокотемпературных твёрдых растворах – металлическом Fe-Ni и моносульфидных Fe-Ni (Mss) и Fe-Cu-Ni (Iss). При флюидной или иной переработке золото покидает высокотемпературные твёрдые растворы и формирует собственные минералы.

Золото обычно малоподвижный элемент. В эндогенных условиях его легколетучие соединения – хлорное золото AuCl_3 и комплексы типа HAuCl_4 , $\text{Au}(\text{CO})_n$. В гидротермальных условиях золото подвижно при T менее 400°C . В гидротермальных растворах золото мигрирует в хлоридных и главным образом в гидросульфидных и гидроокисдно-гидросульфидных комплексах. Миграции золота способствует обилие в гидротермальных растворах уголекислоты, а также мышьяка. Палладий и платина мигрируют совместно с золотом только в гидротермах с повышенным окислительным потенциалом, – образованные из них руды содержат гематит. В экзогенных (гипергенных) условиях золото мигрирует в виде золото-органических соединений с фульвокислотами (торфяными), а также совместно с кремнезёмом мигрирует в сернокислотных растворах с очень низкой величиной pH. «Главная задача» для золота в процессах рудогенеза «отделиться» от серебра, поскольку кларк Ag больше в 10–100 раз. В этой благородной затее золоту охотно «помогают» сульфидная сера и сероводород, а также Te, Se, отчасти Sb и As.

Типы золотой минерализации: пневматолитовая (в отложениях вулканических эксгаляций, в магматических сульфидных и малосульфидных залежах); гидротермальная (ведущий тип); гипергенная; метаморфогенная. По типу магматических образований, которые непосредственно предшествуют или сопровождают гидротермальную деятельность, выделены золоторудные и золотоносные формации плутоногенные, вулканогенно-плутоногенные, вулканогенные и амагматичные (телетермальные) (Lindgren, 1933; Schneiderhohn, 1941; Билибин, 1947, 1959; Смирнов, 1982; Ramdohr, 1982; Фогельман, 1985; Спиридонов, 1995а и др.).

Минеральные виды золота

К настоящему времени установлено 46 минеральных видов и разновидностей Au.

Минералы системы Au-Ag. Подавляющая часть самородного золота представлена кубическими твёрдыми растворами этой системы. По результатам тысяч прецизионных анализов установлено, что ряд Au-Ag непрерывен по составу. В его пределах выделяют (Вернадский, 1914; Петровская, 1973): **золото** (0–30 масс. % Ag; пробность 1000–700), **электрум** (пробность 700–300), **кюстелит** (пробность 300–100); золото-содержащее **серебро** (пробность 100–0). Размер кристаллов золота варьирует от коллоидного (< 0.1 микрона) до первых см, обычно составляет доли мм. Коллоидное золото окрашивает халцедоновидный кварц в зелёный и густо-зелёный цвет (Балей, Забайкалье). Размер зернистых сростаний золота – самородков достигает метра, по весу – десятков и сотен кг. По Аль Бируни, наиболее крупный самородок золота весил ~ 2500 кг (Zaruban, Афганистан).

Минералы системы Au (Ag) – Hg. Ртуть – второй после серебра элемент – примесь в самородном золоте. В рудах, сформированных при низкой fS_2 , развиты кубические α -амальгамы: **ртутистое золото (Au,Hg)** (Назьмова, Спиридонов, 1979; Oberthur, Saager, 1986; Shikazono, Shimizu, 1988; Healy, Petruk, 1990; Спиридонов, 1991а; Амузинский и др., 1992; Hytonen, 1999); **ртутистый электрум (Au,Ag,Hg)**, **ртутистый кюстелит (Ag,Au,Hg)**, золото-содержащее **ртутистое серебро** (Покровский и др., 1979; Чвилёва и др., 1988; Берзон и др., 1999; Спиридонов, Плетнёв, 2002). Ртутистое золото содержит до 18 масс. % Hg, ртутистое серебро до 25 % Hg. Гораздо более редки амальгамы Au (Au-Ag), богатые Hg. Они обычно ассоциируют с самородной ртутью: гексагональный **вейшанит (Au,Ag)₃Hg₂**; кубическая **аурамальгама γ -Au₂Hg₃** (Berman, Narcourt, 1938; Healy, Petruk, 1990). По нашим наблюдениям, почти все амальгамы золота, находимые в россыпях, являются техногенными образованиями.

Минералы системы Au-Cu. Медь – третий после серебра и ртути элемент – примесь в самородном золоте. Бедные серебром фазы системы Au-Cu и бедные медью фазы системы Au-Ag образуются при температурах ниже 350 °С (Дриц и др., 1979). Эти минералы образуются при fS_2 на 8–10 порядков ниже, чем для стандартных месторождений Au, при гидротермальной цементации золота на самородной меди. Известны кубические **аурикуприд $AuCu_3$** , **минерал Au_3Cu** и метастабильный **купроаурид $AuCu$** . Аурикуприд (Ramdohr, 1982) отвечает кубической модификации $AuCu_3$ I (Okamoto et al., 1987). Известна тетрагональная модификация $AuCu_3$ (Некрасов и др., 1994). Купроаурид отвечает мало упорядоченному твёрдому раствору α -(Au,Cu) (Ложечкин, 1939; Спиридонов и др., 2005). В рудах Золотой Горы минерал состава AuCu (купроаурид) с рентгенограммой, содержащей только отражения, принадлежащие ГЦК структуре (пр. гр. Fm3m), т.е. купроаурид по М.П. Ложечкину, выявили А.И. Горшков (Новгородова и др., 1977), Э.М. Спиридонов, В.В. Мурзин и С.Г. Сустанов. Минерал, который отвечает кубической модификации Au_3Cu (Покровский и др., 1979; Некрасов и др., 1984; Knight, Leitch, 2001; Спиридонов, Плетнёв, 2002), не имеет утверждённого названия. Ниже он именуется «**минерал Au_3Cu** ». Продукты твердофазных превращений купроаурида – тетрагональный **тетрааурикуприд $AuCu$** (отвечает синтетической фазе AuCu-I) (Chen et al., 1982; Knipe, Fleet, 1997; Спиридонов и др., 2004, 2005) и ромбический «**рождовит**» **AuCu** (отвечает синтетической фазе AuCu-II). Их выделения представлены агрегатами перекрещивающихся пластин двойников полиморфных переходов. При отжиге нестехиометричного купроаурида $Au_{1+x}Cu$ возникают тонкорешётчатые структуры распада твёрдого раствора двух типов – золото + тетрааурикуприд и тетрааурикуприд + минерал Au_3Cu . Известны структуры распада, где матрица – золото, а ламелли – минерал Au_3Cu ; по-видимому, это продукты распада нестехиометричного минерала $Au_{3+x}Cu$. Известны твёрдые растворы тетрааурикуприд – хонгшиит CuPt.

Минералы системы Au-Fe. Комплексом магнитометрических и минералогических методов установлено, что описанное ранее сильно магнитное железистое золото с 4–5% Fe – это тонкокристаллические срастания золота, которое содержит < 0.2 масс. % Fe, и октаэдров магнетита размером 0.01–0.2 микрона (Якубовская и др., 1989).

Минералы систем Au-Pd, Pt, Os, Ir. Минералы систем Au-Pd и Au-Pt – характерные минералы месторождений, сформированных при низкой aS_2 и при повышенной fO_2 , – кубические **палладистое золото (порпечит) (Au,Pd)** (Johnson, Lampadius, 1837; Вернадский, 1914; Stanley et al., 1990; Olivo et al., 1994; Тарбаев и др., 1996; Cabral et al., 2002, 2003; Fleet et al., 2002 и др.) и редкое **платинистое золото (Au,Pt)**; интерметаллиды, по составу близкие к Pt_3Au и $Pt(Au,Pd)$. Уже небольшая примесь Pd (первые %) приводит к тому, что цвет золота становится стально-серым. Описанные О.Е. Звягинцевым в 1935 и 1939 г. иридийское золото и ауросмирид, очевидно, являются тонкими минеральными смесями, поскольку Au с Ir и Os не образует твёрдых растворов.

Минералы Au-Bi, Sb, Pb, Sn. Интерметаллиды золота – **мальдонит Au_2Bi** (Прокуронов и др., 1978; Громова и др., 1979; Сахарова и др., 1983; Гамянин и др., 1986; Litochleb et al., 1994; Hytonen, 1999; Альшевский, 2001) и **ауростибит $AuSb_2$** (Graham, Caiman, 1952; Назьмова и др., 1975; Индолев, Жданов, 1975; Казаченко, Чубаров, 1978; Громова и др., 1979; Индолев и др., 1980; Савва, Прейс, 1990; Спиридонов, 1995а; Hytonen, 1999; Альшевский, 2001) – относительно редкие минералы. Мальдонит с ~ 65 масс. % Au, ауростибит ~ 45 масс. % Au. Ауростибит, заместивший мальдонит, содержит до 10 масс. % Bi (Спиридонов и др., 2010). Эти минералы формируются в условиях низкой fS_2 . Мальдонит обычно возникает при воздействии золотоносных гидротерм на самородный висмут, икунолит или хедлиит. Ауростибит обычно образуется при воздействии сурьмянистых гидротерм, отлагающих самородную сурьму на самородное золото. Следующие три интерметаллида: **анюит $AuPb_2$ – $Au(Pb,Sb)_2$** (Разин, Сидоренко, 1989), **хуньчунит Au_2Pb** (Shangquan et al., 1992), **юаньцзянит $AuSn$** (Chen, 1994), – обнаружены только в россыпях. Не исключено, что это техногенные образования.

Минералы систем Au – Ag (Cu) – Te. Теллуриды Au и Ag – характерные минералы гидротермальных месторождений, в ряде случаев основные минералы-носители Au и Ag в рудах. Типичные элементы-примеси в этих теллуридах – Hg, Cu. Триклинный **монтбрейит $Au_2(Te,Sb,Pb,Bi)_3$** (Peacock, Thompson, 1946; Thompson, 1949; Rucklidge, 1969; Vachechi, 1972; Чвилёва и др., 1988; Shackleton et al., 2003; Bonev, Petrunov, 2004) редко, содержит ~ 50 масс. % Au и до 5 масс. % Sb. Широко распространены дителлуриды золота – калаверит, креннерит, сальванит. Моноклинный **калаверит $AuTe_2$** (Goldschmidt et al., 1931; Stillwell, 1931; Thompson, 1949; Markham, 1960; Picot, Johan, 1982; Shackleton et al., 2003) содержит ~ 45 масс. % Au, до 3% Ag (обычно < 0.5 %). В некоторых месторождениях (Kalgoorly, Австралия) размер скоплений калаверита достигает 1 м³. Ромбический **креннерит $Au_3(Au,Ag,Cu)Te_8$** (Thompson, 1949; Markham, 1960; Introduction..., 1970; Чвилёва и др., 1988) содержит ~ 40 масс. % Au, 0.5–6.5 масс. % Ag, его состав варьирует от $AuTe_2$ до Au_3AgTe_8 . Моноклинный **сальванит $Au(Ag,Au_{Cu})Te_4$** (Stillwell, 1931; Синдеева, 1959; Markham, 1960; Cabri, 1965; Introduction..., 1970; Спиридонов и др., 1974, 2003) содержит ~ 25 масс. % Au. Сходный с сальванитом **костовит $Au(Cu,Ag,Au)Te_4$** (Terziev, 1966; Коваленкер и др., 1979) – характерное реакционное образование вулканогенных руд золота (Спиридонов, 1994). **Мутманнит $AuAgTe_2$** (Спиридонов, Чвилёва, 1985) развит в зонах цементации золото-теллуридных руд, пример мимикрии в минеральном царстве, – оптически и по спектрам отражения не отличим от петцита, а по рентгенограмме от калаверита. Кубический **петцит $AuAg_3Te_2$** (Thompson, 1949; Синдеева, 1959; Markham, 1960; Хамид и др., 1978) с гранатоподобной структурой – самый распространенный из теллуридов Au-Ag, содержит ~ 25 масс. % Au. Кубический **твёрдый раствор $(Ag,Au)_2Te$** редко представлен гомогенной фазой, обычно испытал распад и превратился в срастания петцита с гесситом.

Минералы систем Au-Ag-Se, S. Кубический **фишессерит $AuAg_3Se_2$** (Johan et al., 1971; Ботова и др., 1981; Picot, Johan, 1982; Stanley et al., 1990; Bindi, Cipriani, 2004а; Спиридонов и др., 2009), кубический **айтенбогардит**

AuAg_3S_2 (Barton et al., 1978; Barton, 1980; Castor, Sjoberg, 1993; Савва, 1996; Савва, Пальянова, 2007), моноклинный петровсканит $\text{AuAgS} - \text{AuAg}(\text{S}, \text{Se})$ (Нестеренко и др., 1984; Некрасов и др., 1988), гексагональный пенжинит $\text{AuAg}_2(\text{S}, \text{Se})_4$ (Бочек и др., 1984), кубический твёрдый раствор $(\text{Ag}, \text{Au})_2\text{Se}$ (Спиридонов и др., 2009), кубический твёрдый раствор $(\text{Ag}, \text{Au})_2\text{S}$ (Самусиков и др., 2002) – характерные минералы вулканогенных гидротермальных месторождений золота от убогосульфидных до колчеданных. Петровсканит развит и в корях выветривания месторождений, богатых сульфидами, – в ассоциации с ярозитом и самородной серой (Нестеренко и др., 1984).

Комплексные халькогениды Au. Ромбический нагиагит $\text{AuPb}_5\text{Te}_{4-x}(\text{Sb}, \text{As}, \text{Bi})_x\text{S}_6$ (Спиридонов, 1991б...), моноклинный музеумит $\text{AuPb}_5\text{SbTe}_2\text{S}_{12}$ (Bindi, Cipriani, 2004b), ромбический бакхорнит $\text{AuPb}_2\text{BiTe}_2\text{S}_3$ (Francis et al., 1992; Johan et al., 1994), моноклинный криддлеит $\text{Au}_3\text{Ag}_2\text{PbSb}_{10}\text{S}_{10}$ (Harris et al., 1988...), моноклинный джонасонит AuBi_5S_4 (Litochleb, Šrein, 1994; Paar et al., 2006; Кривицкая и др., 2008) – это типичные образования вулканогенных гидротермальных месторождений Au и Au-Ag. В месторождении Сэкэрымб (Румыния) (бывший Нагиаг) «серая листоватая золотая руда» – нагиагит с ~ 10 масс. % Au – основной носитель золота в рудах.

Плюмботеллуриды и стибииоплюмботеллуриды Au – Cu (Ag) – Fe развиты в коре выветривания (в зоне цементации) золото-теллуридных месторождений. Это моноклинные (?) билибинскит $\text{Au}_5\text{Cu}_3(\text{Te}, \text{Pb})_2$ и билибинскит-(Sb) $\text{Au}_6\text{Cu}_2(\text{Te}, \text{Pb}, \text{Sb})_5$ (Спиридонов, 1991в), ромбические (?) богдановит-(Cu) – $\text{Au}_5\text{Cu}_3(\text{Te}, \text{Pb})_2$ и богдановит-(Fe) – $\text{Au}_5\text{CuFe}_2(\text{Te}, \text{Pb})_2$ (Чвилёва и др., 1988; Спиридонов, 2009), моноклинный (?) безсмертновит $\text{Au}_4\text{Cu}(\text{Te}, \text{Pb})$ (Спиридонов, Чвилёва, 1979). Билибинскит, богдановит и безсмертновит содержат ~ 50, 65 и 75 масс. % Au. Макроскопически они напоминают борнит. Твёрдость этих минералов заметно выше, чем у самородного золота. В отражённом свете они своеобразны – характеризуются чрезвычайно яркими цветными двуотражением и анизотропией, насыщенность цвета у них близка с золотом. Данные минералы заместили гипогенные костовит, креннерит, сальванит, нагиагит и алтаит. В зоне окисления плюмботеллуриды золота не устойчивы, их замещают тонкофестончатое золото и теллуриды Cu, Pb, Fe.

Пневматолитовая Au минерализация платиноносных базит-гипербазитовых формаций

Стандартный тренд благородных металлов в высокотемпературных эндогенных процессах $\text{Ru} (+ \text{S}) \rightarrow \text{Os} (+ \text{S}) \rightarrow \text{Ir} (+ \text{S}) \rightarrow \text{Rh} (+ \text{S}) \rightarrow \text{Pt} + \text{Au} (+ \text{S}, \text{As}, \text{Sb}, \text{Bi}, \text{Te}, \text{Sn}) \rightarrow \text{Pd} + \text{Au} + \text{Ag} (+ \text{S}, \text{As}, \text{Sb}, \text{Bi}, \text{Te}, \text{Sn}, \text{Pb})$. Элементы группы платины (PGE), Au и Ag охотно растворяются в металлических и сульфидных расплавах. По этой причине их история в гипербазит-базитовых магматических системах мало сульфидных и богатых сульфидами принципиально различная. В малосульфидных низкощелочных гипербазит-базитовых плутонах (Бушвелд, Стиллоутер) значительная часть минералов платиноидов (PGM) кристаллизуется из силикатных расплавов. В богатых сульфидами низко и умереннощелочных гипербазит-базитовых плутонах (Норильск-Талнах, Мончегорск, Инсизва) благородные металлы в начале полностью маскированы в продуктах кристаллизации сульфидных расплавов. Сульфидные расплавы мантийного происхождения на порядки богаче PGE и Au (например, Норильские), чем сульфидные расплавы корового происхождения (например, импактные в Садбери). PGE при повышенных температурах – типичные халькофилы, имеют очень большое сродство с S, As, Te, Sb, Bi. При послемагматической флюидной переработке значительная часть благородных металлов покидает высокотемпературные сульфидные твёрдые растворы, формируются разнообразные минералы PGE, Au, Ag. В богатых сульфидами гипербазит-базитовых плутонах – это ведущий тип благороднометалловой минерализации, в составе которой преобладают интерметаллиды Pt и Pd. В малосульфидных гипербазит-базитовых плутонах (Бушвелд, Стиллоутер) – пневматолитовые PGM и минералы Au-Ag почти аналогичны таковым в богатых сульфидами плутонах, но по масштабу пневматолитовые PGM сильно уступают первично магматическим PGM (сульфидам Pt–Pd – купериту, брэггиту, высокоциту). В почти бессульфидных гипербазит-базитовых плутонах Уральского – Аляскинского типа (Тагильский – Гудныйс-Бей...) складчатых областей и платформ (Кондёрский, Гулинский, Мончетундровский плутоны) практически вся минерализация благородных металлов пневматолитовая.

Крупнейшее месторождение Pd на Земле – Норильское рудное поле, богато и Au, и Ag. В норильских магматических сульфидных рудах $\text{Ag} : \text{Au} : \text{Pd} : \text{Pt} \sim 20\text{--}40 : 1 : 20\text{--}50 : 5\text{--}15$ (Кулагов, 1968; Годлевский и др., 1970 и др.). Основная масса Pd, Pt, Au, Ag в норильских сульфидных рудах представлена собственными минералами, меньшая их часть рассеяна в сульфидах (Pd и Ag в пентландите и т.п.). Несмотря на то, что изучению Ag-Au-Pt-Pd минерализации в рудах Норильского рудного поля посвящены исследования (Кулагов, 1968; Годлевский и др., 1970; Бегизов, 1977; Генкин и др., 1981; Евстигнеева, Генкин, 1990; Служеникин и др., 1994; Митенков и др., 1997; Дистлер и др., 1999; Служеникин, Мохов, 2002; Спиридонов и др., 2004; Спиридонов, 2010 и мн. др.), мы только начинаем понимать реальную, весьма непростую картину формирования минералов благородных металлов норильских руд. PGM и минералы Au примерно однотипны во всех типах руд – от пирротиновых до кубанитовых, халькопиритовых, талнахитовых, моихукитовых, заметно меняются лишь содержания и количественные соотношения минералов благородных металлов (Митенков и др., 1997).

В норильских магматических сульфидных рудах первоначально Au было растворено в продуктах кристаллизации Ni-Cu-Fe и Pb-Cu-Fe сульфидных расплавов – сульфидных твёрдых растворах, главным образом в Iss и PbSss. При их пневматолитовой флюидной переработке в крайне восстановительной обстановке и при крайне низкой активности сульфидной серы возникли интерметаллиды Pt и Pd с примесью золота: атоцит $(\text{Pd}, \text{Pt}_{\text{Au}})_3(\text{Sn}, \text{Pb}, \text{As})$ – до 8 масс. % Au, паоловит $(\text{Pd}, \text{Pt}_{\text{Au}})_2(\text{Sn}, \text{Sb})$ – до 5 % Au, звягинцевит $(\text{Pd}, \text{Pt}_{\text{Au}})_3(\text{Pb}, \text{Sn})$ – до 3 % Au, тетраферроплатина $(\text{Pt}, \text{Pd}_{\text{Au}})\text{Fe}$ – до 2 % Au; затем минералы группы медистого золота (в основном тетрааурикуприд) со

значительной примесью Pt (до 12 масс. %) и Pd (до 8 масс. %); затем обильные минералы ряда Au-Ag, не содержащие Pt и Pd (Спиридонов, 2010). Любые типы PGM и минералов Au-Ag – это метасомы, заместившие сульфидные агрегаты и продукты распада PbSss, нередко и агрегаты силикатов вдоль контактов сульфидных залежей и вне их. Ареалы развития PGM и минералов Au-Ag несколько больше контуров сульфидных залежей и совпадают с ареалами флюидного воздействия около сульфидных залежей. По данным ГРО рудника Комсомольский, над центральной частью основной Хараелахской сульфидной залежи на расстоянии до 10–15 м от верхнего пологого контакта залежи любые типы оруденелых пород содержат в 1.5–2 раза больше платиноидов и золота, чем аналогичные образования, расположенные на этом же уровне в стороне. Очевидно, что это результат флюидного воздействия кристаллизующегося сульфидного расплава. В экзоконтактах сульфидных тел в силикатной матрице роговиков вне сульфидов установлены метакристаллы тетраферроплатины, атокита (рис. 1), рустенбургита,

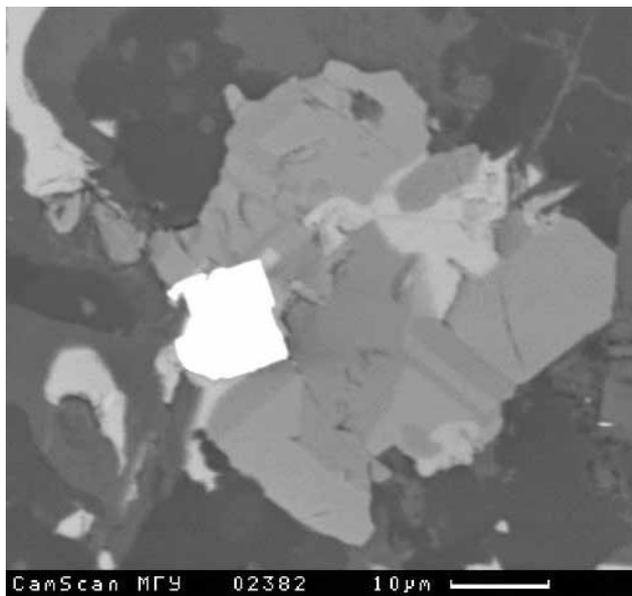


Рис. 1. Метакристалл золото-содержащего атокита (белый) в титаномagnetите ороговикованных базальтов в 1.5 мм от контакта 6 мм сульфидной инъекции. Рудник Медвежий Ручей. Фотография в отражённых электронах.

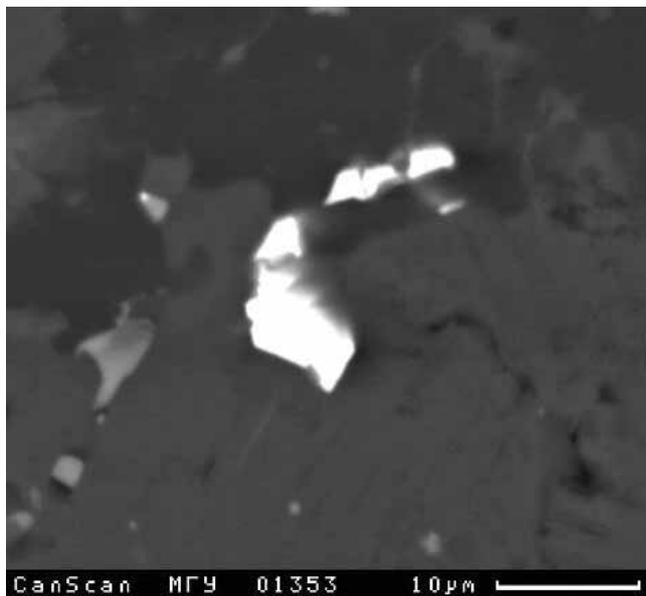


Рис. 2. Метасомы электрума в силикатной матрице ороговикованных базальтов в 2 мм от контакта 7 мм сульфидной инъекции. Рудник Медвежий Ручей. Фотография в отражённых электронах.

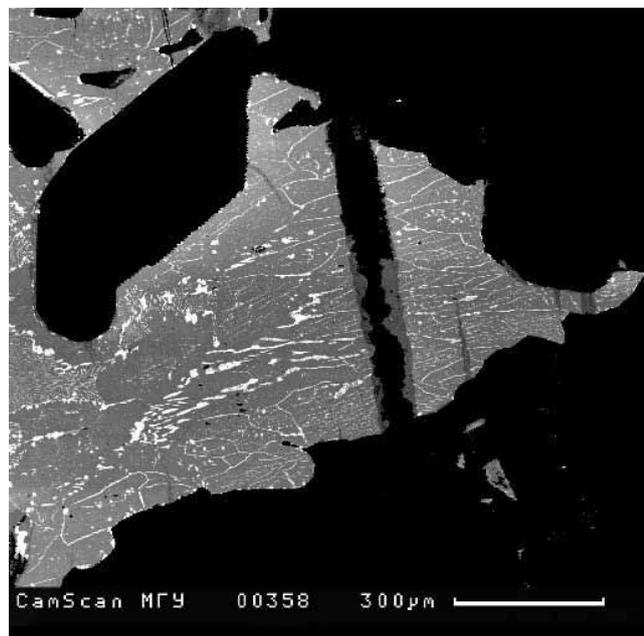


Рис. 3. Прожилки электрума по спайности Sb-паоловита, содержащего структуры распада ниггелита и геверсита (светлые). Рудник Октябрьский. Фотография в отражённых электронах.

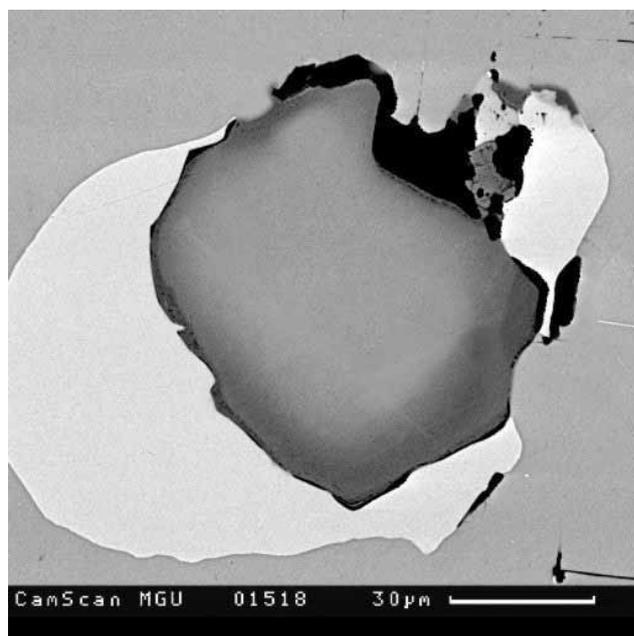


Рис. 4. Золотина с плавной прямой зональностью на контакте агрегата Те-соболевскита (светлый), пластин гессита, масловита (белый) и талнахита (чёрный). Золотину слагают серебристое золото (в центре, пробыность 720–706), электрум (серый, 676–318), кюстелит (тёмно-серый, 286–105), золото-содержащее серебро (серо-чёрное, 99–17). Рудник Октябрьский. Фотография в отражённых электронах.

майчнерита, сперрилита (до 8 мм в гнездах паргасита в роговиках в 5 м над Хараелахской сульфидной залежью), электрума (рис. 2), маякита, полярита, паоловита, когуюльскита; их размер обусловлен масштабом тел сульфидов. Итак, генезис PGM и минералов Au-Ag пневматолитовый (Спиридонов, 2010). При их формировании Pd, Pt, Au, Ag, Sn, Te, As, Sb, Bi привнесены флюидами, возникшими при кристаллизации сульфидных расплавов; Cu, Pb, Fe, Ni заимствованы из сульфидов рудных тел (так, маякит PdNiAs и меньшиковит $Pd_3Ni_2As_3$ заместили пентландит). Пневматолитовые минералы Pd и Pt представлены интерметаллидами. Это станниды, висмутиды, плюмбиды, куприды и близкие теллуриды, арсениды, антимониды. С ними ассоциируют минералы Au-Cu и Au-Ag. Распределены минералы благородных металлов крайне неравномерно. Значительное их количество приурочено к эвтектическим рудам – сростаниям Iss и PbSss и развито в экзоконтактах жил таких руд. При этом, в одних участках руд развиты станниды Pd и Pt, в других – арсениды Pd и Pt, в третьих – висмутиды и плюмбиды или антимониды Pd и Pt и т.п. Наиболее характерны полиминеральные сростания PGM. Их размер достигает многих см. С метасомами PGM ассоциируют метасомы алтаита с поперечником до 7 см.

Минералы Au-Ag слагают обособленные метасомы в сульфидной массе, вrostки и секущие прожилки в PGM ранней и средней стадий (рис. 3). Незональные золото, электрум и кюстелит развиты внутри агрегатов PGM. Зональные выделения минералов Au-Ag образуют каймы вокруг агрегатов PGM в сульфидной матрице. Проявлены несколько типов зональности золотин – прямая с плавным снижением содержания Au от центра к краям (рис. 4), обратная, плавная осцилляционная (рис. 5), сложная и весьма сложная (рис. 6), в том числе зональность пересечений. Распространены золотины с несколькими центрами кристаллизации. Пробность минералов ряда Au-Ag непрерывно варьирует от 870 до 0, преобладают серебристый электрум и золотистый кюстелит (рис. 7). Относительно высокопробное золото часто развито в тех участках, где обилён теллурид серебра гессит. Поэтому, можно полагать, что состав минералов Au-Ag в значительной мере обусловлен вариациями активности теллура во флюидах. Наиболее поздний из пневматолитовых PGM – сперрилит PtAs₂. Границы его метакристаллов секут более ранние PGM и минералы Au-Ag.

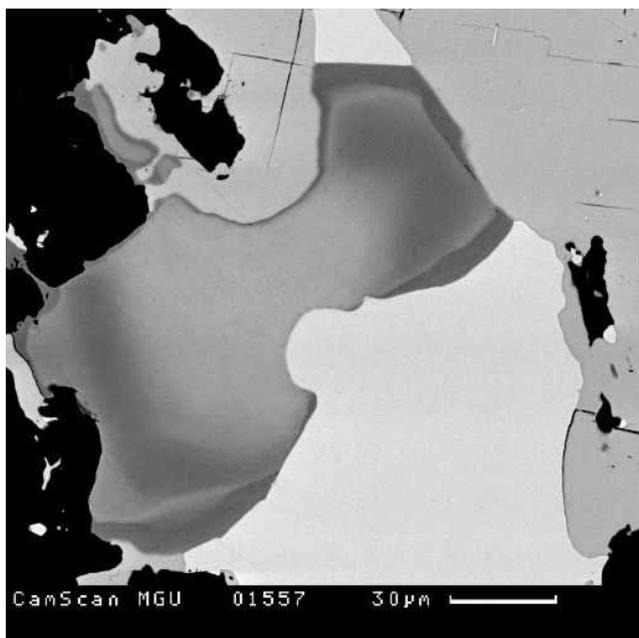


Рис. 5. Золотины с плавной осцилляционной зональностью (состав от серебристого золота до золото-содержащего серебра) в сростании с фрудитом (белый) на контакте галенита и сульфидной матрицы (чёрное). Рудник Октябрьский. Фотография в отражённых электронах.

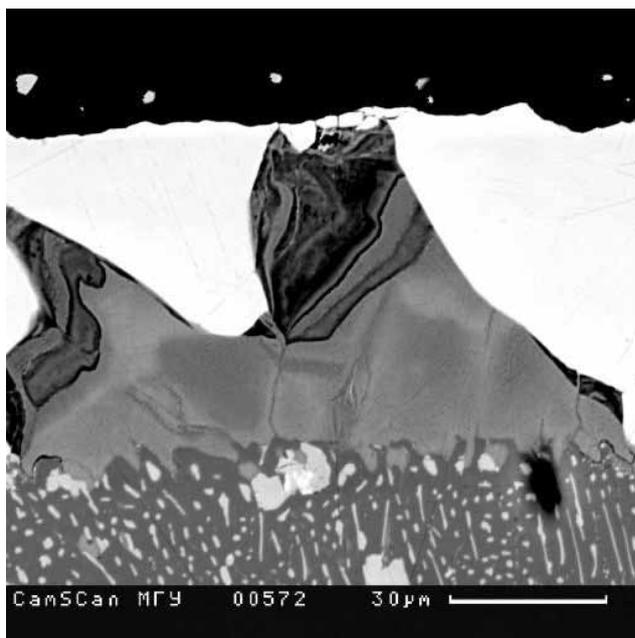


Рис. 6. Сложно- и плавнотональная золотина с вариациями состава от золотистого электрума до золото-содержащего серебра на контакте паоловита с тельцами распада геверситинсизвайта-нигглиита и сульфидной матрицы (чёрное). Рудник Комсомольский. Фотография в отражённых электронах.

Условия образования пневматолитовых минералов благородных металлов норильских руд: верхний предел температуры 490°C (T распада PbSss); две стадии формирования – при кристаллизации сульфидных расплавов захват благородных металлов в сульфидные твёрдые растворы, в дальнейшем флюидная переработка Au-Ag-PGE-содержащих Mss, Iss, PbSss и кристаллизация PGM и минералов Au-Ag в резко восстановительных условиях при T ≈ 450–350°C, при крайне низкой фугитивности сульфидной серы. Судя по ассоциации многих PGM с тетрааурикупридом, T их образования ниже 390–385°C – это верхний предел устойчивости тетрааурикуприда (Okamoto et al., 1987). Возможно, транспорт благородных металлов происходил в форме карбониллов, устойчивых при высоких температурах (Белозерский, 1958).

Среди поздних образований Co-Cu-Ni руд Садбери – пневматолитовые PGM и минералы Au-Ag, близкие к норильским (Springer, 1989). Норильские руды – идеальный объект для изучения проблемы: структуры распада твёрдого раствора в минералах ряда Au-Ag – миф или реальность (Петровская, Новгородова, 1980). В норильских

Химический состав минералов Au-Ag Норильского рудного поля (n = 1425)

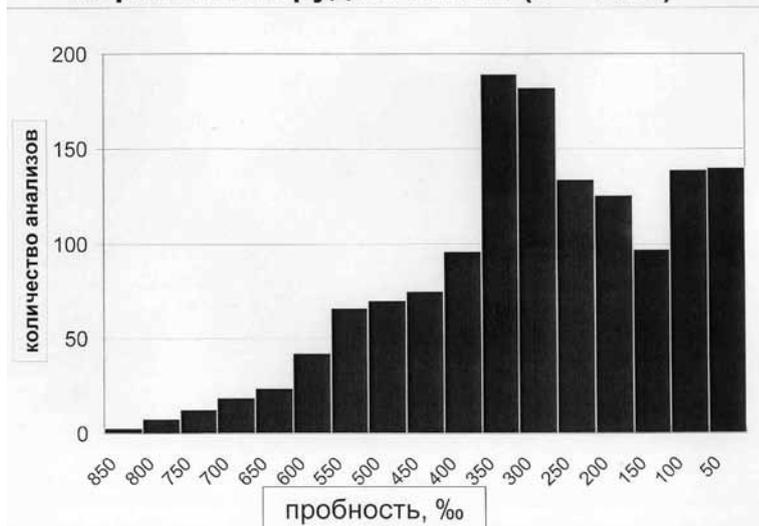


Рис. 7. Пробность минералов ряда золото – серебро норильских сульфидных руд (n = 1425). Данные автора.

сульфидных рудах, особенно в сплошных рудах крупнейшей в мире Хараелахской сульфидной залежи (3000×1000×15–75 м), широко развиты структуры распада твёрдых растворов: пирротин – пентландит, халькопирит – кубанит, талнахит – кубанит, пентландит – аргентопентландит, галенит – алтаит, тетраферроплатина – атоцит, паоловит – инсизваит – геверсит, татьянаит – таймырит. Размер пластин распада халькопирита и кубанита достигает 25 см! Во всех изученных золотилах норильских руд проявлена плавная зональность состава. При увеличении до 35000 раз структуры распада в золотилах, в том числе очень богатых серебром, не наблюдались. Эти природные наблюдения находятся в согласии с экспериментальными данными Дюудэлла с соавторами 1943 г., Уайта с соавторами 1957 г., А.Е. Вола и И.К. Кагана (Вол, Каган, 1976), – в синтетических фазах ряда Au-Ag структуры распада отсутствуют. Описанные как структуры распада твёрдого раствора Au-

Ag тончайшие сростания различных по составу высокосеребристых фаз в рудах вулканогенных месторождений, для которых характерны явления закалки, а не отжига, вероятно, образования ростовые.

Основные типы эндогенных месторождений золота

Основная масса рудного золота сосредоточена в гидротермальных месторождениях (и в продуктах их разрушения в корях выветривания, и в их метаморфизованных аналогах). Имеющиеся данные о гидротермальных рудных концентрациях Au в значительной степени обобщены в работах: **для континентов** – (Stutz, 1803; Don, 1898; Высоцкий, 1900; Lindgren, Ransome, 1906; Браунс, 1906; Ransome et al., 1909; Sharwood, 1911; Вернадский, 1914; Филиппенко, 1915; Goldschmidt, 1918; Lindgren, 1933; Helke, 1934; Обручев, 1935; Кутюхин, 1937; Нолан, 1937; Emmons, 1937; Schneiderhohn, 1941; Билибин, 1947, 1959; Бульиников, 1948; Smith, 1948; White, 1950; Вейц и др., 1957; Синдеева, 1959; Лазаренко и др., 1963; Пляшкевич, 1967; Смолин, 1970; Brown, Ellis, 1970; Radtke, Scheiner, 1970; Волостных, 1971; Рожков и др., 1971; Бабкин, Сидоров, 1972; Берман и др., 1972, 1978; Шер, 1972, 1974; Петровская, 1973–1993; Амирян, Фамаразян, 1974; Андрусенко, Щепотьев, 1974; Ивенсен, Левин, 1975; Моисеева и др., 1975; Casadevall, Ohmoto, 1977; Ewers, Keaes, 1977; Николаева, 1978; Boyle, 1979; Волярович и др., 1980; Индолев и др., 1980; Скрыбин, 1980; Radtke et al., 1980; Лайпанов, Михайлова, 1982; Попенко, 1982; Бородаевский и др., 1984; Золоторудные месторождения..., 1984–1990; Сазонов, 1984; Спиридонов, 1985–2010; Фирсов, 1985; Фогельман, 1985; Брагин и др., 1986; Нарсеев и др., 1986; Спиридонов и др., 1986–2003; Cole, Drummond, 1986; Гончаров и др., 1987, 2002; Heald et al., 1987; Krupp, Seward, 1987; Roberts, Kelly, 1987; Shikazono, Shimizu, 1987; Коробейников, 1987; Weir, Kerrick, 1987; Nesbitt, 1988; Коваленхер и др., 1988–1990; Ляхов, 1988; Золоторудные..., 1989; Щепотьев и др., 1989; Некрасов, 1991; Huston et al., 1992; Mitchell, Leach, 1992; Large, 1992; Сахарова и др., 1992; Ansdell, Kayzer, 1992; Павлова, 1993; Richards, Kerrich, 1993; Rushton et al., 1993; Leict et al., 1994; Rytuba, 1994; Hodgson et al., 1995; Kuehn, Rose, 1995; Sillitoe, 1995; Котов и др., 1995; Marcoux, 1995; So et al., 1995, 1997; Hagemann, Brown, 1996; Моисеенко, Эйриш, 1996; Наумова, 1996; Ohmoto, 1996; Trumbull et al., 1996; Frimmel, Gartz, 1997; Oberthür et al., 1997; Константинов и др., 1998; Кравцова, 1998; Прокофьев, 1998; Andersen et al., 1998; Leistel et al., 1998; Shimizu et al., 1998; Алабин, Калинин, 1999; Hytonen, 1999; Milesi et al., 1999; Mishra, Panigrahi, 1999; Radhakrishna, Curtis, 1999; Брызгалов, 2001; Гамянин, 2001; Cooke, McPhail, 2001; Jia et al., 2001; Спиридонов, Плетнёв, 2002; Хомич, 2002; Kesler et al., 2003); **для морских акваторий** – (Hannington et al., 1986, 1995; Khin Zaw, Large, 1992; Binns, Scott, 1993; Herzig et al., 1993; Бутузова, 1998; Богданов, 1998; Богданов и др., 2002).

Несмотря на массу сводок по золотым месторождениям, современное состояние геологии диктует необходимость генетической типизации месторождений золота. Один из способов её видится в детальном изучении конкретных золоторудных формаций, отдельных рудных провинций и месторождений, при одновременном исследовании магматических, метаморфических, гидротермально-метасоматических и рудных образований с равной детальностью.

Гидротермальные месторождения золота часто объединяют в три формации – малых глубин (руды с обилием сульфидов, с низкопробным золотом, с сульфосолями Ag), средних глубин (руды умеренно сульфидные, с относительно низкопробным золотом), больших глубин (руды мало сульфидные, с высокопробным золотом) (Петровская и др., 1976). Эта почти общепринятая в нашей стране классификация не вполне отвечает современному

уровню геологии. Так, среди месторождений больших глубин масса богатых сульфидами, среди месторождений «малых глубин» немало убого сульфидных с высокопробным золотом; ряд месторождений со всеми признаками приповерхностных формировались на глубинах 1.5–2 км; на тех же глубинах зафиксировано образование месторождений золота с характерными признаками месторождений «больших глубин». Классификация гидротермальных золотых месторождений преимущественно по характеру рудовмещающих толщ (многие американские авторы) или на основе представлений о базовых формациях (группы большеобъемных месторождений вкрапленных и массивных сульфидных руд) (Сидоров, 1987) малоубедительны. Более аргументированы классификации Г. Шнейдерхена (Schneiderhöhn, 1941), П. Рамдора (Ramdohr, 1982) и Ю.А. Билибина (1959) и близкие к ним (Ивсен, Левин, 1975; Смирнов, 1982; Фогельман, 1985; Щепотьев и др., 1989), которые учитывают многосторонние геологические связи месторождений золота и особенно магматиты, с которыми сопряжено оруденение. По типу магматических образований, которые непосредственно предшествуют или сопровождают Au оруденение, выделены гидротермальные плутоногенные формации складчатых областей, вулканогенные формации складчатых областей, островных дуг и срединно-океанских хребтов, вулканогенно-плутоногенные формации (Спиридонов, 1995; Спиридонов и др., 2010). Большое значение в образовании месторождений золота придаётся процессам регионального метаморфизма, прежде всего черносланцевых толщ – выделена формация метаморфогенно-гидротермальная (Летников, Вилор, 1981; Бурак, Хмелевская, 1997 и др.), иначе плутоногенно-метаморфогенная (Нарсеев и др., 1986). Такие месторождения близки к плутоногенным, их постоянно сопровождают небольшие интрузивы гранитоидов и послегранитоидные дайки (Мурунтау, Сухой Лог); иногда месторождения целиком расположены в ореолах экзоконтактового метаморфизма – наложены на роговики и ороговикованные породы (Бакырчик); черносланцевые толщ являются лишь крупномасштабным геохимическим барьером для золота, источником восстановителей – углеводородов и сероводорода. Поэтому такие месторождения целесообразно рассмотреть совместно с плутоногенными.

Довольно широко распространены и приобретают всё большее значение медно-порфировые месторождения с Au (Ачкасова и др., 1969; Филимонова, Слюсарёв, 1971; Николаева, 1980; Tarkian et al., 1991; Ulrich, Heinrich, 2001; Гаськов и др., 2006...). Кроме того, распространены телетермальные рудные формации с Au (Галкин, 1966; Крутов, 1971; Kvaček, 1973; Knittel, 1989; Partunc, Gandhi, 1989; Stanley et al., 1990; Olivo et al., 1994; Виноградова и др., 1995; Ortega et al., 1996; Cabral et al., 2002, 2003...).

Вулканогенные гидротермальные золоторудные формации

Они являются принадлежностью вулканогенных поясов окраинно- и внутриконтинентальных, внутриокеанских и структур типа островных дуг. Гидротермальные системы современные и древние открытого типа, изливающиеся на поверхность суши или на дно морей и океанов, или полуоткрытого типа, так или иначе общающиеся с поверхностью, нередко кипящие. Главная особенность этих месторождений – образование при низком (обычно < 0.08 кб) и сильно изменчивом (до 1 атм) давлении (Ляхов, 1988; Коваленхер и др., 1988; Прокофьев, 1998). Прямые оценки для руд, которые по геологическим данным возникли на глубинах 1–1.5 км, чаще < 40–80 атм. Рудообразование и вулканическая деятельность синхронны или чередуются, пути движения гидротерм практически до поверхности сильно прогреты и рудоносные растворы в мало измененном виде достигают поверхности или приповерхностных участков. В результате кристаллизация рудных агрегатов происходит из пересыщенных растворов, чем обусловлены «колломорфные» структуры руд. Характерна резкая и контрастная минеральная и геохимическая зональность месторождений, неоднократное чередование низко-, средне- и высокотемпературных минеральных ассоциаций. Зачастую это месторождения ксенотермального типа. Минеральный состав руд обусловлен: вулканической обстановкой (жерловины, трубки взрыва, некки, субвулканические тела; температурные поля и их градиенты; флюидный режим и его градиенты, кипящие или не кипящие растворы, концентрации во флюидах CO₂, SO₂, H₂S, CH₄, F, Se, Te); гидрогеологической обстановкой (наземные разной степени обводнённости, подводные пресноводные или в морской среде, соответственно, сера самородная, сера в сульфатах – алуниит, ангидрит, барит, целестин, сера в сульфидах); составом рудовмещающей среды (хромовая специализация среди гипербазитов – Зодское, ванадиевая среди габброидов – Калгурли). Для вулканогенных месторождений от современного до архейского возраста установлены сходные минерально-геохимические особенности, характерны генетические связи минералов кремнезема, сульфидов, барита, карбонатов, флюорита, минералов Mn и других, которые очень напоминают парагенезы минералов в отложениях современных горячих источниках (White, 1950; Ewers, Keays, 1977; Brown, Ellis, 1980; Балейское ..., 1984; Hannington et al., 1986, 1995; Krupp, Seward, 1987; Лебедев, 1988; Spycher, Reed, 1989; Muntean et al., 1990; Shelton et al., 1990; Mitchell, Leach, 1992; Bins, Scott, 1993; Herzig et al., 1993; Marcoux, 1995; Fullignati, Sbrana, 1998). Повышенный окислительный потенциал вулканогенных гидротерм обусловлен не только их контаминацией метеорными водами с кислородом, но и насыщением элементарной серой (зачастую селенистой). Высокая активность S₂ в гидротермах при низком P и повышенной T определили сернокислотный характер растворов. Поэтому типичны значительные объемы предрудных метасоматитов, обычно продуктов сернокислотного (точнее H₂S-H₂SO₄, HCl-H₂SO₄, HF-HCl-H₂SO₄) выщелачивания – вторичные кварциты, опалиты, аргиллизиты, зодиты; во внешней зоне обычно развиты калиевые пропициты с адуляром и серицитом и аргиллизиты со смектитами; рудосопровождающие метасоматиты – от алунитовых до серицитолитов или богатых адуляром (Lindgren, Ransome, 1906; Lindgren, 1933; Волостных, 1971; Heald et al., 1987; Зарайский, 1989; Наумова, 1995; Спиридонов, 1991 г; So et al., 1995; Ohmoto, 1996; Papike et

al., 2006). При низких величинах pH и $a_{H_2S}/a_{H_2SO_4}$ отношение Ag/Au в растворах больше 1 (Cole, Drummond, 1986), что объясняет главную особенность вулканогенных золото-серебряных руд: величина Ag/Au в них обычно более 10 и до 10000, чаще около 100. Данная величина 100:1 отвечает и соотношению кларков серебра и золота в островодужных вулканитах.

Обилие в вулканогенных месторождениях S, Se, As, NH_4^+ , F (Tl, Hg, In) обусловлено наличием этих компонентов в вулканических газовых струях и конденсатах из них. Наличие в этих рудах Mn, V, Sn, Ge, Ga, Mo, W, Be частью обусловлено теми же причинами, а в большей степени выщелачиванием из вмещающих пород под действием HF-HCl-H₂S-H₂SO₄ растворов, при глубоком разложении силикатов (до «каолинового ядра» и далее до «кремневого скелета») с выносом всех элементов, кроме Si и Ti (в дальнейшем могут быть выщелочены и они); темноцветные минералы были источником Mn, V, Sn, полевые шпаты – W, Be, те и другие – Ge, Ga и Mo. Концентрирование в рудах Sn, Be, W, Mo определялось повышенной активностью фтора во флюидах. Обилие сульфидной или самородной серы привело к фиксации большей части этих элементов в сульфидах.

Месторождения типа Куроко (золото-колчеданные, золото-колчеданно-полиметаллические, золото-серебро-барит-полиметаллические). Жильные минералы – кварц, барит, ангидрит, гипс, пирофиллит, каолинит, диксит, тальк, алунит, зуниит, судоит, Li тосудит; самородные – электрум, золото, серебро, сурьма, мышьяк, стибарсен. Характерны сульфосоли Cu-As (энаргит, люционит), Cu-Sb (фаматинит), Pb-As, Pb-As-Sb, Pb-Ag-As, Ag; сложные сульфиды Sn (станнин, кёстерит, моусонит, станноидит), Bi (группа айкинита, эмплектит, аннивит), V (колусит, сульванит), Ge (германит, реньерит, бриартит), Te (голдфилдит, Te тетраэдрит, Te теннантит, канфильдит), In (рокезит, In-содержащие блёклые руды), W (киддкрикит, овамбоит, W-германит, тунгстенит), Sn-Mo (хемусит, майкаинит), Tl (воганит, криддлеит, хатчинсонит, шабурнеит); селениды и сульфоселениды Bi, Pb, Ag, Au-Ag; теллуриды Bi, Au-Ag, Pb, Hg; сульфиды и сложные халькогениды Ag, Au-Ag; дисульфиды Cu, Cu-Fe (футуробейт); ассоциации пирит + борнит, пирит + халькозин, пирит + ковеллин, – т.е. минералы с высшей степенью окисления As⁵⁺, Sb⁵⁺, Te⁴⁺, Cu²⁺, минералы и минеральные ассоциации, образованные при высокой фугитивности кислорода и серы (Schneiderhohn, 1941; Билибин, 1947; Вейц и др., 1957; Синдеева, 1959; Смирнов, 1959; Terziev, 1966, 1971; Качаловская и др., 1971; Яренская, 1971; Nishiyama et al., 1975; Пшеничный, 1975; Петровская и др., 1976; Смирнов, 1982; Harris et al., 1988; Лебедев, 1988; Зарайский, 1989; Huston et al., 1992; Large, 1992; Спиридонов, Бадалов, 1992; Спиридонов, Качаловская, 1992; Ohmoto, 1996; Leistel et al., 1998; Shimizu et al., 1999; Спиридонов, 2003; Спиридонов и др., 2003). Сходного типа рудные концентрации формируются в настоящее время на океанском дне, обычно в пределах срединноокеанских рифтовых структур или около них (Hannington et al., 1986, 1995; Binns, Scott, 1993; Herzig et al., 1993; Богданов, 1998; Бутузова, 1998; Богданов и др., 2002). В районах развития стандартной земной коры океанского типа колчеданные образования бедны и крайне бедны золотом, очевидно потому, что кларк золота в океанской коре крайне низок. В районах, где в океанах развиты блоки коры континентального типа или коры переходного типа (юго-запад Тихого Океана и др.), современная колчеданные руды богаты, местами весьма богаты золотом (и Ag, Pb, As, Sb) (Bins, Scott, 1993).

Условно применение термина эпитермальные к любым вулканогенным месторождениям золота и золото-содержащим. Множество месторождений трансильванского типа действительно низкотемпературные, т.е. эпитермальные. Целый ряд крупных колчеданных месторождений также эпитермальные. Таково раннеальпийское

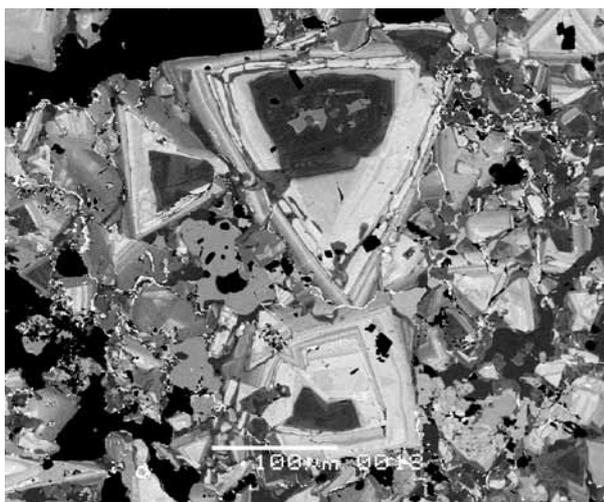


Рис. 8. Гипотермальная минерализация золотосодержащего серебро-колчеданно-полиметаллического месторождения Цумеб, Намибия. Зональные кристаллы овамбоита (светлые зоны) – майкаинита (серые зоны). Их окружают и замещают W-германит и халькозин (серые) и реньерит (тёмно-серый). Чёрное – кварц и апатит. Секущие светлые прожилки – тунгстенит. Фотография в отражённых электронах.



Рис. 9. Мезотермальная минерализация месторождения Цумеб. Агрегат германита (розоватый) и халькозина. 11 см.

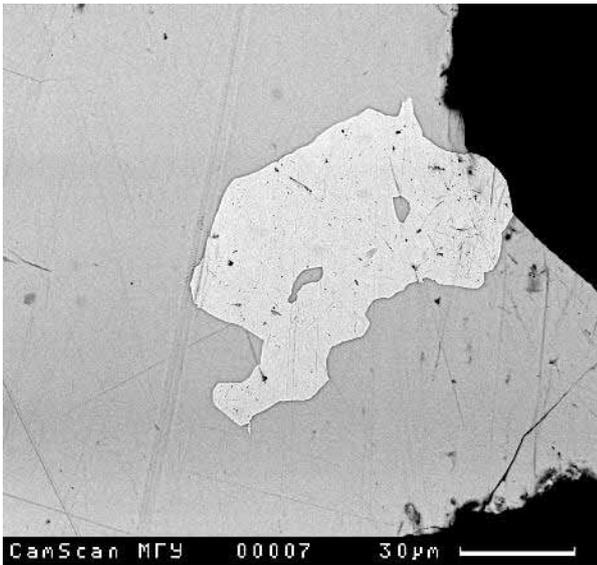


Рис. 10. Эпитермальна минерализация золото-колчеданного месторождения Харвана, СЗ Иран. Срастание золота (светлое) и свинцовистого колорадоита. Фотография в отражённых электронах.

пегматитов и цвиттеров. Сфалерит Рио-Тинто содержит до 2 % Cu, 1.5 % In, 1 % Sn. Такого состава сфалерит развит в кварц-касситеритовых месторождениях турмалиновой формации. Для руд Рио-Тинто характерны решётчатые срастания сфалерита и халькопирита, продукты распада весьма высокотемпературных твёрдых растворов. Наряду с высокотемпературными минеральными ассоциациями, в рудах Рио-Тинто и Цумеба широко развиты мезотермальные (в Цумебе в ней обильны халькозин и германит – рис. 9) и менее низкотемпературные – эпитермальные минеральные ассоциации с ртутистым золотом и электрумом, селенистым галенитом, штрмейеритом. Продуктивная Au-Ag минерализация во всех типах вулканогенных месторождений – эпитермальная. Один из характерных парагенезов – золото и теллурид ртути колорадоит (рис. 10) в ассоциации с гесситом и сильванитом (Спиридонов и др., 2003).

У ряда месторождений золото-сульфидно-кварцевого типа (Челопеч, Шаумянское, Харвана, Кочбулак) характеристики, промежуточные между золото-колчеданными и классическими жильными эпитермальными золото-серебряными.

Месторождения трансильванского-карпатского типа (классические эпитермальные золото-серебряные, золото-серебро-адуляр-кварцевые, золото-кварц-гидрослюдистые, золота-алунитовые, золото-теллуридные, золото-селенидные): Бая-де-Арьеш, Сэкэрэмб, Крипл-Крик, Балей, Зод, Дукат, Озерновское, Агинское, а также и Калгурли, месторождение, залегающее в черносланцевых толщах и интрузивах габброидов архея, однако сопряжен-



Рис. 11. Эндогенные золото-гематит-адуляр-кварцевые руды. 18×14 см. С глубиной гематит сменяется пиритом. Месторождение Уш-Шокы. Девонский вулканический пояс Центрального Казахстана.



Рис. 12. Типичные брекчиевидные и полосчатые текстуры вулканогенных рудных жил, образованные при неоднократном наслаивании расщеплённых агрегатов халцедоновидного кварца и адуляра (белёсый). Чёрное – теллуриды и иные рудные минералы. 6 см. Агинское месторождение, Камчатка.

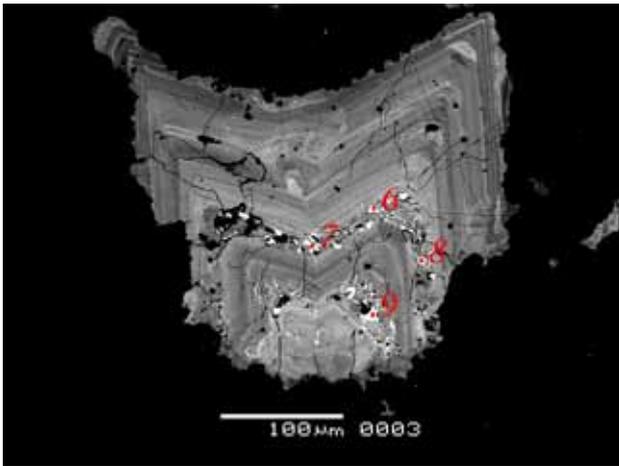


Рис. 13. Кристалл Bi-Se-As голдфиллита с осцилляционной зональностью и включениями твёрдого раствора $(Ag,Au)_2Se$ (обозначены цифрами анализов). Озерновское месторождение, Камчатка. Фотография в отражённых электронах.



Рис. 14. Классическое «белое золото» вулканогенных месторождений – пластина электрума $16 \times 9 \times 1$ мм на кварце. Месторождение Верешпатак, Зап. Карпаты.

ное с мелкими трубообразными телами дацитов и риодацитов протерозойского возраста. Нередко это месторождения субвулканического уровня, многие из них контролируются кальдерами. Жильные минералы - кварц, халцедон, аметист, опал, адуляр, барит, ангидрит, целестин, гипс, флюорит, аксинит, алунит, диккит, бейделлит, гидрослюды, пирофиллит, галлуазит, судоит, Li тосудит, роскоэлит; самородные – электрум, золото, кюстелит, серебро, сера, теллур, висмут, мышьяк, олово, свинец; интерметаллиды – дискразит, алларгентум, стистаит, мальдонит, ауростибит.; сложные сульфиды Pb-As, Pb-As-Sb, Pb-Bi-Cu, Pb-Bi-Ag, Ag (прустит-пираргирит, стефанит), Sn (станнин, кёстерит, моусонит, мохит, курамит, окартит, канфильдит), In (сакураит), Sn-Mo (хемусит), Mo (кастаньит), Bi, Be (гельвин); теллуриды и сульфотеллуриды Au, Au-Ag, Au-Cu (костовит), Bi, Hg, Sb (теллурантимонит), Au-Pb-Sb-Bi (нагиагит, бакхорнит, музеумит); селениды, теллуроселениды Bi, Pb, Ag, Au-Ag; сульфиды, селеносульфиды Ag, Au-Ag (айтенбогардит, пенжинит, петровскаит), в том числе с Tl (криддлеит). Характерны минералы Mn (родохрозит, кутнагорит, Mn кальцит, олигонит, родонит, бустамит, тефроит, аллеганит, фриделлит, алабандин, гюбнерит, гельвин, оксиды Mn), сложные сульфиды, силикаты и оксиды V (колусит, роскоэлит, V мусковит, V турмалин, V гематит, V касситерит, V рутил, кулсонит, ноланит, хемлоит). Характерны широкие вариации fO_2 и fS_2 (рис. 11) и широкие вариации K^+/H^+ , – поэтому во многих месторождениях рудные жилы богаты адуляром (рис. 12), а иные – алунитом или диккитом. Весьма любопытен парагенез самородного свинца и/или свинцово-оловянных и иных интерметаллидов (стистаит) с гипогенными алунитом, ярозитом и иными сульфатами (Дукатское рудное поле).



Рис. 15. Скрученная золотая проволочка 3 мм в кальците. Сев. фланг месторождения Тырны-Ауз, Сев. Кавказ. Обр. В.С. Андреенко.

Причина появления этих самородных металлов – не восстановительная обстановка, а окислительная: сера связана в сульфатах, сульфидной серы просто нет! По этой же причине возник и такой своеобразный парагенез: алунит и ганит $ZnAl_2O_4$, вместо стандартного сфалерита (Заглик, Азербайджан).

Чрезвычайно характерно зональное, сложно и осцилляционно зональное строение кристаллов многих рудных и жильных минералов, в частности блёклых руд (рис. 13). Ядра золотинок нередко сложены высокопробным золотом, вокруг него зона электрума, который окружен кюстелитом, внешняя зона нередко представлена серебром. Для золотых и золото-серебряных вулканогенных месторождений типоморфны разнообразные пластинчатые (рис. 14), скелетные и дендритные формы кристаллов золота, электрума и кюстелита (Goldschmidt, 1918; Петровская, 1973, 1993). Нередки и разнообразные расщеплённые и скрученные выделения золота, электрума и кюстелита (рис. 15). Своеобразны агрегаты – сростания полых шаровидных выделений электрума (рис. 16) – продукты кристаллизации в кипящих растворах (налипание кристалликов электрума на пузырьки). В вулканогенных месторождениях на более глубоких горизонтах обычно развито более крупнозернистое золото и электрум.

Большинство вулканогенных месторождений Au от убогосульфидных до колчеданных обладает сходными минерально-геохимическими особенностями. Характерны высоко Al минералы, обычно глинистые (диккит, пирофиллит, судоит) и зунит; алунит, ярозит, твёрдые растворы алунит – ярозит, барит, целестин, ангидрит, кридит и другие сульфаты; роскоэлит; сложные сульфиды Ag, Bi, Sn, V, Mo, Ge, W, Be, Tl;



Рис. 16. Агрегат полых шаровидных выделений электрума. 4 см. Калифорния.

из теллуридов – нагиагит, колорадоит, костовит, теллурантимонит, вулканит; селенотеллуриды и сульфоселенотеллуриды Bi; из блёклых руд – Ag тетраэдрит (фрейбергит), аргентотетраэдрит, богатые Cu^{2+} голдфилдит, Te и Bi тетраэдрит; парагенезы пирит + борнит, пирит + гематит, антимонит + теллуриды + сульфо антимиониды Pb, диккит + дюмортьерит + верлит + молибденит, электрум + молибденит, нагиагит + бурнонит + сильванит, теллур + As теллурантимонит + костовит + фаматинит, топаз + самородная сера + алунит + голдфилдит, алунит + самородный свинец или стистаит и иные интерметаллиды, повышенные содержания Se в сульфидах и теллуридах, NH_4^+ в адуляре, алуните и слюдах, Li в глинистых минералах, F в слюдах; типоморфны минералы, содержащие в одной структурной позиции As, Sb, Te,

Sn, Ge (In, Bi, Mo, W), – люционит, станнин, колусит, моусонит, германит, хемусит; показательны блёклые руды – твёрдые растворы серий: теннантит - тетраэдрит - аннивит - голдфилдит - хакит - жиродит (Stütz, 1803; Lindgren, Ransome, 1906; Браунс, 1906; Ransome et al., 1909; Sharwood, 1911; Вернадский, 1914; Пилипенко, 1915; Stillwell, 1931; Helke, 1934; Нолан, 1937; Emmons, 1937; Watanabe, 1952; Вейц и др., 1957; Смирнов, 1959; Markham, 1960; Лазаренко и др., 1963; Пляшкевич, 1967; Introduction..., 1970; Волостных, 1971; Качаловская и др., 1971; Яренская, 1971; Берман и др., 1972, 1978; Шер, 1972, 1974; Kieft, Oen, 1973; Петровская, 1973–1993; Амирян, Фармазян, 1974; Андрущенко, Щепотьев, 1974; Савва, Раевская, 1974; Nishijama et al., 1975; Моисеева и др., 1975; Пшеничный, 1975; Barton et al., 1977; Shikazono, 1978; Boyle, 1979; Громова и др., 1979; Некрасова и др., 1979; Коваленхер и др., 1979–1990; Воларович и др., 1980; Спиридонов и др., 1980–2009; Ботова и др., 1981; Mroscos, 1983; Watanabe, 1983; Гончаров, 1983; Сахарова и др., 1983, 1992; Бадалов, Спиридонов, 1984; Балеysкое..., 1984; Бочек и др., 1984; Золоторудные месторождения..., 1984–1990; Thompson et al., 1985; Спиридонов, Округин, 1985; Flemming et al., 1986; Nickel, Grey, 1986; Сидоров, 1987; Спиридонов, 1987–2003; Heald et al., 1987; Mitchell, Leach, 1992; Чвилёва и др., 1988; Altaner et al., 1988; Harris et al., 1988; Некрасов и др., 1988; Золоторудные..., 1989; Щепотьев и др., 1989; Knittel, 1989; Савва, Преис, 1990; Healy, Petruk, 1990; Shelton et al., 1990; Некрасов, 1991; Huston et al., 1992; Khin Zaw, Large, 1992; Large, 1992; Mitchell, Leach, 1992; Спиридонов, Бадалов, 1992; Castor, Sjoberg, 1993; Richards, Kerrich, 1993; Rytuba, 1994; Marcoux, 1995; Sillitoe, 1995; So et al., 1995; Брызгалов и др., 1996; Моисеенко, Эйриш, 1996; Наумова, 1996; Савва, 1996; Константинов и др., 1998; Кравцова, 1998; Leistel et al., 1998; Milesi et al., 1999; Shimizu et al., 1999; Брызгалов, 2001; Cooke, McPhail, 2001; Хомич, 2002; Pals, Spry, 2003; Shackleton et al., 2003; Warmada et al., 2003; Bindi et al., 2004; Bonev, Petrunov, 2004; Papike et al., 2006; Савва, Пальянова, 2007).

Золотая минерализация нередко самая поздняя и накладывается на любые более ранние образования. Изредка это ранняя сурьмяная минерализация с самородной сурьмой, в таких случаях возникают необычные эндогенные агрегаты – аурустибит, замещающий сурьму, и золото, замещающее аурустибит (Казаченко, Чубаров, 1978).

Минеральный состав продуктивной Au-Ag минерализации во многом определяется fS₂. Минералами-индикаторами низкой и очень низкой fS₂ являются самородные висмут и сурьма, мальдонит, аурустибит, магнетит. Минералами-индикаторами высокой и очень высокой fS₂ являются энаргит, фаматинит, голдфилдит, фукучилит, джонасонит, айтенобогартит, петровскаит. Особое влияние на процессы минералообразования продуктивной ассоциации оказывает активность Te и Se. В их отсутствие возникают электрум, кюстелит и серебро, богатые Ag блёклые руды, вплоть до аргентотетраэдрита и аргентотеннантита, богатые Ag сульфосоли Sb, As, Bi. При повышенной активности Te и Se возникает высокопробное золото, бедные Ag блёклые руды и иные сульфосоли в ассоциации с теллуридами и/или селенидами Ag – гесситом, науманнитом.

Типичный минерал вулканогенных руд – самородный теллур. Гидротермы, отлагающие теллур, весьма агрессивны к более ранним минеральным образованиям. Под их воздействием галенит замещается алтаитом, разрушаются As-Sb блёклые руды с образованием теллуратимонита, Te блёклых руд, теллуридов меди, если рядом присутствовал калаверит, то за его счёт образуется костовит (Спиридонов, 1994).

Месторождения типа Карлин–Лухуми близки к типичным эпитеpmальным: сопряжены с субвулканическими телами брекчий, расположены в ореолах аргиллизитов, характеризуются тонкозернистыми рудами с пылеватым золотом, баритом, флюоритом, марказитом, золотоносными пиритом и арсенипиритом, антимонитом. Особенности их – формирование под структурами типа надвигов – покровов при повышенном давлении (до 1 кб и более), которое препятствует распылению легко летучих As-Sb-Hg-Tl, обилие золото-органических соединений, сульфидов As (аурипигмент, реальгар, вакабаяшиллит, гетчелит), сульфидов Tl (карлинит, эллисит, лорандит, христит, вейсбергит), минералов Hg (киноварь, метациннабарит, галхаит, лаффитит, колорадоит) (Radtke, Scheiner, 1970; Wells, Millens, 1973; Casadevall, Ohmoto, 1977; Radtke et al., 1980; Kuechn, Rose, 1995; Kesler et al., 2003). Минерализация близкого типа представлена осадками геотермальных систем Бродленс и Ротокава в Новой

Зеландии (White, 1950; Brown, Ellis, 1970; Ewers, Keays, 1977; Krupp, Seward, 1987; Spycher, Reed, 1989). Для руд месторождений карлинского типа типоморфны обогащённые Au мелкокристаллические As-пирит и сернистый арсенопирит; содержания золота в них до 14 кг/т сульфида.

Механизм образования концентраций невидимого золота в сульфидах блестяще расшифровал В.Л. Таусон, – сорбция микрочастиц золота, вплоть до отдельных атомов на поверхности растущих кристаллов сульфидов, прежде всего на различных дефектах поверхности растущих кристаллов (Таусон и др., 2004). В дальнейшем «облака Коттрела» из адсорбированных атомов золота могут трансформироваться в нанокристаллы золота (Palenic et al., 2004).

Вулканогенно-плутогенные гидротермальные золоторудные формации

Многие из этих месторождений (Дарасунское, Алданские, Чармитан) сопряжены с латит-монзонитовыми комплексами орогенного этапа развития складчатых областей и их рамы (Таусон и др., 1987), их руды обогащены минералами Вi. Одни месторождения – Куранах, Лебединое (Алдан) по особенностям состава близки к вулканогенным – с селенидно-теллуридной минерализацией, с Те блёклыми рудами, колуситом, аурипигментом, киноварью (Петровская, 1973). Другие (Дарасун, Чармитан-Зармитан) имеют промежуточные характеристики (Сахарова, 1968; Громова и др., 1979; Ляхов, 1988; Прокофьев, 1998; Кривицкая и др., 2008, 2010; Спиридонов и др., 2008, 2010). На тех и других проявлена отчётливая латеральная и вертикальная минеральная зональность, в том числе скрытая (вариации состава арсенопирита, теннантита – тетраэдрита, бурнонита, сульфосолей Pb-Sb-As и др.). Изменчивость параметров рудоотложения фиксирует резко выраженная зональность кристаллов доломита – ферродоломита-кутнагорита, пирита, арсенопирита, блёклых руд (рис. 17), иных сульфосолей, самородного золота, чего никогда не наблюдается в рудах плутогенных золото-кварцевых месторождений.

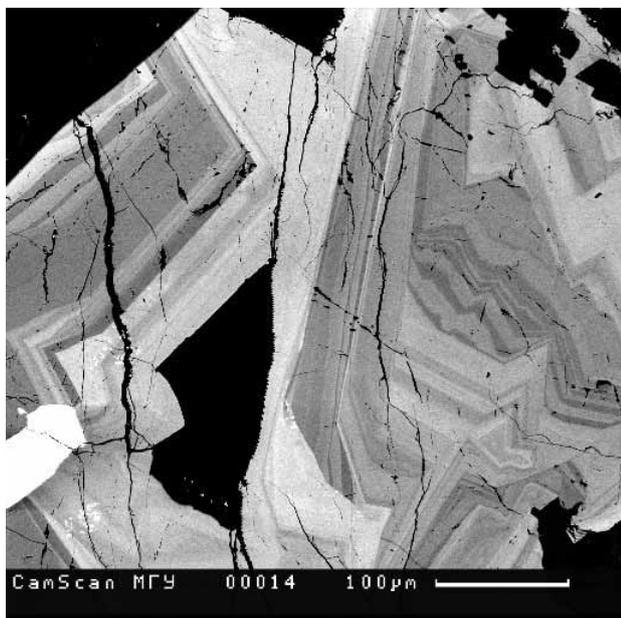


Рис. 17. Сложно осцилляционно зональные кристаллы теннантита (тёмные зоны) – тетраэдрита (светлые зоны). Месторождение Дарасун, Забайкалье. Фотография в отражённых электронах.

Au-Bi-Te, Au-Sb, в частности ассоциаций, возникших при высокой fS_2 , которые содержат джонасонит $AuBi_5S_4$, и ассоциаций, возникших при низкой fS_2 , которые содержат самородный висмут, икунолит Bi_4S_3 , мальдонит Au_2Bi , аурустибит $AuSb_2$. Минералы золота в рудах Дарасунского месторождения – самородное золото, электрум, петцит, аурустибит, мальдонит, джонасонит. Большая часть Ag связана в обильных теннантите и тетраэдрите. По этой причине самородное золото в основном высокопробное: Восточный участок – 967–924, Центральный участок – 976–854, Западный участок – 956–555 (Сахарова, 1968; Кривицкая и др., 2010). Мальдонит – продукт воздействия золотоносных гидротерм на висмут и/или икунолит. При повышении fS_2 в растворах мальдонит в рудах Дарасуна замещали сростания золота и висмутина.

В отличие от плутогенных и телетермальных месторождений, где аурустибит слагает только каймы замещения и полные псевдоморфозы по самородному золоту, в вулканогенно-плутогенных аурустибит преимущественно замещает центральные части выделений золота. В Дарасуне аурустибит трёх типов (Спиридонов и др., 2010) развит в рудах Западного участка, которые богаты пирротинном, содержат кубанит, висмут и икунолит. 1 тип – псевдоморфозы аурустибита по мальдониту, их форма ромбовидная и неправильная, этот аурустибит содержит около 9 масс. % Вi, рядом с ним состав золота не отличается от фонового (935–948). 2 тип – аурустибит, заместивший частью мальдонит, а большей частью окружающее золото, этот аурустибит содержит 2–5 масс. % Вi

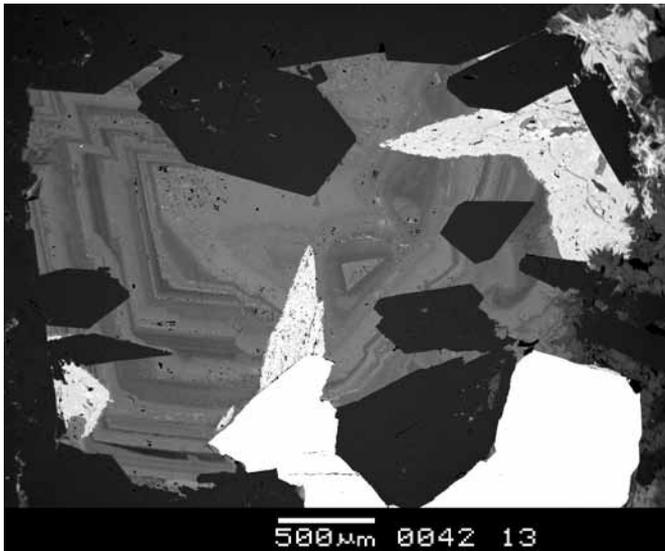


Рис. 18. Пирит (белый) на березиты, на пирите – острые скаленоэдры Mg сидерита (светлые), на сидерите осцилляционно-зональный доломит (тёмные зоны) – ферродоломит (более светлые зоны) с включениями кристаллов кварца (чёрные). Дарасун. Фотография в отражённых электронах.

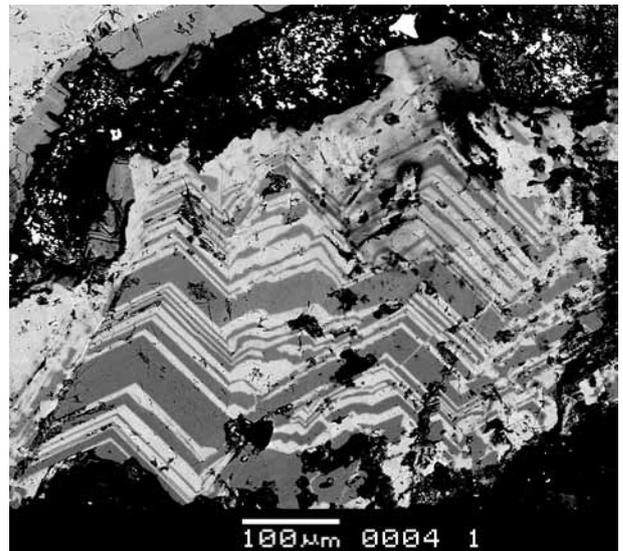


Рис. 19. Эндемичные карбонаты Дарасуна – многократное переслаивание доломита (тёмные зоны) и кальцита (светлые зоны). Фотография в отражённых электронах.

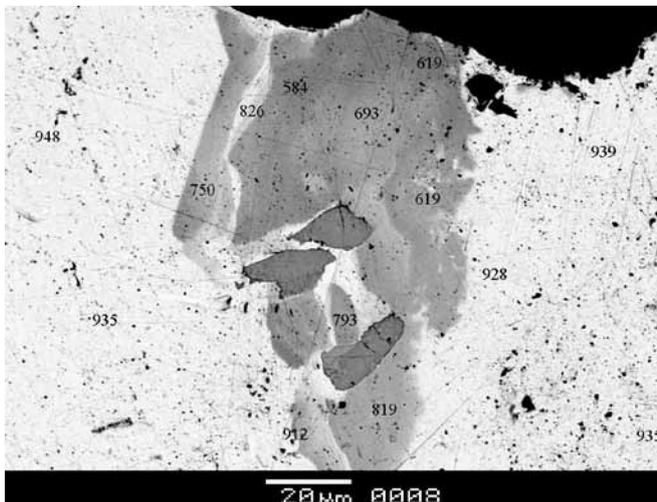


Рис. 20. Метасоматические вставки ауристибита (рельефный серый) в относительно высокопробном золоте (светлое). Вокруг ауристибита возникло низкопробное золото и электрум за счёт серебра, сброшенного при замещении золота ауристибитом. Цифры – пробность золота по данным микрозондовых анализов. Дарасун, западный участок. Фотография в отражённых электронах.

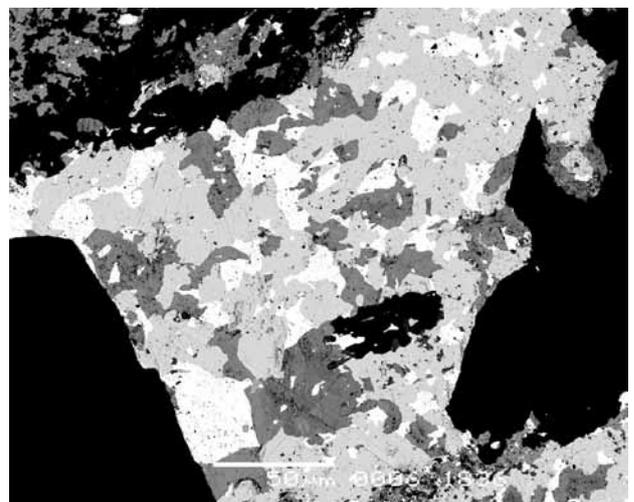


Рис. 21. Агрегат джонасонита (серый), висмутина (тёмно-серый) и самородного висмута (белый). Чёрное – кварц. Дарасун, западный участок. Фотография в отражённых электронах.

и 1–2 масс. % As. Около ауристибита развиты оторочки низкопробного золота и электрума (рис. 20), их пробность 555–922, чаще 635–826. В низкопробном золоте и электруме фиксировано Ag, которое было сброшено при замещении серебросодержащего золота ауристибитом. Ауристибит 3 типа слагает каёмки замещения на самородном золоте вдоль его контактов с кварцем, галенитом и цумоитом, этот ауристибит содержит 1–2 масс. % Bi.

Джонасонит развит в рудах Западного участка (Кривицкая и др., 2008). Это продукт замещения мальдонита Au_2Bi гидротермальными растворами, обогащёнными висмутом (и отчасти сурьмой) при повышенной fS_2 . Развит в гнездах висмута и висмутина (рис. 21) среди халькопирит-пирротиновых агрегатов. Парагенезы джонасонита: висмут + висмутин (более распространён), висмут + галенит, висмут + козалин, висмут + Sb-висмутин + Bi-плагинит. Джонасонит $AuBi_5S_4$ устойчив при fS_2 более высокой, чем для ассоциации самородного золота с висмутином.

Плутоногенные гидротермальные золоторудные формации

Плутоногенные месторождения золото-кварцевой формации сопряжены с тоналит – гранодиоритовыми, адаметлитовыми и монзонитовыми гранитоидными комплексами складчатых областей. Эти месторождения формируются в условиях закрытой системы, т. е. при повышенном давлении (P). Величина P определяется положением верхней кромки гидротермальной системы, расположенной, как правило, близ верхней кромки интрузивов или не-

сколько выше. Самые низкие оценки P по ГЖВ в ранней генерации кварца и карбоната руд – 0.3–0.6 кб (Спиридонов, 1995 а; Trumbull et al., 1996), что отвечает минимальным глубинам формирования 1–1.5 км; максимальные оценки до 3.5–4 кб (~12–15 км) (Спиридонов, 1995 а; Hagemann, Brown, 1996; Mishra, Panigrahi, 1999; Yao et al., 1999). Оценки $P > 4$ кб отвечают метаморфизованным рудам. Плутоногенные месторождения с возрастом от раннего архея до кайнозоя формировались в условиях относительно устойчивого P на фоне плавного снижения T , то есть в относительно упорядоченных условиях. Характерна слабо контрастная (до исчезновения) вертикальная геохимическая и минеральная зональность (Smith, 1948; Спиридонов и др., 1986 б). Типична большая протяженность Au оруденения по вертикали: 3.5 км, с учетом эрозионного среза около 5 км – Колар (Индия), около 3 км – Морро-Велью (Бразилия), около 2.5 км – Ашанти (Гана), около 2 км – десятки месторождений Канады, Африки, Австралии, Казахстана.

Плутоногенные месторождения Au порождены процессами средне-низкотемпературного углекислого метасоматоза – березитизации-лиственнитизации (Обручев, 1935; Коржинский, 1953; Бородаевский, 1960; Тимофеевский, 1971; Лайпанов, Михайлова, 1982; Сазонов, 1984; Weir, Kerrick, 1987; Зарайский, 1989; Спиридонов, 1986, 1991 г, 1995 а, 1998; Knipe, Fleet, 1997 и др.). Эти процессы являются наиболее поздними из многочисленных эпизодов послейнтрузивной гидротермальной деятельности, находятся в возрастной вилке наиболее поздних родственных даек глубинного происхождения тоналит-гранодиоритовых и монзонитовых комплексов (Спиридонов и др., 1998). Максимальные параметры образования березитов – 400°C и 4 кб (Зарайский, 1989). По этой причине область рудогенеза плутоногенной березит-лиственитовой (золото-кварцевой) формации находится в зоне хрупких деформаций выше изотермы 400°C, в интервале глубин ~ 1–15 км. Золото-кварцевая формация представлена кварцевыми и карбонат-кварцевыми жилами, штокверками жил и прожилков, оруденелыми березитизированными – лиственнитизированными породами, в том числе известковыми и магнезиальными скарнами. В процессах скарнообразования Au инертно. Mg и Ca скарны содержат существенные количества Au только в тех участках, где они лиственнитизированы. Процессы лиственнитизации не связаны генетически с процессами скарнообразования и отделены от них внедрением многих генераций даек и формированием Mo-Cu-порфирирового оруденения. Таким образом, понятие «золото-скарновая» формация не имеет генетического смысла. Процессы березитизации – лиственнитизации, которые порождают плутоногенное золотое оруденение – золото – кварцевую формацию, генетически независимы, не связаны с более ранними процессами послейнтрузивной пропилитизации и гумбеитизации (Спиридонов, 1995 а).

Для плутоногенных гидротермальных месторождений Au типичны относительно небольшие объёмы околорудных метасоматитов – березитов, лиственитов. Соленость рудоносных растворов NaCl-KCl-MgCl₂ 6–17, чаще 9–13%; концентрации CO₂ составляют 2–7 моль/кг раствора; ранние кварц, карбонат и шеелит содержат ГЖВ с жидкой углекислотой, нередко с примесью метана, иногда включения с жидким сероводородом (в наиболее глубоких месторождениях P_{H_2S} достигает 2.5 кб). Слабокислые H₂CO₃ и H₂S-H₂CO₃ золотоносные гидротермы существенно хлоридные, с ничтожными содержаниями F, с низкими fO_2 и fS_2 выщелачивали из рудовмещающих толщ SiO₂, Fe, Cu, Zn, Pb, Ni, Co и W, но не Mn, Sn, Ge, Mo, Be. При повышенных величинах pH и aH₂S/aH₂SO₄ отношение Ag/Au в растворах меньше 1 (Cole, Drammond, 1986), что объясняет ведущую особенность состава руд плутоногенных Au месторождений. Плутоногенные месторождения формировались в восстановительных условиях. Руды отличаются ничтожными содержаниями F, Se, Sn, Ge, Be, Tl, Ir, Os, Ru, Pt, REE, низкими Mn и Mo; Te/Se >1. В последние годы в российской литературе интенсивно обсуждается проблема наличия платины и палладия в плутоногенных золоторудных месторождениях, нередко приводятся содержания платиноидов до многих г/т. А.Н. Курский (1999) пробирными анализами показал, что это аналитические ошибки; содержания платиноидов в золотых рудах березит-лиственитовой формации не превышают первые мг/т. Такие же данные получены автором по богатым золотым рудам месторождений Северного Казахстана (Кварцитовые Горки, Бестюбе, Джеламбет, Аксу), в том числе по рудам, залегающим среди черносланцевых толщ (Спиридонов и др., 2002).

Минеральный состав руд плутоногенных золото-кварцевых месторождений обычно прост. Характерны высокопробное золото (электрум редок); пирит, арсенопирит, реже халькопирит, пирротин, борнит, кубанит; низкоMn карбонаты; галенит, бедный Ag, Bi, Sb, As; светлые слюды с ничтожными содержаниями F и NH⁴⁺; единственная минеральная форма W – шеелит, бедный Mo и REE; сульфосоли только Pb-Sb, Cu-Bi-Pb, Ag-Pb-Sb, Pb-Bi; блёклые руды бедны Cu²⁺, Bi, практически лишены Te, Se; отсутствуют собственные минералы Mn, V, Hg, самородные Te и As; на глубоких горизонтах месторождений развито более мелкозернистое золото (Don, 1898; Lindgren, 1933; Кутюхин, 1937; Emmons, 1937; Schneiderhöhn, 1941; Билибин, 1947, 1959; Булытников, 1948; Smith, 1948; Markham, 1960; Смолин, 1970; Рожков и др., 1971; Шер, 1972, 1974; Петровская, 1973–1993; Спиридонов и др., 1974–2002; Ивенсен, Левин, 1975; Петровская и др., 1976; Boyle, 1979; Лайпанов, Михайлова, 1982; Бородаевский и др., 1984; Золоторудные..., 1984–1990; Сазонов, 1984; Фирсов, 1985; Брагин и др., 1986; Спиридонов, 1986–1998; Гончаров и др., 1987; Коробейников, 1987; Мурзин и др., 1987; Robert, Kelly, 1987; Weir, Kerrick, 1987; Nesbitt, 1988; Howell et al., 1990; Некрасов, 1991; Leitch et al., 1991; Амузинский и др., 1992; Ansdell, Kyzer, 1992; Павлова, 1993; Rushton et al., 1993; Котов и др., 1995; Hodgson et al., 1995; Hagemann, Brown, 1996; Trumbull et al., 1996; Буряк, Хмелевская, 1997; Knipe, Fleet, 1997; Oberthür et al., 1997; So, Yan, 1997; Алабин, Калинин, 1999; Mishra, Panigrahi, 1999; Radhakrishna, Curtis, 1999; Jia, Kerrich, 2000; Гамянин, 2001; Knigh, Leitch, 2001). Преимущественно плутоногенные гидротермальные месторождения содержат минералы группы медистого золота (Спиридонов, Плетнёв, 2002).

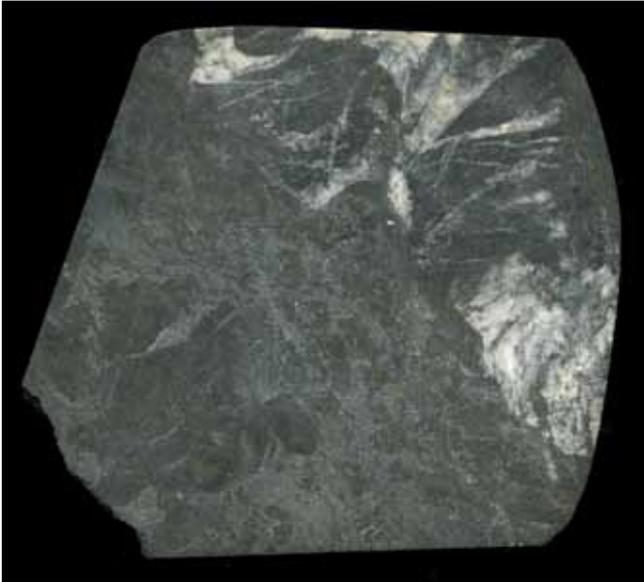


Рис. 22. Антимонит и сфалерит в кальците чёрного цвета, пропитанного битумоидом. Золото в том же кальците, но белого цвета, – при осаждении золота органика «выгорела». 105×95 мм. Кварцитовые Горки, Северный Казахстан.

в рудных телах – углеводороды и битумоиды (рис. 22), которые мигрировали в кварцевые жилы и метасоматиты, главные осадители для Au, в местах их скоплений возникли рудные столбы.

По геологическим данным, гидротермальные месторождения золота формировались на глубинах от 1 до 10 км и более. С ростом глубинности формирования месторождений в рудах уменьшаются количества Sb, Hg, Tl и увеличиваются Te, W, Au/Ag, Te/Se (от 1–2 до 100–3000), Au/Hg (от 1 до 200–6500). Плутоногенные месторождения формировались в относительно упорядоченных условиях закрытой системы, чем обусловлен относительно устойчивый состав руд и рудных минералов по вертикали конкретных месторождений и дифференциация рудного вещества по уровням глубинности формирования месторождений. Фациям глубинности отвечают минеральные типы гидротермальных месторождений золота по составу продуктивной ассоциации. Гипабиссальной фации (P ~ 0.3–0.9–1 кбар; глубина формирования 0.5–3 км) отвечают золото-антимонитовый тип с сульфидами Ag (андорит, аргентотеннантит, аргентотетраэдрит, роцинит, митаргирит, пираргирит) и α-амальгамой Au (Au-Ag) (Кварцитовые Горки, Казахстан) и золото-галенит-сульфоантимонидовый тип с Ag-тетраэдритом, овихиитом и с поздними антимонитом, сурьмой, ауростибитом, бертьеритом (Бестюбе, Акбакай, Казахстан; Ашанти, Гана) (гранодиоритовые формации – Г) и золото-галенит-айкинитовый с самородным висмутом и мальдонитом (Акбеит, Казахстан) (монзонитовые формации – М); мезоабиссальной фации (P ~ 1–1.8 кб; 3–7 км) – золото-галенитовый с сульфоантимонидами Pb и редкими теллуридами Pb и Bi (Г) (Степняк, Казахстан; Кэпэрвем, Чукотка) и сульфосолями Bi и редкими сульфотеллуридами Bi (М); абиссальной фации (P ~ 2–3.6 кбар; 7–12 км) – золото-галенит-теллуридный и золото-теллуридный (Г, М) (Джеламбет, Северное и Южное Аксу, Таукен, Казахстан; Колар, Индия..) (Спиридонов и др., 1974–2002; Спиридонов, 1986, 1995 а; Ortega et al., 1996; Mishra, Panigrahi, 1999). Для плутоногенных гидротермальных месторождений золота гипабиссальной фации наличие и обилие в рудах пирротина, халькопирита, борнита – отрицательный признак золотоносности, тогда как в месторождениях абиссальной фации – это великолепный положительный критерий золотоносности.

В месторождениях любых фаций глубинности самородное золото часто замещает анкерит в промежутках кристаллов кварца (рис. 23) и развито в виде прожилков и плёнок в и на брекчированных кристаллах пирита и особенно арсенопирита. В уль-

Рудные тела любого типа сложены ассоциациями: реликтовых минералов; шеелит-кварцевой (± хлорит, карбонат, серицит) (T~375–290° C, обычно 330–305° C); ранних сульфидов (пирит, арсенопирит); карбонат-полисульфидной (карбонаты, As-пирит, арсенопирит, халькопирит, пирротин, кубанит, борнит, галенит, сфалерит, блёклые руды) (270–190° C); продуктивной (золото ± сульфиды и сложные сульфиды Pb, Sb, Ag, Bi, теллуриды Bi, Pb, Ag, Ni, Fe, Au-Ag, Au). T образования продуктивной ассоциации 210–150° C, обычно 190–170° C. Это объясняет то, что месторождения Au тяготеют к разновозрастным малым интрузивам и дайкам и только к краевым частям более крупных интрузивов, – те и другие успевают остыть до нужной температуры, иначе золото рассеивается! Минералы карбонат-полисульфидной и продуктивной ассоциаций развивались метасоматически. Самородное золото и теллуриды замещали кальцит, пирротин, хлорит, осаждались на As пирите с дырочным типом проводимости. Золотоносность рудных тел и околорудных метасоматитов практически целиком обусловлена развитием минералов продуктивной ассоциации. Важнейший геохимический барьер для Au

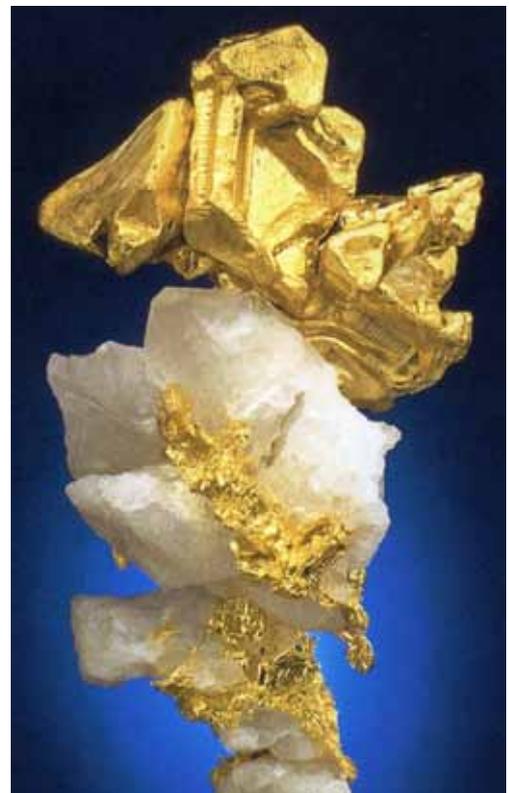


Рис. 23. Псевдоморфозы золота по анкериту в молочно-белом жильном кварце. На золотилах унаследованные отпечатки штриховки граней призмы кварца. 32 мм.

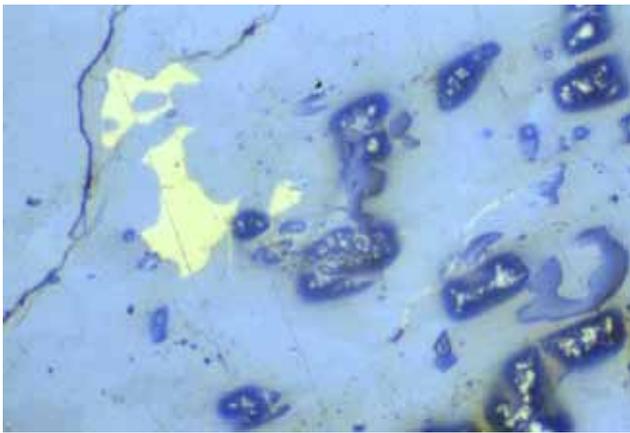


Рис. 24. Вростки и микропрожилки ртутистого золота в антимоните (с включениями сфалерита и арсенопирита). Аншлиф. Ширина поля зрения 1.5 мм. Кварцитовые Горки.

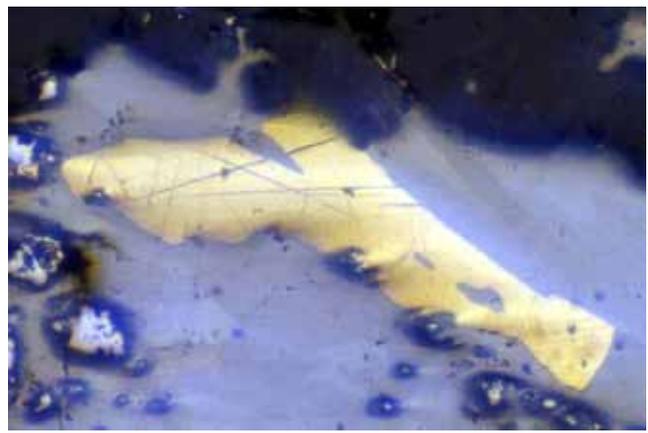


Рис. 25. Ртутистое серебристое золото 4 мм в антимоните (с включениями арсенопирита). Аншлиф. Кварцитовые Горки.

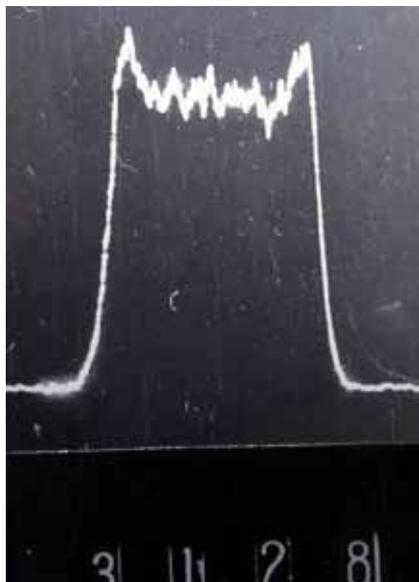


Рис. 26. Концентрационный профиль серебра через кристалл ртутистого серебристого золота 0.6 мм. Края заметно обогащены серебром. Кварцитовые Горки.

трагипабиссальных месторождениях – Кварцитовые Горки, Северный Казахстан, – развита ассоциация антимонита (и/или цинкениита, джемсонита, бертьерита, халькостибита) с ртутистым серебристым золотом – α -амальгамой золота, которая макро- и микроскопически не отличима от обычного золота (рис. 24, 25). Золотины малоглубинных плутоногенных месторождений обычно зональные, их края обогащены серебром (рис. 26), нередко и ртутью. В гипабиссальных месторождениях развито преимущественно серебристое золото в ассоциации с сульфидоантимонидами свинца (рис. 27–29) и тетраэдритом (рис. 30). Нередко золоторудные жилы настолько бедны сульфидами, что в отдельных участках количество самородного золота превышает содержание сульфидов (рис. 27–29). В гипабиссальных месторождениях (Бестюбе) золото нередко избирательно замещает сфалерит. В гипомезоабиссальных месторождениях (знаменитое Берёзовское на Среднем Урале) и мезоабиссальных (Степняк) довольно часто золото в виде прожилков приурочено к скоплениям галенита (рис. 31). В месторождениях абиссальной фации развито преимущественно высокопробное мелкое золото (рис. 32, 33), нередко в сростании с теллуридами – чаще с теллуридами и сульфотеллуридами висмута (рис. 34, 35). Золотины глубинных месторождений по составу обычно не зональны (рис. 36).

Для одного из месторождений (Джеламбет-Центр), вскрытого глубокими шахтами и скважинами, прослежены вариации пробности по вертикали более, чем на 1.5 км (рис. 37). Для этого глубоко проникающего ме-

сторождения характерна удивительная устойчивость пробности золота по вертикали – мода практически не меняется. Появление на глубоких горизонтах кроме преобладающего высокопробного золота и более низкопробного свидетельствует о том, что месторождение будет продолжаться на значительные глубины (при подходящих тектонических условиях).

В целом для детально изученной золото-кварцевой формации позднеордовикского возраста в каледонидах Северного Казахстана вариации пробности эндогенного самородного золота составляют 1000–700, лишь у единичных золотин пробность ниже 700, т. е. отвечает электрону. Обращает внимание вполне непрерывный спектр состава самородного золота, а также заметное количество золота с крайне высокой пробностью – до 1000. Крайне высокопробное золото находится в сростаниях с теллуридами не только висмута (тетрадимит, теллуровисмутит, цумоит), свинца (алтаит), никеля (мелонит), железа и ко-



Рис. 27. Обильное золото (пробность 880) в жильном кварце. 7 см. Бестюбе-Запад, горизонт – 115 м. Северный Казахстан.



Рис. 28. Обильное золото (пробность 885) в жильном кварце. 6 см. Бестюбе-Запад, горизонт – 385 м.

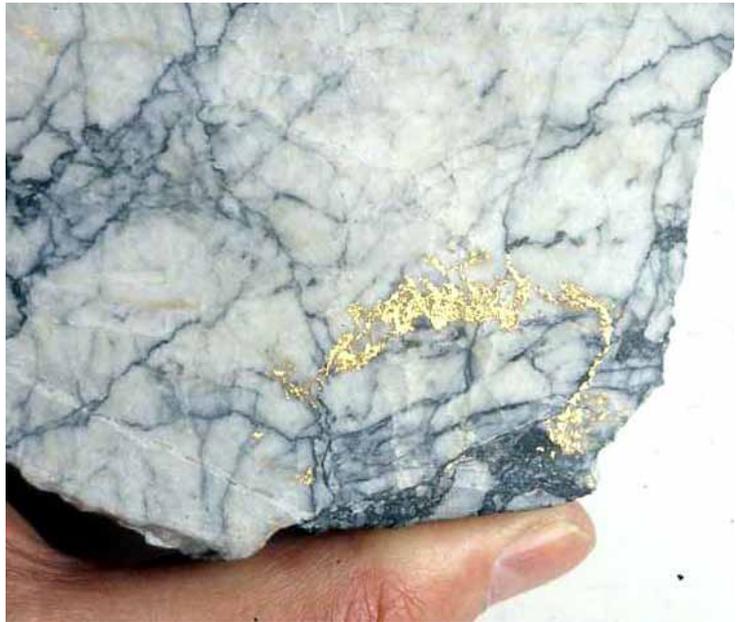


Рис. 29. Пржилки и гнёзда золота (пробность 880) в брекчиевидной кварцевой жиле. Бестюбе-Запад, горизонт – 610 м.



Рис. 30. Обильное золото (пробность 870) в жильном кварце с гнёздами крупнокристаллического арсенопирита и с тетраэдритом. 9 см. Бестюбе-Центр, горизонт – 610 м.



Рис. 31. Жильный кварц с гнездом галенита, пронизанным мелкими прожилками золота (пробность 895). 9 см. Берёзовское месторождение, Ср. Урал, шахта Северная.

бальта (фробергит до маттагамита), но и золота-серебра (калаверит, креннерит). Высокое сродство серебра к теллуру общеизвестно. Очевидно, что именно повышенной активностью Те во флюидах и обусловлена крайне высокая пробность самородного золота в некоторых месторождениях абиссальной фации (Северное Аксу). В месторождениях с самородным висмутом при наложении более поздней золотой минерализации возник реакционный мальдонит (Чвилёва и др., 1988).

В гипабиссальных месторождениях в участках брекчирования и наложения послезолоторудной сурьмяной минерализации с самородной сурьмой возник реакционный аурустибит (Назьмова, Спиридонов, 1977) (рис. 39). Он слагает оторочки вокруг самородного золота и полные псевдоморфозы по нему, замещая в первую очередь более серебристое самородное золото; сравните две гистограммы распределения пробности золота на рис. 39 – верхнюю (исходное самородное золото) и расположенную под ней (реликтовое золото, капсулированное в аурустибите). Аурустибит практически не содержит серебра. Поэтому за счёт сброшенного серебра рядом с ним возникли новообразованные минералы, не характерные для руд данного месторождения – богатый серебром тетраэдрит и миаргирит. В местах наложения более поздних гидротерм с повышенной fS_2 , отлагавших сурьмяную минерализацию с бертьеритом и антимонитом, аурустибит разложился с образованием тонкофестончатого край-

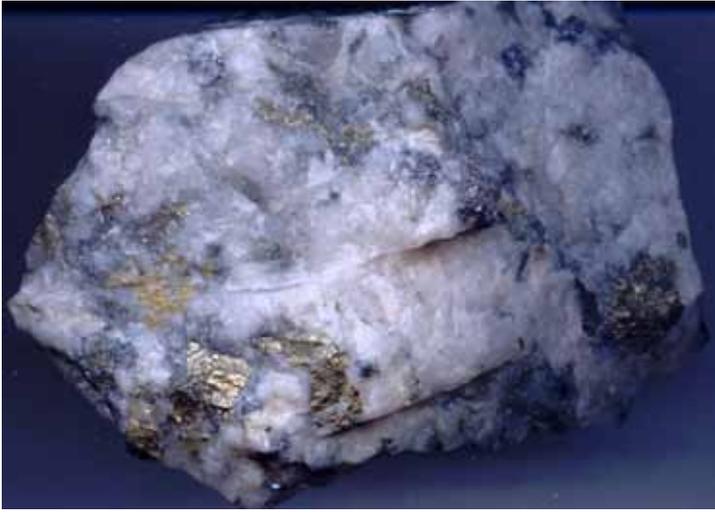


Рис. 32. Крупнозернистый жильный кварц с пиритом и кальцитом с мелкими вросками галенита, алтаита, небольшими гнёздами золота (пробность 940). 12 см. Джеламбет-Центр, Северный Казахстан.



Рис. 33. Мелкозернистый жильный кварц с малым количеством пирита и галенита (с микровросками мелонита и алтаита), с включениями обломков лиственигов с обильным пиритом. По кривым трещинам в кварце примазки мелкозернистого золота (пробность 935). 6 см. Джеламбет-Центр.

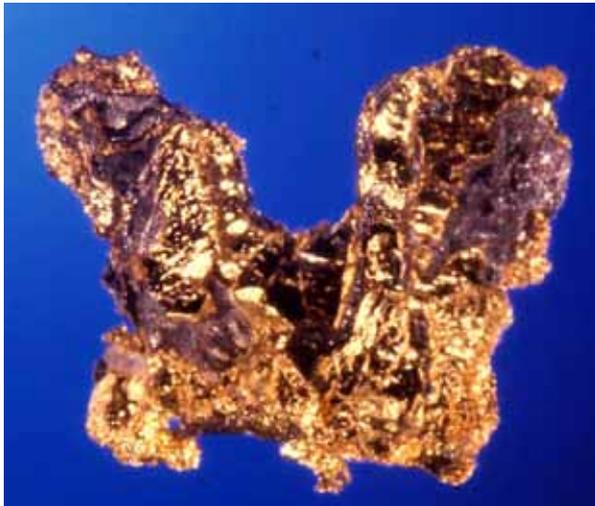


Рис. 34. Срастание золота (пробность 985) с тетрадимитом. 8 мм. Кварц растворён в плавиковой кислоте. Северное Аксу, Северный Казахстан.

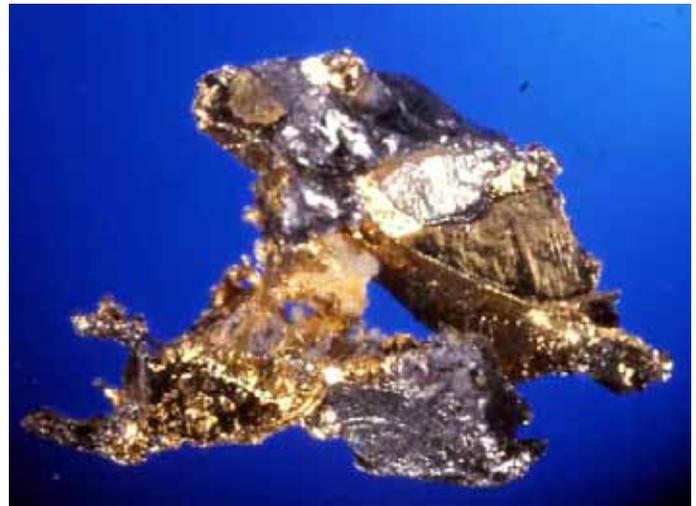


Рис. 35. Срастание золота (пробность 995) с теллурувисмутитом и калаверитом. 11 мм. Кварц растворён в плавиковой кислоте. Северное Аксу.

не высокопробного золота, не характерного для гипабиссальных месторождений золота (рис. 39). При эндогенном замещении аурустибита часть золота была переотложена, возникло новое золото в виде мелких правильных кристалликов в агрегатах антимонита (фотография в нижнем ряду на рис. 39), пробность такого золота весьма высокая – около 960. Таким образом, появление аурустибита в рудах весьма усложняет и нарушает первичную картину пробности золота. Наличие аурустибита заставляет изменять технологию переработки золотых руд, поскольку этот минерал и капсулированное в нём золото не цианируются и не амальгамируются, – руды необходимо обжигать.

Изотопный состав кислорода шеелита, который наиболее устойчив к эпигенетическому изотопному обмену, практически постоянен в плутоногенных гидротермальных месторождениях золота Казахстана, Урала, Средней Азии, Северной и Южной Америк: $\delta^{18}\text{O} = +4 \div +6\%$ SMOW. Это свидетельство глубинного метаморфогенного источника рудоносных $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ флюидов, которые сопровождали становление золотоносных инверсионных

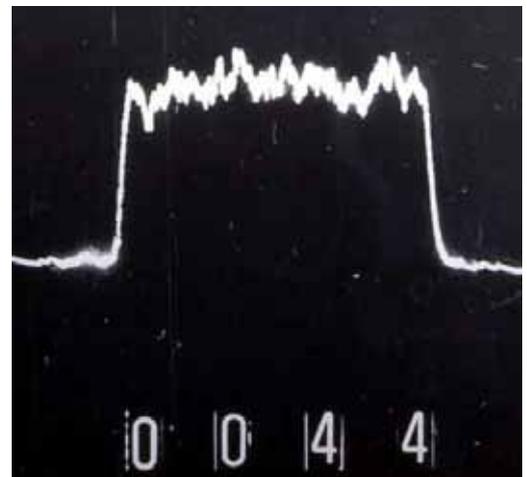


Рис. 36. Концентрационный профиль серебра через кристалл высокопробного золота 0.9 мм. Северное Аксу.

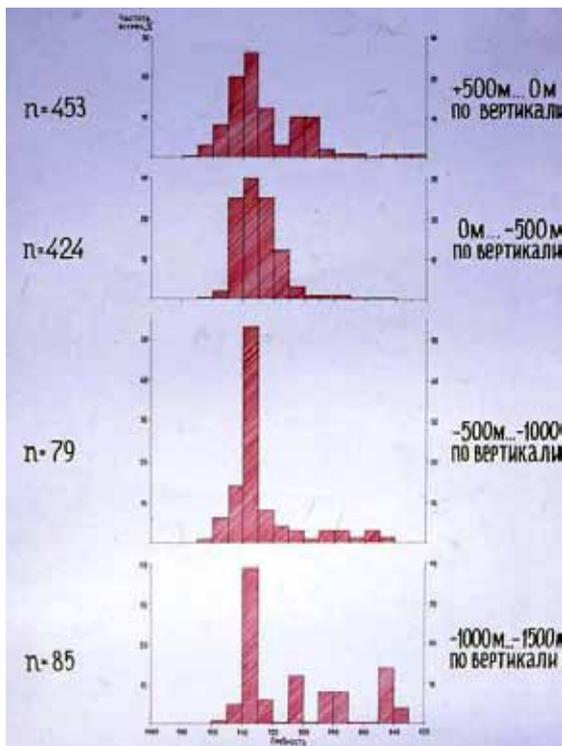


Рис. 37. Вариации пробности золота по вертикали месторождения Джеламбет-Центр, по результатам микрозондовых анализов. Данные автора.

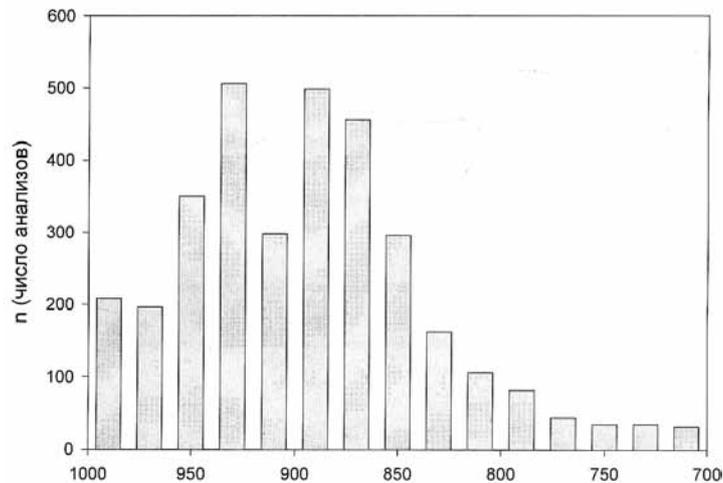


Рис. 38. Вариации пробности самородного золота позднеордовикских месторождений плутогенной золото-кварцевой формации каледонской провинции Северного Казахстана, по результатам микрозондовых анализов (n = 3305). Данные автора.

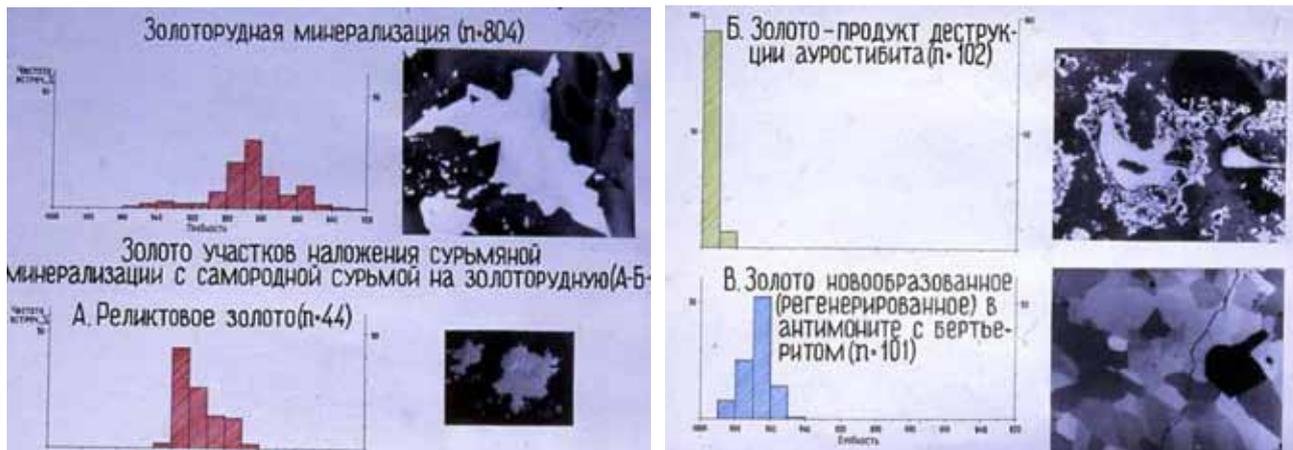


Рис. 39. Месторождение Бестюбе, Северный Казахстан. Верхний ряд – первичная золоторудная минерализация (фотография типичного выделения золота в агрегате анкерита, гистограмма пробности золота, n = 804). Ниже – золото участков наложения сурьмяной минерализации с самородной сурьмой на первичную золоторудную. А – реликтовое золото в аурустибите (фотография, гистограмма пробности золота, n = 44). Б – золото, продукт эндогенной деструкции аурустибита (фотография, гистограмма пробности золота, n = 102). В – золото новообразованное в антимоните с бертьеритом – регенерированное при разложении аурустибита (фотография, гистограмма пробности, n = 101).

тоналит-гранодиоритовых и раннеорогенных монцонитовых формаций складчатых областей и их рамы (Спиридонов, 1995 а).

Плутогенная гидротермальная медно-порфировая с Au формация

Медно-порфировая формация включает до 80% мировых запасов меди, ряд её месторождений содержит существенные количества Au и Ag. Формация сопряжена с плутоническими и вулканоплутооническими поясами складчатых областей. Генетически формация связана с малыми интрузивами гранитоид-порфиров гранодиоритовых, монцонитовых и реже гранитных комплексов. Её суть передаёт буквальный перевод названия формации с английского «porphyry-copper» – «медь в порфирах». Меденосные штокверки и окаймляющие их сверху рудные жилы размещены в телах гранитоид-порфиров (и в их экзоконтактах) и сопутствующих телах взрывных пневматогидротермальных брекчий в ореолах калиевых пропицитов, кварц-серицитовых и близкого состава метасоматитов. К вопросу о длительности формирования медно-порфировых рудоносных систем – известны гигантские

медно-порфировые месторождения с полным циклом развития, возраст которых около 1.5 млн. лет. Содержания золота в медных рудах обычно низкие – от сотых до первых десятых г/т, изредка до 0.5–1 г/т и более. Благодаря огромным запасам руд, ресурсы Au значительные. Наиболее золотоносны бедные Mo медно-порфировые месторождения энзиматических островных дуг. Типичная величина Ag/Au от 10 до 500 и более, чаще 60–80–100. По этому признаку медно-порфировая минерализация резко отлична от плутоногенной золото-кварцевой, поздние жилы которой нередко развиты среди медно-порфировых штокверков. Существенно медные руды верхних зон некоторых медно-порфировых месторождений содержат десятки г/т золота; такие руды обычно содержат также палладий и платину с соотношениями Au:Pt ≈ 100:10:1. В таких рудах в ассоциации с электрумом, алтаитом, креннеритом, петцитом, сильванитом развиты висмутотеллуриды Pd-Pt – меренскиит, майчнерит, котульскит, мончеит, реже арсенид – сперрилит (Филимонова, Слюсарёв, 1971; Николаева, 1980; Tarkian et al., 1991; Tarkian, Koopmann, 1995; Гаськов и др., 2006).

В последнее время по аналогии с медно-порфировыми выделяют так называемые золото-порфировые штокверковые месторождения. Аналогия в данном случае не корректна, поскольку эти объекты генетически, а часто и пространственно не связаны с телами гранитоид-порфиров, в отличие от медно-порфировых. Типичный пример «золото-порфировых» объектов, который описан в ряде публикаций, – месторождение Рябиновое, Алданский щит (Ли Гуанмин, 1995 и др.). Основная золоторудная залежь этого штокверкового месторождения размещена в сиенитах с размером выделений K-Na полевого шпата до 1 метра. Очевидно, пегматоидные сиениты не имеют никакого отношения к порфирам. Известны штокверковые гидротермальные месторождения золота различных генетических типов от плутоногенных до телетермальных. Представляется, что термин «золото-порфировые месторождения» излишен.

Телетермальные золоторудные формации

Золото-сурьмяная формация. Месторождения этой формации (Сарылах, Сентачан, Якутия) похожи на золото-антимонитовые плутоногенные. Однако, в последних широко развиты Ag – содержащие минералы, в том числе самородное золото, наиболее серебристое в ряду плутоногенных гидротермальных месторождений золота (Назьмова и др., 1975; Спиридонов, 1995 а). Ещё В. Линдгрэн (Lindgren, 1933) определил кварцево-жилные золото-сурьмяные месторождения как «результат совмещения мезотермального золото-кварцевого и более позднего эпитеермального сурьмяного». Примерно так же рассматриваются данные месторождения в работах (Индолев и др., 1980). Телетермальные Au-Sb месторождения бедны Ag и минералами Ag; здесь с антимонитом сосуществует самородное золото с пробностью 960–1000 – продукт эндогенной деструкции аурустибита, характерного минерала данных месторождений (Индолев, Жданов, 1975; Амузинский и др., 1992; Ortega et al., 1996). Аурустибит в данных рудах – реакционный минерал, продукт замещения самородного золота ранней досурьмяной минерализации, под действием сурьмянистых гидротерм, отлагавших самородную сурьму. Гипогенная деструкция аурустибита произошла при воздействии более поздних сурьмянистых гидротерм с повышенной fS₂, отлагавших бертьерит и антимонит; в таких Au-Sb рудах развит борнитоподобный пирит, содержащий до 18–21 % Sb (Чвилёва и др., 1988).

Золото-ртутная формация. Месторождения этой формации (Кючюс, Якутия; Нолан, США) относительно редки и своеобразны. Они выделяются наличием самородной ртути, высокортутистых амальгам Au и Au-Ag, подчас в ассоциации с теллуридами Au-Ag, Pb, Hg, магнолитом Hg₂Te₄O₃ и самородным теллуром (Галкин, 1966; Амузинский и др., 1992; Берзон и др., 1999 и др.). Таким образом, Au-Hg месторождения формировались при высокой фугитивности кислорода и весьма низкой серы. На поздней стадии развития этих месторождений при наложении поздних гидротерм с повышенной fS₂ вокруг высоко ртутистого самородного золота развиваются реакционные каймы бедного Hg золота и метациннабарита.

Золото-уран-селенидная и золото-селенидная формации. Эти телетермальные месторождения развиты в краевых частях щитов и срединных массивов (Богемский, Бразильский, Балтийский, Центрально-Французский и др.). Рудные залежи часто окружены ореолами эйситов – продуктов средне-низкотемпературного углекисло-натрового (содового) метасоматоза (Зарайский, 1989). В ассоциации с уранинитом (или без уранинита), гематитом и широким кругом селенидов Pb, Cu, Ag, Fe (Ni, Co), Hg, Tl, Pd, Pt, в их числе полные серии твёрдых растворов халькопирит – эскеборнит CuFeSe₂, галенит – клаусталит PbS-PbSe, теннантит – жиродит Cu₁₀(Zn,Fe)₂As₄Se₁₃, развиты самородное золото, фишессерит, Se блёклые руды с примесью таллия – хакит, жиродит. Для ранних минеральных ассоциаций характерно богатое палладием золото, которое в поздних ассоциациях вытесняется низкоPd или не содержащим Pd золотом в парагенезе с селенидами палладия или с арсенидами – антимонидами палладия типа мертиита (Бржедборжице, Чехия; месторождения Бразильского щита среди итабиритов – своеобразных слоистых гематитовых кварцитов; Чудное на западном склоне Приполярного Урала и др.) (Johnson, Lampadius, 1837; Johan et al., 1971; Kvaček, 1973; Picot, Johan, 1982; Чвилёва и др., 1988; Partunc et al., 1989; Stanley et al., 1990; Olivo et al., 1994; Тарбаев и др., 1996; Cabral et al., 2002, 2003; Fleet et al., 2002). Данные рудные концентрации нередко входят в состав гиперформации – пятиметальной (Ag-Bi-U-Ni-Co).

Пятиметальная формация с золотом. В ряде месторождений формации (Конгсберг и др.) присутствуют редкие включения электрума или кюстелита в зернах серебра (Браунс, 1906). Некоторые месторождения (Бу-Аззер) содержат существенные концентрации самородного золота среди наиболее поздних минеральных ассоциаций в парагенезе с арсенидами и сульфоарсенидами Ni-Fe-Co, нередко селенсодержащими (до селеноарсенидов Ni-Fe-Co), и с селенидами (Picot, Johan, 1982; Дымков, 1985; Partunc, Gandhi, 1989; Виноградова и др., 1995). Вы-

соко пробное золото нередко включено в бобовины никелина – крутовита – герсдорфита в хлорит-карбонатных жилах с лёллингитом и самородным мышьяком (месторождение Маныбай, Северный Казахстан) (Спиридонов, Широкова, 1988).

Метаморфизованные золоторудные формации

Нередко месторождения захвачены послерудным высокоградным контактовым или региональным метаморфизмом (Schneiderhöhn, 1941; Билибин, 1959; Ramdohr, 1982; Спиридонов и др., 1989; Спиридонов, 1995 b, 1996; Моисеенко, Эйриш, 1996; Hytonen, 1999). Это не только золотые месторождения архейского и протерозойского возраста, но и многие месторождения палеозойского и мезозойского возраста. При метаморфизме меняется структура рудных агрегатов и состав жильных и рудных минералов. Происходит перекристаллизация минералов, при этом микровыделения золота в сульфидах укрупняются (Масленицкий, 1944; Крейтер, 1948). Не метаморфизованные колчеданные месторождения не россыпеобразующие, тогда как метаморфизованные в условиях пумпеллиит-актинолитовой фации, фации зелёных сланцев (Карабашское рудное поле, Урал) и более высоких фаций – россыпеобразующие. Исчезают зональные по составу кристаллы. В частности, происходит гомогенизация золотин, при этом каждая из них примерно сохраняет исходный валовый состав (Oberthür, Saager, 1986; Frimmel, Gartz, 1997), возникают сростания золотин различного состава (Спиридонов, 1995 b, 1996; Frimmel, Gartz, 1997), сростания золота и серебра (Ярош, 1955), что исключено для неметаморфизованных руд. Происходит деструкция висмут-, теллур-, селен-, ртуть-, таллийсодержащих сложных сульфидов (тетраэдрит, голдфилдит, айкинит и др.) и близких к ним. Пирит нередко замещается пирротинном, обычно моноклинным (сильно магнитным), сростания пирит + халькопирит – кубанитом, висмутин – икунолитом. В метарудах широко проявлено микролокальное равновесие, т. к. реагируют контактирующие минералы с образованием разнообразных твёрдых растворов типа Iss, галенит – шапбахит; реагируют галенит и тетрадимит с образованием алексита, сэддлебакита и иных сульфотеллуридов Bi-Pb; реагируют алтаит и теллуrowисмутит с образованием раклиджита, кочкарита и иных теллуридов Bi-Pb. Одни из устойчивых при высокоградном метаморфизме минералов – электрум и золотосодержащие арсениды и сульфоарсениды Fe-Ni-Co. При контактовом метаморфизме плутоногенных месторождений Au в их холодных участках возникают метаморфогенные ртутистое золото и порошковатая киноварь за счёт паров Hg, отогнанной из наиболее горячих участков; такие факты установлены в Кочкарском рудном поле (Спиридонов, 1996).

При региональном метаморфизме с флюидодоминирующим режимом (когда давление метаморфогенного флюида превышает стрессовое, что препятствует будинажу и рассланцеванию, в метаморфизованных породах и рудах нередко сохраняются тонкие детали протолитов. В золотоносных метаконгломератах AR₂-PR₁ Витватерсранда, в отдельных участках до 30% золотин сохранили все особенности морфологии мелкого золота с эоловой обработкой – это золотины в форме тороида, аналогичные таковым из современных эоловых россыпей золота в долинах рек Восточной Якутии.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 10-05-00674).

Список литературы

- Алабин Л.В., Калинин Ю.А. Металлогения золота Кузнецкого Алатау. Н.: НИЦ ОИГГМ, 1999. 237 с.
- Альшевский А.В. Интерметаллиды золота – мальдонит и аурустибит из месторождений Северо-Востока России // Проблемы геологии и металлогении Северо-Востока Азии на рубеже тысячелетий. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2001. С. 131–134.
- Амирян Ш.О., Фарамазян А.С. Минералогия, геохимия и условия образования рудных месторождений Армянской ССР. Ереван: Изд. АН Арм. ССР, 1974. 255 с.
- Амузинский В.А., Анисимова Г.С., Жданов Ю.Я. Самородное золото Якутии: Верхне-Индибирский район. Н.: Наука, 1992. 184 с.
- Андрусенко Н.И., Щепотьев Ю.М. Температурный режим формирования и стадийность субвулканических золото-серебряных месторождений // Геохимия. 1974. С. 179–186.
- Ачкасова Е.Б., Бадалова Р.П., Бадалов С.Т., Палей А.З. Особенности самородного золота в эндогенных месторождениях Алмалыка // Зап. Узбек. отд. ВМО. 1969. Вып. 20. С. 68–72.
- Бабкин П.В., Сидоров А.А. Золото-серебряные месторождения Северо-Востока СССР // Разведка и охрана недр. 1972. № 10. С. 4–11.
- Бадалов А.С., Спиридонов Э.М. Минеральные ассоциации и эндогенная зональность вулканогенного месторождения Кайрагач // Зап. Узбек. отд. ВМО. 1986. Вып. 39. С. 18–27.
- Балейское рудное поле: геология, минералогия, вопросы генезиса. Ред. Н.В. Петровская. М.: Недра, 1984. 270 с.
- Бегизов В.Д. Минералы благородных металлов в рудах Талнахского месторождения. Дисс. к.г.-м.н. М.: МГРИ, 1977. 197 с.
- Белозерский Н.А. Карбонилы металлов. М.: Металлургия, 1958. 272 с.
- Берзон Р.О., Брызгалов И.А., Конышев В.О. и др. Геологическое строение, минеральный состав и условия формирования золото-ртутного месторождения Кючюс (Якутия, Россия) // Геол. руд. месторожд. 1999. Т. 41. С. 485–506.
- Берман Ю.С., Ботова М.М., Бочек Л.И. и др. Природная система золото-серебро // Геохимия. 1978. С. 1351–1359.
- Берман Ю.С., Волярович Г.П., Казаринов А.И. Минералого-геохимические особенности золота месторождений, сформировавшихся в близповерхностных условиях // Сов. геол. 1972. № 7. С. 47–55.
- Билибин Ю.А. О некоторых чертах металлогении золота // Зап. ВМО. 1947. Ч. 76. Вып. 1. С. 77–91.
- Билибин Ю.А. Общие вопросы металлогении золота // Избр. тр. Т. 2. М.: Изд. АН СССР, 1959. С. 238–339.
- Богданов Ю.А. Гидротермальные рудопоявления рифтов Срединно-Атлантического хребта. М.: Научный мир, 1998. 167 с.
- Богданов Ю.А., Леин А.Ю., Гурвич Е.Г. и др. Минералого-геохимические особенности гидротермальных сульфидных

- руд и флюида поля Рейнбоу, ассоциированного с серпентинитами, Срединно-Атлантический хребет // Геол. руд. месторожд. 2002. Т. 44. С. 510–542.
- Бородаевский Н.И., Ершова Н.А., Егоров Н.А. и др. Берёзовское месторождение // Золоторудные месторождения СССР. Т. 1. М.: Недра, 1984. С. 7–53.
- Ботова М.М., Берман Ю.С., Баясников С.М. Первая находка фишессерита в СССР // Докл. АН СССР. 1981. Т. 256. С. 1465–1468.
- Бочек Л.И., Сандомирская С.М., Чувикина Н.Г. и др. Новый селенсодержащий сульфид Ag, Au, Cu – пенжинит $Au(Ag,Cu)_4(S,Se)_4$ // Зап. ВМО. 1984. Ч. 113. Вып. 3. С. 356–360.
- Брагин И.К., Касавченко Г.В., Шер С.Д. и др. Месторождение Мурунтау // Золоторудные месторождения СССР. Т. 2. М.: Недра, 1986. С. 140–158.
- Браунс Р. Царство минералов. Спб.: изд. А.Ф. Девриена, 1906. 507 с.
- Брызгалов И.А. Золото-серебряное месторождение Карамкен, Магаданская обл.: минералого-геохимические черты и особенности размещения руд в жиле Главной // Геол. руд. месторожд. 2001. Т. 43. С. 346–366.
- Брызгалов И.А., Спиридонов Э.М., Петрова И.В. Бабкинит $PbBi_2(S,Se)_4$ – новый минерал // Докл. РАН. 1996. Т. 346. № 5. С. 1–3.
- Булытников А.Я. Золоторудные формации и золотоносные провинции Алтае-Саянской горной системы. Томск: изд-во Томского ун-та, 1948. 299 с.
- Буряк В.А., Хмелевская Н.М. Сухой Лог – одно из крупнейших золоторудных месторождений мира. Владивосток: изд-во Дальнаука, 1997. 156 с.
- Бутузова Г.Ю. Гидротермально-осадочное рудообразование в рифтовой зоне Красного моря. М.: ГЕОС, 1998. 311 с.
- Вейц М.В., Покровская И.О., Болгов Г.П. Минералогия полиметаллических месторождений Рудного Алтая. Алма-Ата: изд-во АН КазССР, 1957. Т. 1. 344 с.
- Вернадский В.И. Опыт описательной минералогии. Петроград: изд-во Имп. АН, 1914. 780 с.
- Виноградова Р.А., Образцов Б.В., Азизи С.М.Р. и др. Первые данные о золото-селеновой минерализации в As-Ni-Co месторождениях района Бу-Аззер, Марокко // Докл. РАН. 1995. Т. 343. С. 511–513.
- Вол А.Е., Каган И.К. Строение и свойства двойных металлических систем. Системы золота. Т. III. М.: Наука, 1976. С. 80–122, 213–219.
- Воларович Г.П., Николаева Л.А., Бархударян Н.Б. Типоморфные особенности золота и кварца близповерхностных месторождений // Научные основы и практическое использование типоморфизма минералов. М.: Наука, 1980. С. 204–212.
- Волостных Г.Т. Аргиллизация и оруденение. М.: Недра, 1971. 240 с.
- Высоцкий Н.К. Месторождения золота Кочкарской системы на Ю. Урале // Тр. Геолкома. Т. 13. СПб, 1900. 229 с.
- Галкин М.А. Минеральные ассоциации на ртутных месторождениях Северо-Востока Якутии // Докл. АН СССР. 1966. Т. 169. С. 438–440.
- Гамянин Г.Н. Минералого-генетические аспекты золотого оруденения Верхояно-Колымских мезозоид. М.: изд-во Геос, 2001. 222 с.
- Гамянин Г.Н., Некрасов И.Я., Самусиков В.П. Мальдонит из золоторудных проявлений Вост. Якутии // Минерал. журнал. 1986. № 3. С. 65–71.
- Гаськов И.В., Акимцев В.А., Ковалёв К.Р. и др. Золотосодержащие минеральные ассоциации месторождений меднорудного профиля Алтае-Саянской складчатой области // Геол. и геофиз. 2006. Т. 47. С. 986–994.
- Генкин А.Д., Филимонова А.А., Евстигнеева Т.Л. и др. Сульфидные медно-никелевые руды норильских месторождений. М.: Наука, 1981. 234 с.
- Годлевский М.Н., Разин Л.В., Конкина О.М. Золотоносность дифференцированных интрузивов норильского типа // Тр. ЦНИГРИ. 1970. Вып. 87. С. 42–57.
- Гончаров В.И. Гидротермальное рудообразование в краевых вулканогенных поясах. М.: Наука, 1983. 216 с.
- Гончаров В.И., Ворцепнев В.В., Альшевский А.В. Типоморфизм самородного золота дайковых золоторудных месторождений Северо-Востока СССР // Тихоокеанская геология. 1987. № 2. С. 68–77.
- Громова Е.И., Завьялова Л.Л., Глотов А.М. Находка редко встречающихся минералов золота (мальдонит, аурустибит) в рудах месторождения Зармитан (Чармитан) Зап. Узбекистана // Зап. Узб. отд. ВМО. 1979. Вып. 31. С. 38–40.
- Дистлер В.В., Служеникин С.Ф., Кабри Л.Дж. и др. Платиновые руды Норильских расслоенных интрузивов: соотношение магматического и флюидного концентрирования благородных металлов // Геология рудных месторождений, 1999. Т. 41. С. 241–265.
- Дриц М.Е., Бочвар Н.Р., Гузей Л.С. и др. Двойные и многокомпонентные сплавы на основе меди. М.: Наука, 1979. 248 с.
- Евстигнеева Т.Л., Генкин А.Д. Платинометальная минерализация норильских медно-никелевых руд: природные и экспериментальные данные // Геология медно-никелевых месторождений СССР. Л.: 1990. С. 98–106.
- Зарайский Г.П. Зональность и условия образования метасоматических горных пород. М.: Наука, 1989. 342 с.
- Золоторудные месторождения островных дуг Тихого Океана. М.: ЦНИГРИ. 1989. 244 с.
- Золоторудные месторождения СССР. Т. 1–5. М.: Недра, 1984–1990.
- Ивсенс Ю.П., Левин В.И. Генетические типы золотого оруденения и золоторудные формации // Золоторудные формации и геохимия золота Верхояно-Чукотской складчатой области. М.: Наука, 1975. С. 5–120.
- Индолев Л.Н., Жданов Ю.Я. Аурустибит из золото-сурьмяных месторождений Якутии // Зап. ВМО. 1975. Ч. 104. С. 586–588.
- Индолев Л.Н., Жданов Ю.Я., Суплецов В.М. Сурьмяное оруденение Верхоянской провинции. Н.: Наука, 1980. 232 с.
- Казаченко В.Т., Чубаров В.М. Золото-серебряная минерализация в марганцовистых и железистых метасоматитах // Докл. АН СССР. 1978. Т. 240. С. 707–709.
- Качаловская В.М., Кукоев В.А., Козлова Е.В. Теллуриды в рудах месторождения Уруп // Геология рудных месторождений. 1971. Т. 13. № 6. С. 98–104.

- Коваленкер В.А., Залибекян М.А., Лапутина И.П. и др. Сульфидно-теллуридная минерализация Меградзорского рудного поля, Армения // Геология рудных месторождений. 1990. № 3. С. 65–81.
- Коваленкер В.А., Наумов В.Б., Прокофьев В.Ю. Минералого-геохимические закономерности и РТ-параметры формирования минеральных ассоциаций Кочбулакского рудного поля // Геология рудных месторождений. 1988. № 1. С. 38–52.
- Коваленкер В.А., Некрасов И.Я., Некрасова А.Н. и др. Сульфидно-селенидно-теллуридная минерализация эпиптермальных проявлений Курило-Камчатского вулканического пояса // Минерал. журнал. 1989. Т. 11. № 6. С. 3–18.
- Коваленкер В.А., Тронева Н.В., Доброниченко В.В. Особенности состава минералов трубообразных рудных тел месторождения Кочбулак // Методы исследования рудообразующих сульфидов и их парагенезисов. М.: Наука, 1980. С. 140–164.
- Коваленкер В.А., Тронева Н.В., Вяльсов Л.Н. и др. Первая находка костовита в СССР // Докл. АН СССР. 1979. Т. 247. № 5. С. 1249–1252.
- Константинов М.М., Наталенко В.Е., Калинин А.И., Стружков С.Ф. Золото-серебряное месторождение Дукат. М.: Недра. 1998. 203 с.
- Коржинский Д.С. Очерк метасоматических процессов // Основные проблемы в учении о магматогенных рудных месторождениях. М.: изд-во АН СССР, 1953. С. 334–456.
- Коробейников А.Ф. Условия локализации золота в палеозойских орогенах. Н.: Наука, 1987. 177 с.
- Котов Н.В., Порицкая Л.Г., Гембицкий В.В. Самородное золото месторождений Зап. Узбекистана. Спб.: Невский курьер, 1995. 96 с.
- Кравцова Р.Г. Минералого-геохимическая зональность и особенности формирования золото-серебряных месторождений (северо-восток России) // Геология и геофизика. 1998. Т. 39. С. 763–777.
- Крейтер Б.М. Размер частиц золота в сульфидных месторождениях как признак послерудного метаморфизма // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1948. № 1.
- Кривицкая Н.Н., Брызгалов И.А., Спиридонов Э.М. Джонасонит $AuBi_5S_4$ – первая находка в Вост. Забайкалье // Докл. РАН. 2008. Т. 420. № 2. С. 368–371.
- Кривицкая Н.Н., Брызгалов И.А., Спиридонов Э.М. и др. Парагенезы минералов Au-Bi-Sb-Te в Дарасунском вулканогенно-плутоногенном месторождении, Восточное Забайкалье // Самородное золото: типоморфизм минеральных ассоциаций, условия образования месторождений, задачи прикладных исследований. М.: ИГЕМ РАН. 2010. Т. 1. С. 292–294.
- Крутов Г.А. Месторождения кобальта. М.: Госгеолтехиздат, 1971. 213 с.
- Крылова В.В., Сандомирская С.М., Чувикина Н.Г. Олово, свинец и интерметаллические соединения в рудах месторождений золото-серебряной формации // Тр. ЦНИГРИ. 1979. Вып. 142. С. 22–28.
- Кулагов Э.А. Особенности минерального состава руд месторождения Норильск-1. Дисс. к.г.-м.н. М.: МГУ, 1968. 239 с.
- Курский А.Н. Выбор методов аналитического определения металлов платиновой группы в породах и рудах при решении геологических задач // Платина России. Проблемы развития минерально-сырьевой базы платиновых металлов в XXI веке (минералогия, генезис, технология, аналитика). Т. IV. М.: ЗАО Геоинформмарк. 1999. С. 246–263.
- Кутюхин П.И. Вещественный состав руд Берёзовского золоторудного месторождения и типы кварцевых жил // Св.: СГИ. 1937. 93 с.
- Лазаренко Е.К., Лазаренко Э.А., Барышников Э.К. Минералогия Закарпатья. Львов: изд-во Львов. ун-та, 1963. 614 с.
- Лайпанов Х.Х., Михайлова Л.В. Минералого-геохимические особенности листовитов, березитов и золото-сульфидно-кварцевых жил // Тр. ЦНИГРИ. 1982. № 167. С. 49–54.
- Лебедев Л.М. О природе металлоносности кислых гидротерм аппаратов вулканов // Современные гидротермы и минералообразование. М.: Наука, 1988. С. 22–24.
- Летников Ф.А., Вилор Н.В. Золото в гидротермальном процессе. М.: Недра, 1981. 225 с.
- Ли Гуанмин. Морфология, вещественный состав и генетические особенности золото-порфирового оруденения месторождения «Рябиновое» (Центральный Алдан). Автореф. дисс. к.г.-м.н. М. 1995. 28 с.
- Ложечкин М.П. Новые данные о химическом составе «медистого» золота // Докл. АН СССР. 1939. Т. 24. № 5. С. 454–457.
- Ляхов Ю.В. Флюидный режим рудообразующих процессов и факторы концентрации золота в разноглубинных условиях // Минерал. сб. Львов. ун-та. № 42. 1988. Вып. 2. С. 26–35.
- Масленицкий И.Н. О некоторых случаях образования дисперсных выделений золота из сульфидов железа // Докл. АН СССР. 1944. Т. 45. № 9. С. 405.
- Митенков Г.А., Кнауф В.В., Ерцева Л.Н. и др. Минералы элементов платиновой группы в сплошных пирротиновых рудах Талнаха // Основные проблемы в учении о магматогенных рудных месторождениях. М.: Наука. 1997. С. 284–285.
- Моисеева М.И., Бадалова Р.П., Маркова Э.А. Золото, электрум, кюстелит // Минералы Узбекистана. Т. I. Ташкент: Фан. 1975. С. 31–41.
- Моисеенко В.Г., Эйриш Л.В. Золоторудные месторождения Востока России. Владивосток: изд-во Дальнаука, 1996. 352 с.
- Мурзин В.В., Таланцев А.С., Леонтьев Р.Л. Самородки золота на глубоких горизонтах Берёзовского месторождения (Урал) // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1987. № 5. С. 70–79.
- Назьмова Г.Н., Спиридонов Э.М. Ртутистое золото // Докл. АН СССР. 1979. Т. 246. С. 702–705.
- Назьмова Г.Н., Спиридонов Э.М., Шаласев Ю.С. Ауростибит месторождения Бестюбе в Сев. Казахстане (первая находка в СССР) // Докл. АН СССР. 1975. Т. 222. С. 687–689.
- Нарсеев В.А., Сидоров А.А., Фогельман Н.А. и др. Основы прогнозирования золоторудных месторождений в терригенных комплексах. М.: изд-во ЦНИГРИ, 1986. 192 с.
- Наумова О.А. Гидротермально измененные породы Au-Ag месторождений Центр. и Ю. Камчатки. Автореф. дисс. к.г.-м.н. ЦНИГРИ: 1996. 23 с.
- Некрасов И.Я. Геохимия, минералогия и генезис золоторудных месторождений. М.: Наука, 1991. 302 с.
- Некрасов И.Я., Ленников А.М., Октябрьский Р.А. и др. Петрология и платиноносность кольцевых щелочно-ультраосновных комплексов. М.: Наука. 1994. 321 с.
- Некрасов И.Я., Самусиков В.П., Лескова Н.В. Первая находка сульфида $AuAgS$ – аналога петровскаита // Докл. АН СССР. 1988. Т. 303. № 4. С. 944–947.

- Некрасова А.Н., Берман Ю.С., Крылова В.В. и др. Особенности состава сульфосолей серебра из близповерхностных месторождений // Тр. ЦНИГРИ. 1979. Вып. 149. С. 10–17.
- Нестеренко Г.В., Кузнецова А.И., Пальчик Н.А. Петровскиит $\text{AuAg}(\text{S},\text{Se})$ – новый селенсодержащий сульфид золота и серебра // Зап. ВМО. 1984. Ч. 113. Вып. 5. С. 602–607.
- Николаева Е.И. Типоморфизм самородного золота в рудах медно-порфировых месторождений Алмалыкского рудного района. В кн.: Минералогия и геохимия эндогенных месторождений Средней Азии. Ташкент: изд. САИГИМС. 1980. Вып. 3. С. 79–98.
- Николаева Л.А. Генетические особенности самородного золота как критерии при поисках и оценке руд и россыпей. М.: Недра, 1978. 101 с.
- Новгородова М.И., Цепин А.И., Вяльсов Л.Н. и др. Новые данные по кристаллохимии и свойствам природных интерметаллических соединений системы Cu-Au // Зап. ВМО. 1977. Ч. 106. С. 540–552.
- Нолан Т. Эпитермальные месторождения драгоценных металлов. В кн.: Геология рудных м-ний западных штатов США. М.-Л.: изд. НТЦ, 1937. С. 540–556.
- Обручев В.А. Рудные месторождения. М.: ОНТИ, 1935. 596 с.
- Павлова Л.К. Геолого-геохимические особенности золото-скарновых месторождений Кузнецкого Алатау и Горного Алтая. Автореф. дисс. канд. геол.-мин. наук. Новосибирск: ИГ и Г СО АН. 1993. 48 с.
- Петровская Н.В. Самородное золото. М.: Наука, 1973. 348 с.
- Петровская Н.В. Что же такое полигенные рудные месторождения // Зап. ВМО. 1986. Ч. 155. № 3. С. 273–287.
- Петровская Н.В. Золотые самородки. М.: Наука, 1993. 192 с.
- Петровская Н.В., Новгородова М.И. Распад и упорядочение природных золото-серебряных твёрдых растворов. В кн.: Упорядочение и распад твёрдых растворов в минералах. М.: Наука. 1980. С. 177–184.
- Петровская Н.В., Сафонов Ю.Г., Шер С.Д. Формации золоторудных месторождений. В кн.: Рудные формации эндогенных месторождений. Т. 2. М.: Наука, 1976. С. 3–110.
- Пилипенко П.П. Минералогия Западного Алтая. Томск: изд-во Томского университета. 1915. 763 с.
- Пляшкевич Л.Н. Золотое и золото-серебряное оруденение эпитермального типа на Северо-Востоке СССР. В кн.: Рудоносность вулканогенных образований Северо-Востока и Дальнего Востока. Магадан: изд-во СВКНИИ, 1967. С. 52–57.
- Покровский П.В., Мурзин В.В., Берзон Р.О. К минералогии самородного золота месторождения Золотая Гора // Зап. ВМО. 1979. Ч. 108. № 3. С. 317–326.
- Попенко Г.С. Минералогия золота Узбекистана. М.: Недра, 1982. 150 с.
- Прокофьев В.Ю. Типы гидротермальных рудообразующих систем (по данным исследования флюидных включений) // Геология рудных месторождений. 1998. Т. 40. С. 514–528.
- Прокуронов П.В., Дрыжак Ю.И., Шкурский В.И. Первая находка мальдонита в СССР // Зап. ВМО. 1978. Ч. 105. Вып. 4. С. 453–456.
- Пшеничный Г.Н. Гайское медно-колчеданное месторождение Южного Урала. М.: Наука. 1975. 188 с.
- Разин Л.В., Сидоренко Г.А. Анюйит AuPb_2 – новый интерметаллид золота и свинца // Минерал. журнал. 1989. Т. XI. № 4. С. 88–92.
- Рожков И.С., Гринберг Г.А., Гамянин Г.Н. Позднемезозойский магматизм и золотое оруденение Верхне-Индигирского района. М.: Наука, 1971. 240 с.
- Савва Н.Е. Электрум-акантит-айтенбогардтитовый минеральный тип золото-серебряного оруденения в трубчатых неках риолитов. В кн.: Минералогия и генетические особенности месторождений золота и серебра. Магадан: изд. СВКНИИ ДВО РАН, 1996. С. 66–82.
- Савва Н.Е., Пальянова Г.А. Генезис сульфидов золота и серебра на месторождении Улахан (Северо-Восток России) // Геология и геофизика. 2007. Т. 48. С. 1028–1042.
- Савва Н.Е., Прейс В.К. Атлас самородного золота Северо-Востока СССР. М.: Наука, 1990. 293 с.
- Савва Н.Е., Раевская И.С. О находке бериллиевого минерала в золото-серебряных рудах // Колыма. 1974. № 6. С. 44–48.
- Сазонов В.Н. Березит-лиственитовая формация и сопутствующее ей оруденение (на примере Урала). Свердловск: изд-во УНЦ АН СССР, 1984. 208 с.
- Самусиков В.П., Некрасов И.Я., Лескова Н.В. Золото-серебряный сульфоселенид $(\text{Ag},\text{Au})_2(\text{S},\text{Se})$ из золотого м-ния Якутское // Зап. ВМО. 2002. Ч. 131. Вып. 6. С. 61–65.
- Сахарова М.С. Минералогия золота Дарасунского месторождения (Восточное Забайкалье) // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1968. № 11. С. 51–68.
- Сахарова М.С., Кривицкая Н.Н., Ряховская С.К., Брызгалов И.А. Минералогические и генетические особенности золото-серебряного оруденения северо-западной части Тихоокеанского обрамления. М.: Наука, 1992. 257 с.
- Сахарова М.С., Кривицкая Н.Н., Спиридонов Э.М. Первая находка мальдонита в Сибири // Докл. АН СССР. 1983. Т. 270. № 4. С. 960–962.
- Сидоров А.А. Рудные формации фанерозойских провинций. Магадан: изд. СВКНИИ, 1987. 85 с.
- Синдеева Н.Д. Минералогия, типы месторождений, основные черты геохимии селена и теллура. М.: изд-во АН СССР. 1959. 257 с.
- Служеникин С.Ф., Дистлер В.В., Туровцев Д.М. и др. Малосульфидное платиновое оруденение в Норильских дифференцированных интрузивах // Геология рудных месторождений. 1994. Т. 36. С. 195–217.
- Служеникин С.Ф., Мохов Ф.В. Минералы золота и серебра в месторождениях Норильского района. В кн.: Геология, генезис и вопросы освоения месторождений благородных металлов. М.: ИГЕМ РАН, 2002. С. 326–330.
- Смирнов В.И. Геология полезных ископаемых. М.: Недра, 1982. 688 с.
- Смирнов Ф.Л. Редкие минералы в борнитовых рудах медно-колчеданного м-ния Уруп на Северном Кавказе // Тр. Минерал. музея АН СССР. 1959. Вып. 10. С. 171–179.
- Смолин А.П. Самородки золота Урала. М.: Недра, 1970. 144 с.

- Спиридонов Э.М. Минеральные ассоциации золото-теллуридного месторождения Ю. Аксу в Сев. Казахстане // Зап. Узбек. Отд. ВМО. 1985. Вып. 38. С. 90–95.
- Спиридонов Э.М. Месторождение Степняк. Месторождение Южное Аксу. В кн.: Геология золоторудных месторождений СССР. Т. II. М.: Недра, 1986. С. 57–65, 66–74.
- Спиридонов Э.М. Самородное ртутистое золото Северного Казахстана // Тр. Минерал. музея АН СССР. 1991 а. Вып. 37. С. 108–127.
- Спиридонов Э.М. Нагиагит $\text{AuPb}_5\text{Te}_{4-x}\text{Sb}_x\text{S}_6$ (уточнённые данные о составе) // Тр. Минерал. музея АН СССР. 1991 б. Вып. 37. С. 128–138.
- Спиридонов Э.М. О составе и структуре минералов группы билибинскита – богдановита // Тр. Минерал. музея АН СССР. 1991 в. Вып. 37. С. 138–145.
- Спиридонов Э.М. Листвениты и зодиты // Геология рудных месторождений. 1991. Т. 33. № 2. С. 38–48.
- Спиридонов Э.М. Условия образования мышьяковистого теллурантимонита в вулканогенных гидротермальных месторождениях Au // Вестн. МГУ. Сер. геол. 1994. № 4. С. 73–78.
- Спиридонов Э.М. Инверсионная плутоногенная золото-кварцевая формация каледонид севера Центрального Казахстана // Геология рудных месторождений. 1995 а. Т. 37. № 3. С. 179–207.
- Спиридонов Э.М. Минералогия метаморфизованного плутоногенного золото-кварцевого месторождения Кочкарское, Южный Урал. I. Золото-теллуридные руды // Зап. ВМО. 1995 б. Ч. 124. Вып. 6. С. 24–39.
- Спиридонов Э.М. Минералогия метаморфизованного плутоногенного золото-кварцевого месторождения Кочкарское, Южный Урал. II. Золото-галенит-висмутиновые руды // Зап. ВМО. 1996. Ч. 125. Вып. 6. С. 1–10.
- Спиридонов Э.М. Майкаинит $\text{Cu}_{26}(\text{Fe,Cu})_6\text{Mo}_2\text{Ge}_6\text{S}_{32}$ и овамбоит $\text{Cu}_{26}(\text{Fe,Cu,Zn})_6\text{W}_2\text{Ge}_6\text{S}_{32}$ – новые минералы колчеданно-полиметаллических руд // Докл. РАН. 2003. Т. 393. № 6. С. 1–4.
- Спиридонов Э.М. Железистый богдановит $\text{Au}_5\text{CuFe}_2(\text{Te,Pb})_2$ из зоны цементации Агинского золото-теллуридного месторождения на Камчатке // Тр. Минерал. музея РАН им. А.Е. Ферсмана. 2008. Вып. 43. С. 143–145.
- Спиридонов Э.М. Рудно-магматические системы Норильского рудного поля // Геология и геофизика. 2010. Т. 51. № 9. С. 1356–1378.
- Спиридонов Э.М., Бадалов А.С. Стибиоколузит $\text{Cu}_{26}\text{V}_2(\text{Sb,Sn,As})_6\text{S}_{32}$ – новый минерал // Докл. АН. 1992. Т. 324. № 2. С. 411–414.
- Спиридонов Э.М., Демент Т.Н., Минервин О.В. и др. Золоторудное поле Аксу, Северный Казахстан: реальное геологическое строение и реальная минерально-геохимическая зональность месторождений Au-Sb, Au-Cu, Au-Te, Au-Bi-Te (по результатам объёмного геолого-геофизического, минералогического и геохимического картирования масштаба 1:25000 - 1:10000 до глубин 900–1200 м). В кн.: Геология, генезис и вопросы освоения комплексных месторождений благородных металлов. М.: изд-во ИГЕМ РАН. 2002. С. 240 – 244.
- Спиридонов Э.М., Ершова Н.А., Тананаева О.И. Кочкарит PbBi_4Te_7 – новый минерал из контактово-метаморфизованных руд // Геология рудных месторождений. 1989. Т. 34. № 4. С. 98–102.
- Спиридонов Э.М., Игнатов А.М., Шубина Е.В. Эволюция блёклых руд вулканогенного месторождения Озерновское, Камчатка // Изв. АН СССР. 1990. № 9. С. 82–94.
- Спиридонов Э.М., Качаловская В.М. Германоколузит $\text{Cu}_{26}\text{V}_2(\text{Ge,As})_6\text{S}_{32}$ – новый минерал // Вестн. МГУ. Сер. геол. 1992 б. № 6. С. 50–54.
- Спиридонов Э.М., Кривицкая Н.Н., Брызгалов И.А. Особенности строения и состав карбонатов золоторудных жил Дарасунского вулканогенно-плутоногенного месторождения (Восточное Забайкалье) // Проблемы геологии рудных месторождений, минералогии, петрологии и геохимии. ИГЕМ РАН: 2008. С. 352–355.
- Спиридонов Э.М., Кривицкая Н.Н., Брызгалов И.А. и др. Богатый висмутом аурустибит – продукт замещения мальдонита в вулканогенно-плутоногенном месторождении Дарасун (Восточное Забайкалье) // Докл. РАН. 2010. Т. 435. № 4. С. 1–4.
- Спиридонов Э.М., Кулагов Э.А., Куликова И.М. Ассоциации минералов палладия, платины и золота в рудах Норильского месторождения // Геология рудных месторождений. 2004. Т. 46. № 2. С. 175–192.
- Спиридонов Э.М., Куликова И.М., Филимонов С.В. и др. Свинцовистый колорадоит и минералы золота в вулканогенных месторождениях южной Армении и северо-западного Ирана // Докл. РАН. 2003. Т. 393. № 2. С. 1–4.
- Спиридонов Э.М., Назьмова Г.Н., Шалаев Ю.С., Шавкин Г.Н. Месторождение Бестобе. Месторождение Джеламбет. В кн.: Геология золоторудных месторождений СССР. Т. II. М.: Недра, 1986 б. С. 32–43, 44–56.
- Спиридонов Э.М., Округин В.М. Селенистый голдфилдит – новая разновидность блёклых руд // Докл. АН СССР. 1985. Т. 280. № 2. С. 476–478.
- Спиридонов Э.М., Плетнёв П.А. Месторождение медистого золота Золотая Гора (о «золото-родингитовой» формации). М.: Научный Мир, 2002. 220 с.
- Спиридонов Э.М., Ряховская С.К., Плетнёв П.А. Гидротермальные минералы Au-Cu: парагенезы, условия образования, синтез, твердофазные превращения. В кн.: XV Российское совещание по экспер. минералогии. Сыктывкар. 2005. С. 314–316.
- Спиридонов Э.М., Соколова Н.Ф., Гапеев А.К. Минеральные ассоциации золото-теллуридного месторождения Жана-Тюбе в Северном Казахстане // Геология рудных месторождений. 1974. № 1. С. 54–65.
- Спиридонов Э.М., Спиридонов Ф.М., Юдин А.В. Новые данные о скиппените Bi_2TeSe_2 // Докл. АН. 1995 с. Т. 343. № 2. С. 229–232.
- Спиридонов Э.М., Филимонов С.В., Брызгалов И.А. Твёрдый раствор фишессерит – науманнит $(\text{Ag,Au})_2\text{Se}$ в рудах вулканогенного месторождения золота Озерновское, Камчатка // Докл. РАН. 2009. Т. 425. № 3. С. 391–394.
- Спиридонов Э.М., Филиппьев М.П., Балашов Е.П., Шавкин Г.Н. Месторождение Кварцитовые Горки. В кн.: Геология золоторудных месторождений СССР. Т. II. М.: Недра, 1986 д. С. 75–86.
- Спиридонов Э.М., Чвилёва Т.Н. Безмертновит $\text{Au}_4\text{Cu}(\text{Te,Pb})$ – новый минерал из зоны окисления месторождения Дальнего Востока // Докл. АН СССР. 1979. Т. 249. С. 185–189.
- Спиридонов Э.М., Чвилёва Т.Н. Мутманнит AuAgTe_2 – новые данные // Докл. АН СССР. 1985. Т. 280. № 4. С. 994–997.
- Спиридонов Э.М., Широкова Г.М. О новом типе золото-урановой минерализации, Сев. Казахстан // Мат. по геологии

м-ний урана. № 111. М.: изд-во ВИМС, 1988. С. 73–76.

Тарбаев М.П., Кузнецов С.Г., Моралёв Г.В. и др. Новый золото-палладиевый тип минерализации в Кожимском районе Приполярного Урала (Россия) // Геология рудных месторождений. 1996. Т. 36. № 1. С. 15–30.

Таусон В.Л., Кравцова Р.Г., Гребенщикова В.И. Типохимизм поверхности кристаллов пирита золоторудных месторождений // Докл. РАН. 2004. Т. 399. С. 673–677.

Таусон Л.В., Гундобин Г.М., Зорина Л.Д. Геохимические поля рудно-магматических систем. Новосибирск: Наука. 1987. 202 с.
Филимонова Л.Е., Слюсарев А.П. Минералы теллура в рудах медно-молибденового месторождения Бошекуль. В кн.: Минералогия и геохимия Центрального Казахстана и Алтая. Алма-Ата: Наука. 1971. С. 42–51.

Фирсов Л.В. Золото-кварцевая формация Яно-Колымского пояса. Новосибирск: Наука, 1985. 216 с.

Фогельман Н.А. Золоторудные формации и промышленные типы // Тр. ЦНИГРИ. 1985. Вып. 197. С. 18–25.

Хамид Ш., Победимская Е.А., Спиридонов Э.М., Белов Н.В. Уточнённая структура петцита $AuAg_3Te_2$ // Кристаллография. 1978. Т. 23. № 3. С. 483–486.

Хомич В.Г. Хаканджинское рудное поле. Владивосток: изд-во Дальнаука. 2002. 206 с.

Чвилёва Т.Н., Безсмертная М.С., Спиридонов Э.М. и др. Справочник-определитель рудных минералов в отраженном свете. М.: Недра, 1988. 505 с.

Шер С.Д. Металлогения золота (Северная Америка, Австралия и Океания). М.: Недра, 1972. 295 с.

Шер С.Д. Металлогения золота (Евразия, Африка, Южная Америка). М.: Недра, 1974. 256 с.

Щепотьев Ю.М., Варганян С.С., Орешин В.Ю., Гузман Б.В. Золоторудные месторождения островных дуг Тихого Океана. М.: Недра, 1989. 244 с.

Якубовская Н.Ю., Спиридонов Э.М., Пономарёва И.А., Гапеев А.К. О «магнитном» самородном золоте // Докл. АН СССР. 1989. Т. 309. № 2. С. 434–437.

Яренская М.А. Борнит-теннантит-халькозиновая ассоциация в колчеданных рудах Казахстана. В кн.: Минералогия и геохимия Центрального Казахстана. Алма-Ата: Наука, 1971. С. 5–15.

Ярош П.Я. О явлениях сростания самородного золота и серебра в одном из колчеданных месторождений Урала // Тр. СГИ. Свердловск: 1955. Вып. 22.

Altaner S.P., Fitzpatrick J.J., Krohn M.D. et al. Ammonium in alunites // Amer. Mineral. 1988. V 73. P 145–152.

Andersen J.C.Ø., Rasmussen H., Nielsen T.F.D. & Rønbo J.G. The Triple Group and the Platinova Gold and Palladium Reefs in the Skaergaard Intrusion: Stratigraphic and Petrographic Relations // Econ. Geol. 1998. V 93. P 488–509.

Ansdell K.M. & Kyzer T.K. Mesothermal gold mineralization in a Proterozoic greenstone belt: Western Flin Flon domain, Saskatchewan, Canada // Econ. Geol. 1992. V 87. P 1496–1524.

Bachechi F. Synthesis and stability of montbrayite // Amer. Mineral. 1972. V 57. P. 146–154.

Barton M.D., Kieft C., Burke E.A.J. & Oen I.S. Uyttenbogaardtite, a new silver-gold sulfide // Canad. Mineral. 1978. V 16. P 651–657.

Berman H. & Harcourt G.A. Natural amalgams // Amer. Mineral. 1938. V 23. P 761–764.

Bindi L. & Cipriani C. Structural and physical properties of fischesserite, a rare gold-silver selenide from the De Lamar mine, Owyhee County, Idaho, USA // Canad. Mineral. 2004a. V 42. P 1733–1737.

Bindi L. & Cipriani C. Museumite, $AuPb_5SbTe_2S_{12}$, a new mineral from the gold-telluride deposit of Sacarîmb, Metaliferi Mountains, western Romania // Eur. J. Mineral. 2004b. V 16. P 835–838.

Bindi L., Rossell M.D., Van Tandeloo G. et al. Inferred phase relations in part of the system Au – Ag – Te on integrated analytical study of gold ore from the Golden Mile, Kalgoorlie, Australia // Mineral. Petrol. 2005. V 83. P 283–293.

Binns R.A. & Scott S.D. Actively forming polymetallic sulfide deposits associated with felsic volcanic rocks in the Eastern Manus back-arc basin, Papua New Guinea // Econ. Geol. 1993. V 88. P 2226–2236.

Bonev I.K. & Petrunov R. Cuprian montbrayite, $(Au,Cu)_2Te_3$, associated with goldfieldite from the Chelopech Au-Cu deposit, Bulgaria // 32th Intern. Geol. Congr. 2004. V 1.

Bowell R.J., Foster R.P. & Stanley C.J. Telluride mineralization at Ashanti gold mine, Ghana // Mineral. Mag. 1990. V 54. P 617–627.

Boyle R.M. The geochemistry of gold and its deposits (together with a chapter on geochemical prospecting for the element) // Bull. Geol. Surv. Canada. 1979. № 280. 584 p.

Brown P.R.L. & Ellis A.J. The Ohaki-Broadlands hydrothermal area, New Zealand: mineralogy and related geochemistry // Amer. J. Sci. 1970. V 269. P 97–131.

Cabral A.R., Lehmann B., Kwitko R. et al. The Serra Pelada Au-Pd-Pt deposit, Carajas mineral province, northern Brazil: reconnaissance mineralogy and chemistry of very-high-grade palladian gold mineralization // Econ. Geol. 2002. V 97. P 1127–1138.

Cabral A.R., Lehmann B., Kwitko-Ribeiro R. et al. On the association of Pd-bearing gold, hematite and gypsum in an Ouro Preto nugget // Canad. Mineral. 2003. V 41. P 473–478.

Cabri L.J. Phase relations in the Au-Ag-Te system and their mineralogical significance // Econ. Geol. 1965. V 60. P 1569–1606.

Casadevall T. & Ohmoto H. Sunnyside mine, Eureka mining district, San Juan County, Colorado: geochemistry of gold and base metal ore deposition in the volcanic environment // Econ. Geol. 1977. V 72. P 1285–1320.

Castor S.B. & Sjöberg J.J. Uyttenbogaardtite, Ag_3AuS_2 , in the Bullfrog mining district, Nevada // Canad. Mineral. 1993. V 31. P 89–98.

Chen K.Yu., Tinggao Z.Y., Peng Z. Tetraauricupride, $CuAu$, discovered in China // Sci. Geol. Sinica. 1982. V 11. № 1. P 111–116.

Chen L. Yuanjiangite $AuSn$ // Acta Petrol. Mineral. China. 1994. V 13. P 232–238.

Cole D.R. & Drummond S.E. The effect of transport and boiling on Ag/Au ratios in hydrothermal solutions: A preliminary assessment and possible implications for the formations of epithermal precious-metal ore deposits // J. Geochim. Explor. 1986. V 25. P 45–79.

Cooke D.R. & McPhail D.C. Epithermal Au-Ag-Te mineralization, Acupan, Baguio District, Philippines: numerical simulations of mineral deposition // Econ. Geol. 2001. V 96. P 109–131.

Don J.R. The genesis of certain auriferous lodes // Trans. Amer. Inst. Min. Eng. 1898. V 27. 564 p.

Emmons W.H. Gold deposits of the World. New York–London: Mc Graw-Hill Book Company, 1937. 562 p.

- Ewers G.R. & Keays R.R. Volatile and precious metal zoning in the Broadlands geothermal field, New Zealand // *Econ. Geol.* 1977. V 72. P 1337–1354.
- Fleet M.E., de Almeida C.M. & Angeli N. Botryoidal platinum, palladium and potarite from the Bom Susseco srteam, Minas Gerais, Brazil // *Canad. Mineral.* 2002. V 40. P 341–355.
- Fleming A.W., Handley G.A., Williams K.L., Hills A.L. & Corbett G.J. The Porgera gold deposit, Papua New Guinea // *Econ. Geol.* 1986. V 81. P 660–680.
- Francis C.A., Criddle A.J., Stanley C.J. et al. Buckhornite, $\text{AuPb}_2\text{BiTe}_2\text{S}_3$, a new mineral species from Boulder County, Colorado, and new data for aikinite, tetradymite and calaverite // *Canad. Mineral.* 1992. V 30. P 1039–1048.
- Frimmel H.E. & Gartz V.H. Witwatersrand gold particle chemistry matches model of metamorphosed, hydrothermally altered placer deposits // *Mineral. Deposita.* 1997. V 32. P 523–531.
- Fulignati P. & Sbrana A. Presens of native gold and tellurium in the active high-sulfidation hydrothermal system of the La Fossa volcano, Vulcano, Italy // *J. Volcan. Geotherm. Res.* 1998. V 86. P 187–198.
- Gammons C.H. & Williams-Jones A.E. Hydrothermal geochemistry of electrum: thermodynamic constraints // *Econ. Geol.* 1995. V 90. P 420–432.
- Gehlen von K. Silver and mercury in single gold grain from the Witwatersrand and Barberton, South Africa // *Mineral. Deposita.* 1983. V 18. P 529–534.
- Goldschmidt V.M. Atlas der Krystallformen. Gold. Heidelberg : Carl Winters Universitätsbuch handlung, 1918. Bd. IV.
- Goldschmidt V.M., Palache C. & Peacock M. Über calaverite // *Neues Jahrb. Mineral.* 1931. Bd. 63. S. 1–15.
- Graham A.R. & Caiman S. Aurostibite, AuSb_2 , a new mineral in the pyrite group // *Amer. Mineral.* 1952. V 37. P 461–469.
- Hagemann S.G. & Brown Ph.E. Geobarometry in Archean lode-gold deposits // *Eur. J. Mineral.* 1996. V 8. P 937–960.
- Hannington M.D., Peters J.M. & Scott S.D. Gold in sea-floor polymetallic sulfide deposits // *Econ. Geol.* 1986. V 81. P 1867–1883.
- Hannington M.D., Tivey M.K. & Laroque A.C.L. The occurrence of gold in sulfide deposits of the Tag hydrothermal field, Mid-Atlantic ridge // *Canad. Mineral.* 1995. V 33. P 1285–1310.
- Harris D.C., Roberts A.C., Laflamme J.H.G. Criddleite $\text{TlAg}_2\text{Au}_3\text{Sb}_{10}\text{S}_{10}$, a new gold-bearing mineral from Hemlo, Ontario, Canada // *Mineral. Mag.* 1988. V 52. P 691–697.
- Heald P., Foley N.K. & Hayba D.O. Comparative anatomy of volcanic-hosted epithermal deposits – acid-sulfate and adular-sericite types // *Econ. Geol.* 1987. V 82. P 1–26.
- Healy R. & Petruk W. Petrology of Au-Ag-Hg alloy and «invisible» gold in the Trout Lake massive sulfide deposit Flin Flon, Manitoba // *Canad. Mineral.* 1990. V 28. P 189–206.
- Helke A. Die goldtellurierzlagerstätten von Sacaramb (Nagyag) (in Rumanian) // *Neues Jahrb. Mineral. Beil.* 1934. Bd. 68 A. S. 19–85.
- Herzig P.M., Hannington M.D., Stoffers P. et al. Gold-rich polymetallic sulfides from the Lau back arc and implications for the geochemistry of gold in sea-floor hydrothermal systems of the Southwest Pacific // *Econ. Geol.* 1993. V 88. P 2182–2209.
- Hodgson C.J., Love D.A. & Hamilton J.V. Giant mesothermal gold deposits: descriptive characteristics, genetic model and exploration are celection criteria. In: *Giant ore deposits.* SEG SP-2. 1995. P 157–206.
- Huston D.L., Bottrill R.S. & Creeman R.A. Geological and geochemical controls on the mineralogy and grain size of gold-bearing phases, eastern Australian volcanic-hosted massive sulfide deposits // *Econ. Geol.* 1992. V 87. P 542–563.
- Hytonen K. Suomen Mineraalit. Geologian Tutkimuskeskus. Erillisjulkaisien: 1999. 399 s.
- Introduction to Japanese minerals. *Geol. Surv. Japan*, 1970. 235 p.
- Jia Y., Li X. & Kerrich R. A fluid inclusion study of Au-bearing quartz vein systems in the Central and North Deborah deposits of the Bendigo gold field, Central Victoria, Australia // *Econ. Geol.* 2000. V 95. P 467–494.
- Johan Z., Dodony I., Moravek P., Pasava J. La buckhornite, $\text{Pb}_2\text{AuBiTe}_2\text{S}_3$, du gisement d'or de Jilove, Republique Tchèque // *C.R. Acad. Sci. Paris.* 1994. V 318. P 1225–1231.
- Johan Z., Picot P., Pierrot P. & Kvacek M. La fischerite, Ag_3AuSe_2 , premier selenide d'or, isotype de la petzite // *Bull. Soc. fran. mineral. cristall.* 1971. № 94. P 381–384.
- Johnson P.N. & Lampadius W.A. Über brasilianisches palladgold und dessen aushbringen und schneidung // *J. praktische Chemie.* 1837. Bd. 11. S. 309–315.
- Kesler S.E., Foruna J., Ye Z., Alt J.C. et al. Evaluation of the role of sulfidation in deposition of gold, Screamer section of the Betze-Post Carlin-type deposit, Nevada // *Econ. Geol.* 2003. V 98. P 1137–1157.
- Khin Zaw & Large R.R. The precious metal-rich South Hercules mineralization, Western Tasmania: A possible subsea-floor replacement volcanic-hosted massive sulfide deposit // *Econ. Geol.* 1992. V 87. P 931–952.
- Kieft C. & Oen J.S. Ore mineral in the telluride-bearing gold-silver ores of Salida, Indonesia, with special reference to the distribution of selenium // *Mineral. Deposita.* 1973. V 8. P 312–320.
- Knight J.B. & Leitch C.H.B. Phase relations in the system Au-Cu-Ag at low temperatures, based on natural assemblages // *Canad. Mineral.* 2001. V 39. P 889–905.
- Knipe S.W. & Fleet M.E. Gold-copper alloy minerals from the Kerr Mine, Ontario // *Canad. Mineral.* 1997. V 35. P 573–586.
- Knittel U. Composition and association of arsenian goldfieldite from the Marian Gold deposit, Northern Luzon, Philippines // *Mineral. Petrol.* 1989. V 40. P 145–154.
- Krupp R.E. & Seward T.M. The Rotokawa geothermal system, New Zealand; an active epithermal gold-depositing environment // *Econ. Geol.* 1987. V 82. P 1109–1129.
- Kuehn C.A. & Rose W. Carlin gold deposits, Nevada: Origin in a deep zone of mixing between normally pressured and overpressured fluids // *Econ. Geol.* 1995. V 90. P 17–36.
- Kvaček M. Selenides from the uranium deposits of Western Moravia, Czechoslovakia // *Acta Univ. Carolinae. Geologica.* Rost Vol. 1973. P 23–36.
- Large R.R. Australian volcanic-hosted massive sulfide deposits: Features, styles and genetic models // *Econ. Geol.* 1992. V 87. P 471–510.
- Leistel J.M., Marcoux E., Deschamps Y. Antithetic behaviour of gold on the volcanogenic deposits of the Iberian Pyrite Belt // *Mineral. Deposita.* 1998. V 33. P 82–97.

- Leitch C.H.B., Godwin C.I., Brown T.H. & Taylor B.E. Geochemistry of mineralizing fluids in the Bralorne-Pioneer mesothermal gold vein deposit, British Columbia, Canada // *Econ. Geol.* 1991. V 86. P 318–353.
- Lindgren W. Mineral deposits, 4th ed. New York–London: McGraw – Hill Book Company, 1933. 930 p.
- Lindgren W. & Ransome F.L. Geology and gold deposits of the Cripple Creek district, Colorado // *US Geol. Surv. Prof. Pap.* N 54. 1906. 516 p.
- Litochleb J. & Šrein V. Minerals of bismuth and tellurium from ore deposits and occurrences of gold in the Czech Republic // *Bull. Mineral.-Petrogr. Odd. NM v Praze.* 1994. V 2. P 89–105.
- Marcoux E. Gold and Volcanoes: Epithermal gold deposits, a review // *C.R. Acad. Sci. Franc. Ser. 2.* 1995. V 321. P 723–735.
- Markham N.L. Synthetic and natural phases in the system Au-Ag-Te // *Econ. Geol.* 1960. V 55. P 1148–1178, 1460–1477.
- Milesi J.P., Marcoux E., Sitorus T. et al. Pongkor (west Java, Indonesia): a Pliocene supergene-enriched epithermal Au-Ag-(Mn) deposit // *Mineral. Deposita.* 1999. V 34. P 131–149.
- Mishra B. & Panigrahi M.K. Fluid evolution in the Kolar Gold Field : evidence from fluid inclusion studies // *Mineral. Deposita.* 1999. V 34. P 173–181.
- Mitchell A. & Leach T.M. Epithermal island arc metallogenesis, geothermal system and geology. London: Acad. Press, 1992. 457 p.
- Muntean J.L., Kesler S.E., Russell N. & Polanco J. Evolution of the Monte Negro acid sulfate Au-Ag deposit, Pueblo Viejo, Dominican Republic: Importance factors in grade development // *Econ. Geol.* 1990. V 85. P 1738–1758.
- Nesbitt B.E. The gold deposit continuum: a genetic model for lode Au mineralization in the continental crust // *Geology.* 1988. V 16. P 1044–1048.
- Nickel E.H. & Grey I.E. A vanadium-rich mineral assemblage associated with the gold telluride ore at Kalgoorlie, Western Australia // *Crystallochemistry of minerals.* Sofia. 1986. P 899–908.
- Nishiyama T., Shimoda S. & Shimosaka K. Lithium-bearing tosudite // *Clay and clay minerals.* 1975. V 23. P 337–342.
- Oberthür T. & Saager R. Silver and mercury in gold particles from the Proterozoic Witwatersrand placer deposits of South Africa: metallogenic and geochemical implications // *Econ. Geol.* 1986. V 81. P 20–31.
- Oberthür T., Weiser T., Amanor J.A. et al. Mineralogical siting and distribution of gold in quartz veins and sulfide ores of the Ashanti mine and other deposits in the Ashanti belt of Ghana: genetic implications // *Mineral. Deposita.* 1997. V 32. P 2–15.
- Ohmoto H. Formation of volcanogenic massive sulfide deposits: The Kuroko perspective // *Ore Geology Rev.* 1996. V 11. P. 135–177.
- Okamoto H., Chakrabarti D.J. & Laughlin D.E. The Au-Cu (gold-copper) system // *Bull. Alloy Phase Diagrams.* 1987. V 8. P 453–474.
- Olivo R., Gauthier M. & Bardoux M. Palladian gold from the Caue iron mine, Itabira District, Minas Gerais, Brazil // *Mineral. Mag.* 1994. V 58. P 579–587.
- Ortega L., Oyarzun R., Gallego M. The Mari Rosa late hercynian Sb-Au deposit, Western Spain: Geology and geochemistry of the mineralizing processes // *Mineral. Deposita.* 1996. V 31. № 3. P 172–187.
- Paar W.H., Putz H., Topa D., Roberts A.C., Stanley C.J. & Culetto F.J. Jonassonite, Au(Bi,Pb)5S4, a new mineral species from Nagybörzsöny, Hungary // *Canad. Mineral.* 2006. V 44. P 1127–1136.
- Palenic C.S., Utsunomiya S., Reich M., Kesler S.E., Wang L. & Ewing R.C. «Invisible» gold revealed: Direct imaging of gold nanoparticles in a Carlin-type deposit // *Amer. Mineral.* 2004. V 89. P 1359–1366.
- Pals D.W. & Spry P.G. Telluride mineralogy of the low-sulfidation epithermal Emperor gold deposit, Vatukoula, Fiji // *Mineral. Petrol.* 2003. V 79. P 285–307.
- Papike J.J., Karner J.M., Spilde M.N. & Shearer C.K. Major and minor element systematics of alunite - jarosite from Goldfield, Nevada // *Amer. Mineral.* 2006. V 91. P 1197–1200.
- Partunc A.D. & Gandhi S.S. Hydrothermal platinum-palladium-gold mineralization associated with uranium veins, northwest territories, Canada // *Bull. Geol.Soc. Finland.* 1989. № 61. Pt. 1. 50 p.
- Peacock M.A. & Thompson R.M. Montbrayite, a new gold telluride // *Amer. Mineral.* 1946. V 31. P 515–526.
- Picot P. & Johan Z. Atlas of ore minerals. Amsterdam: Elsevier. 1982. 458 p.
- Radhakrishna B.R. & Curtis L.C. Gold in India. Bangalor (Geol. Soc. India): 1999. 307 p.
- Radtke A.S., Rye R.O. & Dickson F.W. Geology and stable isotope studies of the Carlin gold deposit, Nevada // *Econ. Geol.* 1980. V 75. P 641–671.
- Radtke A.S. & Scheiner B.G. Studies of hydrothermal gold deposition at Carlin gold deposit, Nevada: the role of carbonaceous materials in gold depositions // *Econ. Geol.* 1970. V 65. P 641–672.
- Ramdohr P. The ore minerals and their intergrowths. Pergamon Press. 1982. 1207 p.
- Ransome F.L., Emmons W.H. & Carrey G.H. The geology and ore deposits of Goldfield, Nevada // *US Geol. Surv. Prof. Pap.* 1909. N 66. P 1–258.
- Richards J.P. & Kerrich R. The Porgera gold mine, Papua New Guinea: Magmatic hydrothermal to epithermal evolution of an alkaline-type precious metal deposit // *Econ. Geol.* 1993. V 88. P 1017–1052.
- Robert F. & Kelly W.C. Ore-forming fluids in Archean gold-bearing quartz veins at the Sigma mine, Abitibi greenstone belt, Quebec, Canada // *Econ. Geol.* 1987. V 82. P 1464–1482.
- Rucklidge J. Frobergite, montbreite and new Pb-Bi telluride // *Canad. Mineral.* 1969. V 9. P 709–716.
- Rushton R.W., Nesbitt B.E., Muehlenbachs K. & Mortensen J.K. A fluid inclusions and stable isotope study of gold quartz veins in the Klondike district, Yukon Territory, Canada: A section through a mesothermal vein system // *Econ. Geol.* 1993. V 88. P 647–678.
- Rytuba J.J. Evolution of volcanic and tectonic features in caldera settings and their importance in the localization of ore deposits // *Econ. Geol.* 1994. V 89. P 1687–1696.
- Schmidt M.A., Oberthür T., Vetter U. et al. High CO₂ content of fluid inclusions in gold mineralisations in the Ashanti belt, Ghana: a new category of the ore forming fluids? // *Mineral. Deposita.* 1997. V 32. P 107–118.
- Schneiderhohn H. Lehrbuch der erzlager statenkunde. Berlin. 1941. 858 s.
- Shackleton J.M., Spry P. & Bateman R. Telluride mineralogy of the Golden Mile deposit, Kalgoorlie, Western Australia // *Canad. Mineral.* 2003. V 41. P 1503–1524.

- Shangquan Wu, Yi Yang & Qun Song A new gold mineral – hunchunite Au_2Pb // *Acta Mineral. Sinica*. 1992. V 12. P 319–322.
- Sharwood W.J. Notes on tellurium-bearing gold ores // *Econ. Geol.* 1911. V 6. P 22–36.
- Shelton K.L., So C.-S., Halusser G.T., Chi S.-J. & Lee K.-Y. Geochemical studies of the Tongyoung gold-silver deposit, Republic of Korea: Evidence of meteoric water dominance in a Te-bearing epithermal system // *Econ. Geol.* 1990. V 85. P 1114–1132.
- Shikazono N. Selenium content of acantite and chemical environments of Japanese vein-type deposits // *Econ. Geol.* 1978. V 73. P 524–533.
- Shikazono N. & Shimizu M. The Ag/Au ratio of native gold and electrum and the geochemical environment of gold deposits in Japan // *Mineral. Deposita*. 1987. V 22. P 309–314.
- Shikazono N. & Shimizu M. Mercurian gold from the Tsugu gold-antimony vein deposit in Japan // *Canad. Mineral.* 1988. V 26. P 423–428.
- Shimizu M., Matsuyama F. & Shimizu M. Hutchinsonite, $\text{TiPb}(\text{As},\text{Sb})_5\text{S}_9$, chabourneite, $\text{Ti}_2\text{Pb}(\text{Sb},\text{As})_{10}\text{S}_{17}$, and unnamed $(\text{Ti},\text{Ag})_2\text{Pb}_6(\text{As},\text{Sb})_{16}\text{S}_{31}$ from the Toya-Takarada mine, Hokkaido, Japan – Ti mineralization in the Kuroko deposits // *Resource Geol. Spec. Issue*. 1999. N 20. P 31–37.
- Shimizu T., Matsueda H. & Ishigama D. Genesis of epithermal Au-Ag mineralization of the Koryu Mine, Hokkaido, Japan // *Econ. Geol.* 1998. V 93. P 303–325.
- Sillitoe R.H. Giant and Bonanza gold deposits in the epithermal environment: assesment of potential genetic factors. In *Giant Ore Deposits*. New York: 1995. P 125–155.
- Smith F.G. The ore deposition temperature and pressure at the McIntyre mine, Ontario // *Econ. Geol.* 1948. V 43.
- So C.-S., Dunchenko Y.V., Yun S.-T. Te- and Se-bearing epithermal Au-Ag mineralization, Pradolovskoe, Kunashir Island, Kuril island arc // *Econ. Geol.* 1995. V 90. P 105–117.
- So C.-S. & Yun S.-T. Jurassic mesothermal gold mineralization of the Samhwanghak mine, Youngdong area, Republic of Korea: constraints on hydrothermal fluid geochemistry // *Econ. Geol.* 1997. V 92. P 60–80.
- Springer G. Chlorine-bearing and other uncommon minerals in the Strathcona deep copper zone, Sudbury district, Ontario // *Canad. Mineral.* 1989. V 27. P 311–313.
- Spycher N.F. & Reed M.H. Evolution of a Broadlands-type epithermal ore fluid along alternative P-T paths: implications for the transport and deposition of base, precious and volatile metals // *Econ. Geol.* 1989. V 84. P 328–359.
- Stanley C.J., Criddle A.J. & Lloyd D. Precious and base metals selenide mineralization at Hope's Nose, Torquay, Devon // *Mineral. Mag.* 1990. V 54. P 485–493.
- Stillwell F.L. The occurrence of telluride minerals of Kalgoorlie // *Proc. Austral. Inst. Mining and Metall.* 1931. № 84. P 115–190.
- Stütz A. Physikalisch-mineralogische beschreibung des gold- und silberbergwerkes zu Szekerembe bey Nagyag in Siebenbürgen. Wien: 1803.
- Tarkian M., Eliopoulos D.G. & Economou – Eliopoulos M. Mineralogy of precious metals in the Skouries porphyry copper deposit, Northern Greece // *Neues Jahrb. Mineral. Monat.* 1991. Bd. 12. S. 529–537.
- Tarkian M. & Koopmann G. Platinum-group minerals in the Santo Tomas II (Philex) porphyry copper-gold deposit, Luzon Island, Philippines // *Mineral. Deposita*. 1995. V 30. P 39–47.
- Terziev G. Kostovite, a gold-copper tellurid from Bulgaria // *Amer. Mineral.* 1966. V 51. P 29–36.
- Terziev G. Hemusite – a complex copper-tin-molibdenum sulfide from the Chelopech ore deposit, Bulgaria // *Amer. Mineral.* 1971. V 56. P 1847–1854.
- Thompson R.M. The telluride minerals and their occurrence in Canada // *Amer. Mineral.* 1949. V 34. P 342–382.
- Thompson T.B., Trippel A.D. & Dwelley P.C. Mineralized vein and breccias of the Cripple Creek district, Colorado // *Econ. Geol.* 1985. V 80. P 1669–1688.
- Trumbull R.B., Hua L., Lehrberger G. et al. Granitoid-hosted gold deposits in the Anjiayingzi district of Inner Mongolia, People's Republic of China // *Econ. Geol.* 1996. V 91. P 875–895.
- Ulrich T. & Heinrich C.A. Geology and alternation geochemistry of the porphyry Cu-Au deposit at Bajo de la Alumbrera, Argentina // *Econ. Geol.* 2001. V 96. P 1719–1742.
- Warmada I.W., Lehmann B. & Simandiuntak M. Polymetallic sulfides and sulfosalts of the Pongkor epithermal gold-silver deposit, west Java, Indonesia // *Canad. Mineral.* 2003. V 41. P 185–200.
- Weir R.H. & Kerrick D.H. Mineralogic, fluid inclusion, and stable isotope studies of several gold mine in the Mother Lode, Toulumine and Mariposa Counties, California // *Econ. Geol.* 1987. V 82. P 328–344.
- Wells J.D. & Millens T.E. Golg-bearing arsenian pyrite determined by microprobe analysis, Cortez and Carlin gold mine, Nevada // *Econ. Geol.* 1973. V 68. P 187–201.
- White D.E. Thermal springs and epithermal ore deposits // *Econ. Geol.* 1955. 50th Anniw. Volume. Pt. 1. P 731–753.