

Структурные условия формирования, источники металлов и морфологические типы минерализации Кировского золоторудного месторождения (Приамурье, Россия)

Аннотация. Дано краткое описание истории открытия, разведки и обработки Кировского золоторудного месторождения, его геологического положения и структурных условий рудолокализации. На основании проведённого нами совокупного анализа материалов предшественников и собственных исследований установлено следующее: 1) источником золота являлся магматический очаг и инициировавшие его мантийные расплавы; 2) золотоносные флюиды поступали в верхнюю кору из глубинного магматического очага, сформировавшего вблизи поверхности Джалиндинский плутон и серию сопровождающих его даек пёстрого состава. Золоторудная минерализация формировалась с некоторым отставанием от формирования дифференциатов магматического очага, в парагенетической связи с ними; 3) на глубинных уровнях гидротермальной системы золото переносилось флюидами в составе растворимых комплексов с Cl^- и $(\text{OH})^-$ в лигандах, а на верхних уровнях – также и в составе гидросульфидных комплексов и в твердофазной форме; 4) на участках резких снижений давления флюида, при значительных раскрытиях трещин и полостей, в гидротермальной системе происходили следующие взаимосвязанные явления: кипение флюида, его гетерогенизация, дегазация, приводившие к резким его пересыщениям растворимыми комплексами Au и массовым зарождениям наночастиц самородного золота. Гидрофобность их поверхности способствовала образованию подвижных ассоциатов « $\text{Au}_{\text{кр}}$ + пузырьки газа», их естественной флотации на верхние уровни гидротермальной системы и накоплению в интерстициях формирующихся агрегатов кварца, а также на участках выполаживания полостей и на верхних перифериях раздувов мощности жильных тел. Агрегация наночастиц и кластеров золота в скоплениях ассоциатов приводила к образованию богатых скоплений укрупнённого свободного золота в виде гнезд, бонанцев и рудных столбов. Реальность такого механизма подтверждена нами в экспериментах. Месторождение оценено как потенциально крупный рудный объект на обнаружение новых богатых жильных тел и крупнообъёмных рудных тел с промышленной сульфидно-золото-кварцевой прожилково-вкрапленной минерализацией для подземной и открытой обработки.

Ключевые слова: золоторудное месторождение, источники флюидов и золота, минеральные ассоциации, естественная газовая флотация золота, факторы рудолокализации.

ОСТАПЕНКО НИКОЛАЙ СТЕПАНОВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, руководитель лаборатории рудогенеза, ostapenko_ns@mail.ru

НЕРОДА ОЛЬГА НИКОЛАЕВНА, научный сотрудник лаборатории рудогенеза, neroda67@mail.ru

Институт геологии и природопользования (ИГиП) ДВО РАН, г. Благовещенск

The structural formation conditions, sources of metals, and morphological types of ore mineralization of the Kirovskoe gold deposit, Amur region, Russia

N. S. OSTAPENKO, O. N. NERODA

Institute of Geology and Environmental Management (IGiP) FEB RAS, Blagoveshchensk

Annotation. A brief description is given of the history of discovery, exploration, and operation of the Kirovskoye gold deposit and of its geological position and structural conditions of the ore localization. Based on the combined analysis of data of the predecessors and of our own studies, the following has been established: (1) the gold source was represented by a magmatic chamber and its initiating mantle melts; (2) the gold-bearing fluids entered the upper crust from a deep-seated magmatic chamber that had formed the Dzhalinginsky pluton near the surface and a series of its accompanying dikes of variegated composition; the gold ore mineralization formed with some delay from the formation of the differentiates of the magmatic chamber, in paragenetic connection with them; (3) gold was transported by

fluids as part of soluble complexes with Cl^- and $(\text{OH})^-$ in the ligands at deep levels of the hydrothermal system and also as part of hydrosulfide complexes and in solid-phase form at its upper levels; and (4) in areas of sharp decreases in the fluid pressure caused by significant openings of cracks and cavities, the following interrelated phenomena occurred in the hydrothermal system: fluid boiling, its heterogenization, and degassing, which led to its sharp supersaturation with the soluble Au complexes and mass nucleation of nanoparticles of native gold. A hydrophobicity of the surface of the particles facilitated formation of mobile associates "Au_{cr} + gas bubbles", their natural flotation to the upper levels of the hydrothermal system, and accumulation in the interstices of the forming quartz aggregates, as well as in the areas of flattening of the cavities and in the upper peripheries of swells of the vein bodies. Aggregation of the gold nanoparticles and clusters in the accumulations of the associates led to formation of rich accumulations of enlarged free gold in the form of nests, bonanzas, and ore shoots. Plausibility of such a mechanism was experimentally confirmed by us. The gold ore deposit has been estimated as a potentially large ore object promising for discovery of new rich vein bodies and large-volume ore bodies with commercial-grade sulfide-gold-quartz veinlet-disseminated mineralization suitable for underground and open-pit exploitation.

Key words: gold ore deposit, sources of fluids and gold, mineral assemblages, natural gas flotation of gold, ore localization factors.

Введение. Кировское золоторудное месторождение является первым рудным объектом, выявленным в Приамурье и на территории Российского Дальнего Востока ещё в XIX в. Первые богатые золотом жильные тела были обнаружены старателями в 1884 г. при отработке в истоках р. Джалинда богатых россыпей золота, выявленных здесь ранее (в 1866 г.) экспедицией Н. П. Аносова [23]. Месторождение расположено в 50 км севернее станции Большой Невер Транссибирской железнодорожной магистрали.

Основные этапы истории освоения месторождения следующие.

1 этап (1884–1919 гг.) – бессистемная разведка и старательская отработка выявленных по свалам золотоносного кварца жильных тел до глубин 5–26 м. Сведения о количестве добытого рудного золота на этом этапе не сохранились.

2 этап (1930–1961 гг.) – разведка жильных тел геологическими партиями трестов Союззолото, Амурзолото и прииска Соловьевский; запуск в 1934 г. рудника с амальгамационной фабрикой для механизированной подземной отработки разведанных запасов руд. За этот период были добыты 9,41 т рудного золота.

В 1962 г. из-за значительного истощения разведанных запасов руд, удорожания себестоимости подземной отработки золота и значительного износа оборудования работу рудника приостановили. Он был поставлен на мокрую консервацию, а через 2–3 года прекратили и разведочные работы. В последующем, до конца XX в., на территории рудного поля серьёзные разведочные работы на рудное золото и отработки не проводились, хотя в разные годы месторождение

привлекало внимание геологов и сотрудников различных научных институтов – ЦНИГРИ, ДВГИ и АмурКНИИ ДВО РАН (в том числе и авторов этой статьи) – своей неординарностью, разнообразием минералогического состава, богатством отработанных жильных тел и россыпей золота, недостаточной изученностью ряда генетических вопросов и не оценённостью дальнейших перспектив объекта.

Цели и задачи исследований авторов состояли в выяснении генетических вопросов – вероятных источников флюидов и металлов, накопившихся в рудах, установлении структурных условий локализации и механизмов формирования богатых руд и рудных столбов, а также общей оценке его перспектив на возможность обнаружения крупных ресурсов рудного золота на этом длительно периодически эксплуатировавшемся, но ещё геологически слабоизученном рудном объекте.

Методы исследования. Авторы в разные годы проводили полевые исследования склонов и днищ водотоков на участках отработки россыпей и за их пределами с отбором каменного материала для определения геохимического фона неизменённых пород и изучения околорудного аномального геохимического поля по пробам, отобранным из отвалов ранее пройденных разведочных канав и из сохранившегося керна буровых скважин. Отобранные пробы жильных и вкрапленных руд анализировались на золото и серебро пробирным методом. Пробы вмещающих пород на широкий спектр сопутствующих элементов анализировались в Аналитическом центре ИГиП ДВО РАН приближённо-количественным

спектральным методом и спектрохимическим методом – на золото и серебро с чувствительностью 0,001 г/т. Из образцов пород и руд готовились и микроскопически исследовались шлифы и аншлифы. Авторами также были проведены модельные лабораторные эксперименты [10] по оценке возможности естественной газовой флотации нанозародков самородного золота в гидротермальном процессе.

Положение месторождения в региональных геологических структурах и основные черты его геологического строения и минерализации.

В региональном плане Кировское месторождение расположено в юго-восточном обрамлении Сибирской платформы (рис. 1). Оно приурочено к зоне субширотного Северо-Туруингского глубинного разлома (СТР) левосдвиговой природы, являющегося составной частью Монголо-Охотской сутуры. Разлом отделяет [18] докембрийские гнейсогранитоидные комплексы Становой складчатой системы от палеозойских и мезозойских вулканогенно-осадочных и терригенных толщ Монголо-Охотского складчатого пояса (рис. 2). В позднеюрское время была сформирована приразломная

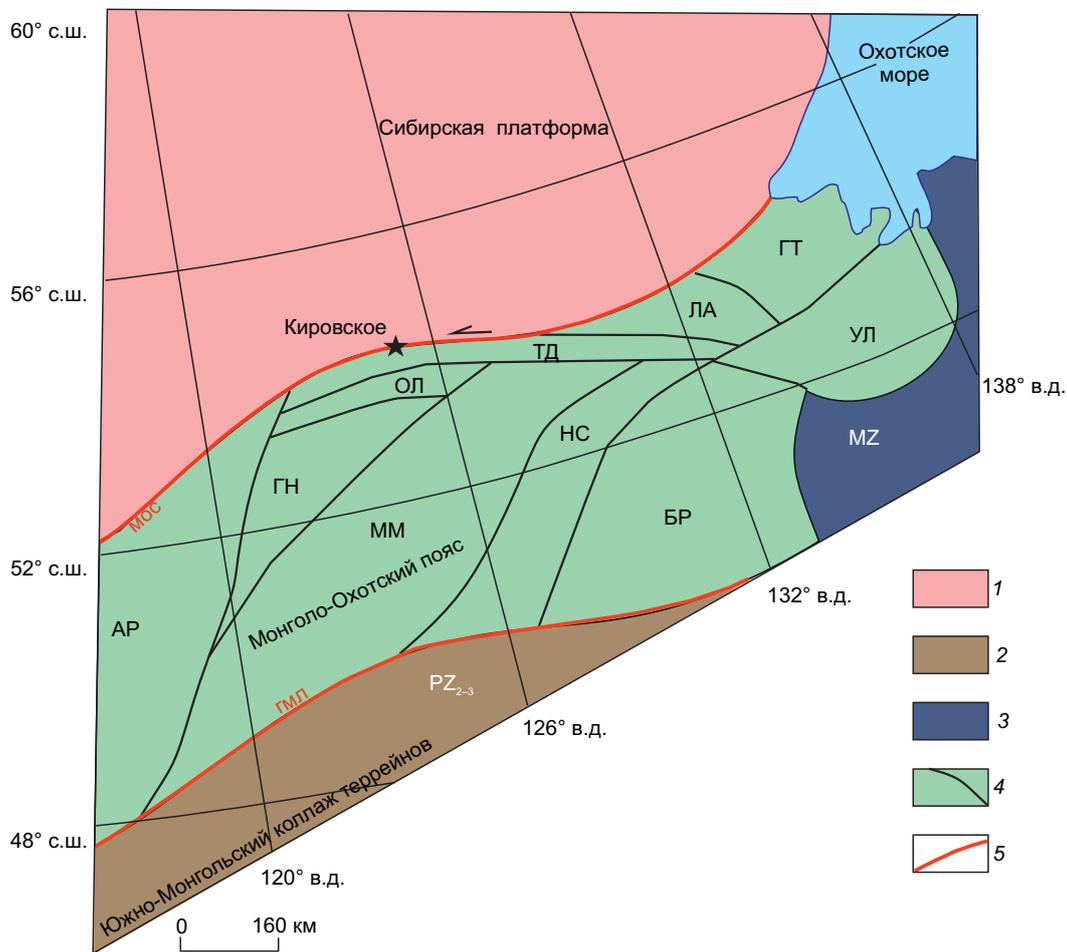


Рис. 1. Схема размещения Кировского золоторудного месторождения относительно основных мегаструктур Востока России. По И. В. Гордиенко и др. [5], с генерализацией:

1 – Сибирская платформа; 2–3 – прилегающие аккреационно-коллизонные системы: 2 – герцинские (PZ_{2-3}), 3 – киммерийские (MZ) Сихотэ-Алиньского орогенного пояса; 4 – террейны Монголо-Охотского пояса и их границы: AP – Аргунский, BR – Буреинский, GT – Галамско-Тугурский, LA – Ланский, NS – Нора-Сухотинский, OL – Ольдойский, GN – Гонжинский, MM – Мамынский, TD – Туруингро-Джагдинский, UL – Ульбанский; 5 – крупные системы разломов: МОС – Монголо-Охотская сutura, ГМЛ – Главный Монгольский линеамент

Стрелкинская впадина, выполненная юрским терригенным комплексом пород, а несколько позднее, уже в раннем мелу, в северном борту этой впадины в зоне влияния поперечного Янканского глубинного разлома (ЯР), в породах докембрия были сформированы двухфазный Джалиндинский плутон диорит-гранодиоритового состава и сопровождающий его сложный многофазный дайко-

вый комплекс. В современном эрозионном срезе Джалиндинский гранитоидный плутон занимает площадь около 50 км². Он окружён кольцом из докембрийских интрузивных и гнейсовых пород, входящих в состав нижней части вмещающего комплекса пород. Западная и юго-восточная части плутона, контактирующие с габброидами и амфиболитами докембрия, сложены кварцевыми

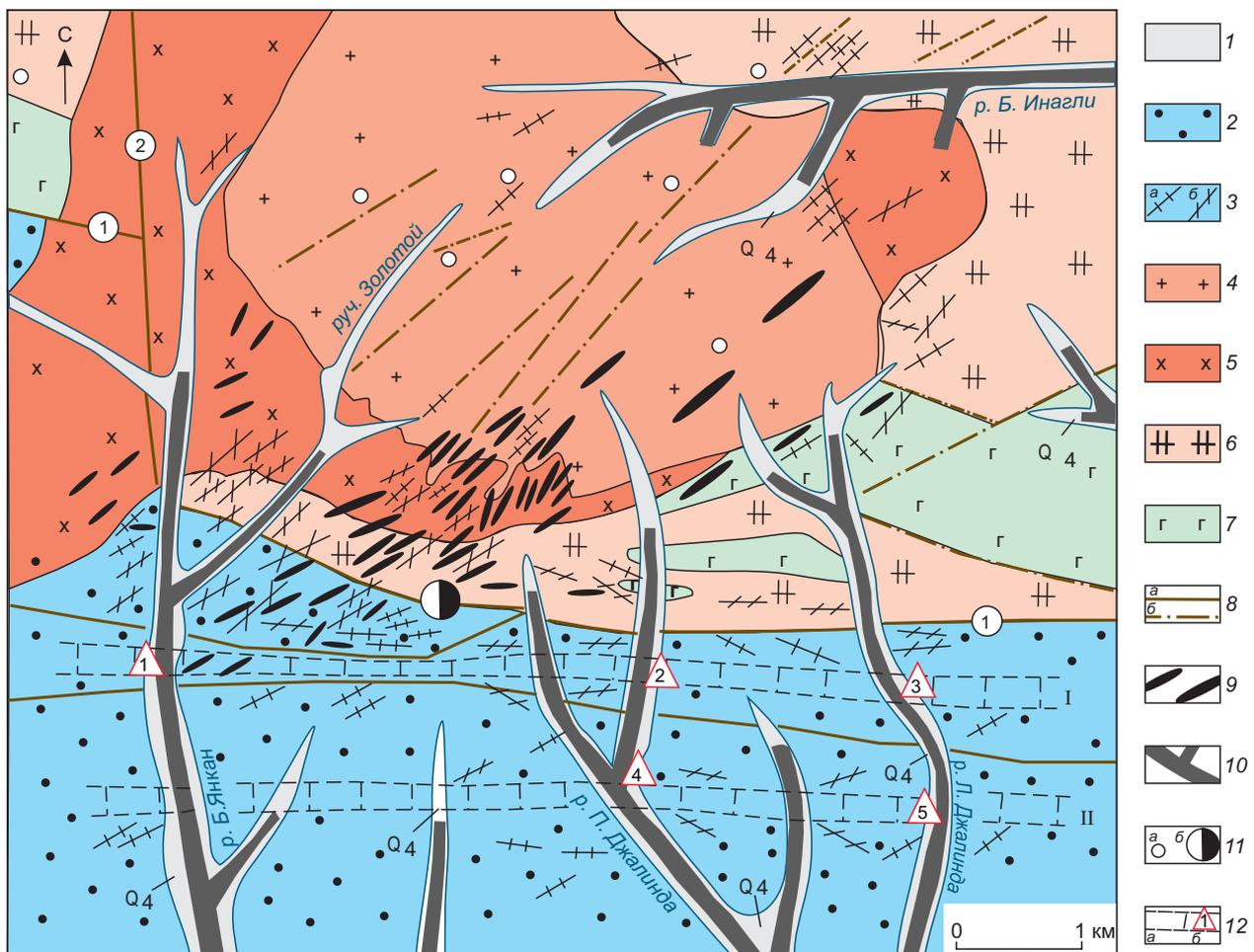


Рис. 2. Схематическая геологическая карта района Кировского золоторудного месторождения. По материалам А. С. Давыдова, 1988, А. В. Зуева, 1999, с дополнениями авторов:

1 – аллювий водотоков Q₄; 2 – средне-верхнеюрские отложения: алевролиты, песчаники, туфопесчаники, конгломераты, гравелиты; 3–5 – раннемеловой интрузивный комплекс: 3 – дайки: а – гранодиорит-порфиры и б – диоритовых порфиритов, 4–5 – Джалиндинская интрузия: 4 – гранодиориты, граниты (2 фаза), 5 – габбродиориты и кварцевые диориты (1 фаза); 6 – раннепротерозойский позднестановой комплекс: субщелочные гнейсовидные граниты; 7 – раннеархейский комплекс: габбро-амфиболиты; 8 – разломы: а – основные, в том числе региональный Северо-Тукурингрский (1) и субмеридиональный Верхнеянканский (2) – цифры в кружках, б – второстепенные; 9 – рудные тела; 10 – россыпи золота по водотокам; 11 – рудопроявления (а) и месторождение Кировское (б); 12 – выделенные авторами потенциально рудные зоны (I и II) с прожилково-вкрапленной минерализацией (а) и места их опробования (б)

диоритами, а центральная его часть – гранодиоритами. На контактах с ним вмещающие юрские алевролиты и песчаники в полосе шириной до 2–3 км ороговикованы [6]. Все вмещающие Джалиндинский плутон докембрийские комплексы пород и терригенные юрские отложения около-разломного Стрелкинского прогиба насыщены крутозалегающими дайками различного состава – от долеритов и диоритовых порфиритов до гранодиорит-порфиров и гранит-порфиров. Они так же присутствуют и в южной приразломной части плутона. На преобладающей части территории рудного поля простирание даек – северо-восточное, а на юге есть и широтные дайки, субпараллельные СТР. U-Pb изотопный возраст гранитоидов Джалиндинского плутона, по [3], составляет $125,44 \pm 0,68$ млн лет, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ изотопный возраст сопровождающих его даек, по [25], составляет $128\text{--}126 \pm 2$ млн лет.

На территории южной части Джалиндинского гранитоидного массива выявлено большое число проявлений золото-кварцевой и умеренной золото-сульфидно-кварцевой жильной и прожилково-вкрапленной минерализации. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ возраст околорудных метасоматитов по серициту составляет $120\text{--}122 \pm 2$ млн лет [25]. Частичная эрозия верхних уровней жильных тел и минерализованных зон месторождения обеспечила формирование богатых россыпей золота в аллювии верховьев рек Джалинда, Большой Янкан и Инагли с их истоками, берущими начало с территории рудного поля. Из них добыты около 75 т рассыпного золота [23].

Дифференциаты Джалиндинского гранитоидного плутона обладают повышенной щёлочностью ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 6,30\text{--}8,50$) и преобладанием натрия над калием ($\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} = 1,9\text{--}1,2$). Эти особенности пород массива сближают его с высокопродуктивными позднемезозойскими гранитоидными интрузивными комплексами золотоносных районов Центрального Алдана и других регионов Востока России [13, 15].

Основным каналом поступления металлоносных флюидов к поверхности являлся участок наиболее тектонически нарушенных пород, примыкающий к узлу пересечения глубинных разломов СТР и ЯР в верховьях реки Большой Янкан. Главным рудоконтролирующим разломом являлся СТР, а рудовмещающими – оперяющие его разрывные нарушения северо-восточного и субширотного простираний.

Золотоносные жилы месторождения протягиваются широкой полосой северо-восточного направления вдоль юго-восточных эндо- и экзоконтактов Джалиндинского плутона (рис. 2), располагаясь также во вмещающих гранитоидах и габброидах докембрия, песчаниках и алевролитах позднеюрского возраста. Часть жил и минерализованные зоны имеют широтное простирание. В ряде случаев кварцево-жильные тела и прожилковая минерализация размещаются вдоль контактов даек или непосредственно наложены на метасоматизированные дайки [2, 6]. Эти данные свидетельствуют о длительном и динамичном развитии структуры рудного поля, высокой активности позднемезозойского глубинного магматического очага от раннего до завершающего этапов его становления, его высокой флюидонасыщенности, обеспечивающей подвижность слагающих плутон гранитоидных расплавов, внедрение даек пёстрого состава и длительное поступление металлоносных флюидов на постмагматическом этапе. В жильных телах месторождения присутствуют (табл. 1) магнетит, турмалин, шеелит, молибденит, арсенопирит, пирит, сфалерит, халькопирит, висмутин, самородный висмут, блёклые руды, в меньших количествах теллуриды висмута, золота, а также диспергированное в сульфидах и свободное самородное золото, кварц нескольких генераций, серицит и карбонаты. Общее количество широко распространённых и редких минеральных видов в рудах превышает 30 [2, 3, 6]. Суммарное количество сульфидов в жильных телах варьирует от 1–3 до 7–20 % на отдельных участках, а в среднем 3–7 %. В узких околожильных зонах (первые сантиметры–десятки сантиметров) гранитоиды и гнейсы превращены в березиты, а на больших удалениях они слабо березитизированы, серицитизированы и пропицитизированы с сохранением структуры пород. При этом метасоматиты обычно содержат маломощные прожилки кварца, карбонатов и вкрапленность сульфидов.

Минеральные ассоциации. Золоторудная минерализация месторождения развивалась сложно и длительно. Н. И. Бабинцев (1942), Л. П. Гуров [6] и другие исследователи выделяли в составе рудных тел от 6 до 8 разновозрастных минеральных ассоциаций (мы выделили 7 ассоциаций), характеристики которых приведены в табл. 1. В различных сочетаниях ими сложены жильные тела и зоны прожилково-вкрапленной минерализации.

Табл. 1. Минеральные ассоциации Кировского золоторудного месторождения. По [6], с изменениями

№ п/п	Ассоциации	Минералы		Элементы-примеси в минералах, г/т	Температура гомогенизации флюидных включений в кварце, карбонатах, °С
		распространённые	малораспространённые		
1	Кварц-турмалин-магнетитовая	Кварц, турмалин, магнетит	Пирит-1, золото-1	Турмалин (5): Au 0,5–5,26; магнетит (2); Au 32,7–68,4; Ag 0,5–9,5	280–320
2	Существенно кварцевая	Кварц, молибденит, шеелит, пирит-2, арсенопирит-1	Кобальтин, золото дисперсное в наложенных сульфидах	Кварц (9): Au сл.–1,39; арсенопирит (3): 3,57–13,32	270–310
3	Пирит-арсенопиритовая	Кварц, пирит-2, арсенопирит-1, пирротин	Дисперсное золото, кобальтин	Пирит (5): Au 4–24, Ag 3–26,6; Арсенопирит (2): Au 8–33,2, Ag 8–318	180–210
4	Кварц-висмутин-халькопиритовая: 1) парагенезис кварц-висмутиновый, 2) кварц-халькопиритовый	1) кварц, висмутин, самородный висмут, крупное свободное самородное золото-2; 2) кварц, халькопирит-1, карбонаты	1) тетрадимит, 2) эмплектит, виттихенит, висмутин, пирит-2	Халькопирит (5): Au 2,21–19,2, Ag н/о	190–200
5	Полисульфидная	Марматит, пирит-3, арсенопирит-2, блёклые руды, кварц, карбонаты	Марказит, пирротин, галенит, халькопирит-2, менегинит, бурнонит, буланжерит, сульфосоли Cu и Pb, джемсонит, сульфотеллуриды Pb и Cu, самородное золото-3	Марматит (7): Au 0,37–5,5, Ag до 99,8	180–200
6	Кварц-антимонитовая	Халцедоновидный кварц, антимонит, кальцит, барит	Киноварь	Антимонит (7): из них: (5) – Au 0,013–0,06, (2) – Au 1,0–5,0, (6) – Ag н/о, (1) – Ag 10,0	140–180
7	Послерудная кварц-карбонатная	Халцедоновидный кварц, кальцит	н/о	н/о	

Примечание. В скобках указано число анализов, н/о – не обнаружено.

Наиболее ранней является **кварц-турмалин-магнетитовая минеральная ассоциация**, пространственно размещающаяся на западном фланге месторождения, вблизи основного канала поступления глубинных металлоносных флюидов. Локализована она непосредственно в западном и юго-западном эндо- и экзоконтактах Джалиндинского плутона – в узле пересечения СТР и ЯР разломов, в основном на правом берегу р. Большой Янкан. Она слагает прожилки и единичные жильные тела в юрских терригенных отложениях и в прорывающих их раннемеловых диоритах первой фазы Джалиндинского плутона. Эта минеральная ассоциация, по [6, 9], является наиболее высокотемпературной (T декрипитации 340–380 °С, а T гомогенизации 280–320 °С). В этой ассоциации минералов в агрегатах магнетита и турмалина установлено присутствие невысоких концентраций мелкого и тонкого золота пробностью около 970 ‰. В этих жилах присутствует незначительная вкрапленность пирротина, пирита и арсенопирита.

Следующая **существенно кварцевая ассоциация** с молибденитом и шеелитом широко распространена в жилах на территории западной части Центрального участка месторождения, расположенного в междуречье рек Большой Янкан и Правой Джалинды. Ею сложены значительные объёмы протяжённых жил северо-восточного простирания и некоторых жил широтного простирания различной протяжённости. В ней доминирует молочно-белый мелкозернистый наиболее высокотемпературный кварц. На отдельных участках по трещинам в призальбандовых частях жил присутствует молибденит, а ближе к центральным частям – гнёзда и вкрапленность шеелита. По более поздним трещинам на отдельных участках жил в различных объёмах отлагались некоторые из последующих (см. табл. 1) минеральных ассоциаций. Сульфидов в таких жилах в среднем не более 1–3 ‰, иногда наблюдается свободное золото, видимо связанное с наложением последующих ассоциаций. Поэтому золотоносность участков жил, сложенных в основном этой ассоциацией, неравномерная и невысокая (от 0,1 до 7–8 г/т).

Во время практически повсеместного отложения в порах и трещинах проницаемых пород и кварцевых жилах в переменных количествах следующей вкрапленной и прожилковой **пирит-арсенопирит-кварцевой** минеральной ассоциа-

ции золото отлагалось одновременно с сульфидами в дисперсной форме с размерами выделений менее 1 мкм, иногда несколько более крупных. Пробирными анализами в монофракциях этих сульфидов установлены содержания такого золота от 5 до 57–80 г/т и более [6]. Расчёты показывают, что на участках более высоких скоплений сульфидов этой ассоциации с дисперсным золотом, содержания золота в рудах могли достигать 1–3 г/т.

Более поздняя **золото-висмутин-халькопирит-кварцевая** минеральная ассоциация, по [6], которую мы разделяем на два последовательно сформировавшихся сближенных во времени и пространстве парагенезиса (золото-висмутин-кварцевый и халькопирит-кварцевый), активно отлагалась в жильных телах центральной части территории месторождения при подновлениях трещин и дополнительных дораскрытиях жильных полос в зонах нарушений север-северо-восточного и северо-восточного простираний. Первый парагенезис слагает зонки, прожилки, гнёзда и более крупные участки высокопродуктивных кварцевых жил сложного состава с крайне невыдержанными содержаниями золота в отобранных при разведке бороздовых пробах (от 0,7 до 814 г/т и более). Мощность таких жил, зон, гнёзд и секущих прожилков в минерализованных телах сложного состава обычно варьирует от первых до нескольких десятков сантиметров, редко до метра в раздувах, а в среднем составляет 0,2–0,6 м. Сложены они тонко- и мелкозернистым кварцем с переменным количеством висмутина и самородного висмута, выделившегося ближе к зальбандам. На многих участках жил и прожилков в кварце, особенно в пространственной ассоциации с висмутином, присутствует свободное видимое золото размерами от 0,1 до 2 мм или скопления таких золотин (рис. 3, А, Б). Это главный продуктивный парагенезис месторождения.

При разведке вскрытых эрозией жильных тел, на малых глубинах иногда встречались самородки золота величиной до 1 см и более, сформировавшиеся в интерстициях и в друзовых пустотах в мелкозернистом жильном кварце или в пустотках, образовавшихся на пересечениях нескольких мелких трещин (рис. 4). Проба золота, ассоциированного с висмутином, – 920–950 ‰.

Второй, кварц-халькопиритовый, парагенезис распространён в тех же жилах Центрального участка месторождения не менее широко, чем

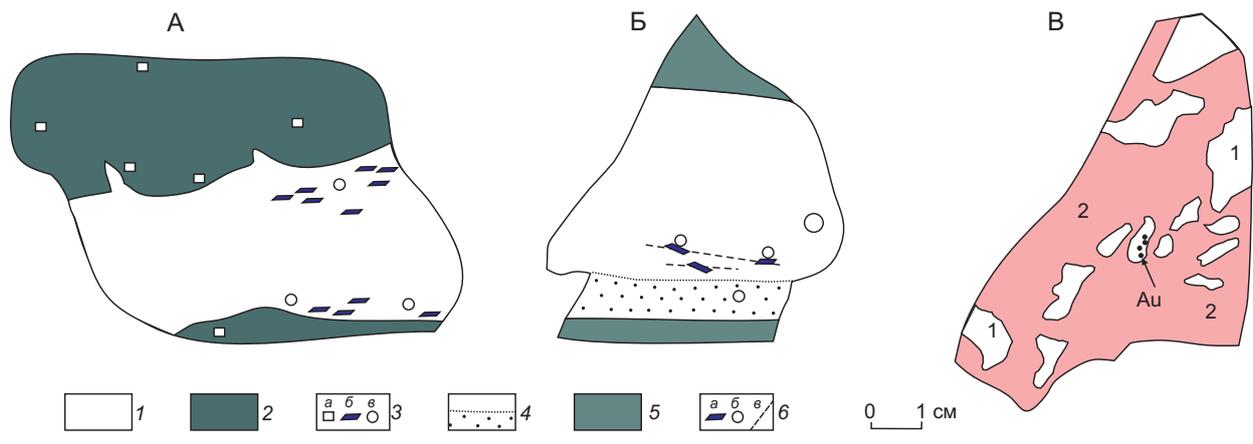


Рис. 3. Зарисовки штуфов малосульфидных (А, Б) и умеренносульфидных (В) золото-кварцевых руд из жильных тел Кировского месторождения:

А – золото-висмутин-кварцевая жила с калишпат-кварцевым метасоматитом и пиритом в зальбандах: 1 – мелкозернистый кварц, 2 – метасоматит, 3 – вкрапленные рудные минералы: а – пирит, б – висмутин, в – самородное золото крупностью 0,3–0,7 мм, обособленное от висмутина; Б – золото-висмутин-кварцевая жила: 4 – мелкозернистый кварц с зонкой тонкозернистого кварца в нижнем зальбанде, 5 – калишпат-кварцевый метасоматит, 6 – вкрапленные рудные минералы: а – висмутин, б – комковидное самородное золото крупностью 0,2–1,2 мм, которое выделялось в сростках с висмутином и обособленно (крупным кружком показана золотина 1,2 мм), в – внутривпадинные трещины; В – золото-кварц-халькопиритовая руда: брекчия раннего мелкозернистого кварца (1) с четырьмя комковидными золотинами (Au) крупностью 0,4–0,6 мм в одном из его обломков (золотины показаны чёрными точками) в кварц-халькопиритовом цементе (2)

кварц-висмутиновый, но макроскопически видимое золото на спилах большого числа образцов мы в нём не встретили. О более позднем времени его формирования свидетельствуют наблюдения Н. И. Бабинцева (1942 г.) и цементация этим минеральным парагенезисом брекчий предыдущего парагенезиса, в том числе с видимым золотом, по нашим наблюдениям (см. рис. 3, В). В призальбандовых частях жил и прожилков с висмутиновой и халькопиритовой минерализацией и в околорудных метасоматитах часто присутствуют вкрапленные пирит и арсенопирит.

Низкотемпературная **полисульфидная минеральная ассоциация** самостоятельных жил не образует. Она встречается в малых количествах во многих прожилковых зонах и жильных телах широтного простирания, но в большей мере она проявлена на восточных флангах рудных тел Центрального участка в северном крыле СТР и восточнее – на Джалиндинском участке месторождения (на отрезке между долинами рек Левая и Правая Джалинда), где она наложилась на предшествующие ассоциации (особенно на пирит-

арсенопиритовую) по трещинам, вероятно, вследствие фокусирования и конвекции флюида. В составе этой ассоциации в малых количествах отлагались (см. табл. 1) сфалерит, галенит, минералы меди, серебра, блёклые руды, теллуриды золота, сульфосоли и сульфотеллуриды Cu, Pb, Bi и некоторое количество тонкого и дисперсного золота. Из жильных минералов в ней отлагались кварц и карбонаты [3, 6]. Минерализация этой сравнительно более низкотемпературной ассоциации проявлена в рудных телах и рудоносных зонах в виде мелких гнёзд и тонких кварц-полисульфидных прожилков, наложенных на предыдущие парагенезисы или заполняющих мелкие обособленные ответвления (апофизы). Вклад этой ассоциации в общую золотоносность основных рудных тел длительного формирования незначителен.

Наиболее низкотемпературная поздняя **кварц-антимонитовая минеральная ассоциация** присутствует в некоторых рудных телах Центрального и промежуточного Джалиндинского участков месторождения, но в большей мере она



Рис. 4. Интерстициальный самородок золота размером около $1 \times 0,5$ см, выделенный травлением из рудного кварца Кировского месторождения. Состоит из массы агрегированных овоидных частиц (фото Л. П. Гурова, 1969ф)

проявилась на дальнем восточном фланге рудного поля – в бассейне р. Малый Уркан. Здесь жильные тела сурьмяного месторождения Дорожное имеют в основном кварц-карбонат-антимонитовый состав и содержит барит. Мощность их составляет в среднем 0,2–0,6 м, содержания антимонита в рудах достигают 5–7 %, в редких пробах – до 15 %. Золотоносность этой минерализации крайне низкая, так как свободное золото в них не установлено, а содержания примесного золота в антимоните – от следов до 1 г/т [6]. В этих рудах анализами также установлены низкие содержания примесей В, Ag, Bi, As и присутствие Hg в форме киновари [6].

Наиболее поздняя послерудная **кварц-кальциевая минеральная ассоциация** отмечается в виде прожилков в рудных телах, особенно по восточному и южному периметрам рудного поля. Кварц в этих прожилках обычно низкотемпературный халцедоновидный.

Таким образом, самородное золото в жильных телах Кировского месторождения является сквозным минералом. Оно выделялось в виде дисперсных частиц, при кристаллизации всех сульфидных минералов на предрудном и рудных этапах, размещаясь в их матрице, а также в виде свободных более крупных частиц на продуктивной стадии. Можно выделить основные генерации при-

сутствующего в рудах свободного самородного золота различной крупности: Au_1 – мелкое золото, присутствующее в составе ранней турмалин-магнетитовой ассоциации, его пробность 960–973 ‰ [6]; Au_2 – наиболее крупное, выделявшееся в составе продуктивного парагенезиса кварца с висмутином (см. рис. 3), пробность этого золота 920–950 ‰; Au_3 – преимущественно тонкое и мелкое золото пробностью около 800–850 ‰, выделявшееся в составе более низкотемпературной менее распространённой полисульфидной ассоциации минералов. Наибольший вклад в качество жильных руд месторождения вносило свободное золото различной крупности висмутинкварцевого парагенезиса. Оно также является главным источником формирования его россыпей.

Геохимия вмещающих пород и минерализации Кировского месторождения изучалась нами ещё в 1980-х годах. Характеристика геохимического фона пород и окорудных эндогенных ореолов месторождения и другие показатели отражены в табл. 2. Фоновые содержания золота, серебра, свинца, цинка, меди, бора в неизменённых гранитоидах Джалиндинского плутона близки к кларкам гранодиоритов земной коры. В продуктивных жильных телах месторождения, по сравнению с фоновыми содержаниями в породах, накапливалось больше золота в среднем в 10–15 тыс. раз. По этому показателю к золоту приближаются мышьяк и висмут (соответственно в 500 и 1000 раз), а вольфрам, сурьма и серебро накапливались в меньших количествах (до 100–400 раз). В концентрациях до 50 раз выше фона вмещающих пород в рудах присутствует медь и до 20 раз – свинец, цинк и бор. По максимальным показателям накопления в рудах золота и висмута, по сравнению с другими сопутствующими элементами, это месторождение относится к золото-висмутовому типу мало- и убогосульфидной золото-кварцевой формации. Жильные тела месторождения сопровождаются ореолами привноса во вмещающие породы всех перечисленных рудогенных элементов, но в значительно меньших, чем в жилы, количествах. Ширина околожильных эндогенных ореолов элементов достигает 50–80 метров и коррелируется с продуктивностью рудных тел по золоту и сопутствующим элементам. Максимальное накопление привнесённых рудогенных элементов в околожильных ореолах, по сравнению с их фоновыми содержаниями в неизменённых вмещающих

в породах, увеличивается в 100–300 и более раз. Это характерно для той же группы элементов, которые были привнесены в рудные тела, а именно для золота, серебра, мышьяка, висмута (см. табл. 2). Промежуточные значения этого показателя свойственны сурьме и вольфраму. Распределение содержаний элементов в ореолах рудных тел, особенно группы наиболее контрастно накапливающихся из них в рудах, характеризуются тенденцией неравномерных снижений к периферии ореолов. Зоны выноса рудогенных эле-

ментов (или ореолы их околорудного выщелачивания из вмещающих пород до нижефоновых значений) не установлены. Следовательно, источник их глубинный. Приведённые в табл. 2 ряды накопления привнесённых элементов в руды и ореолы имеют близкую последовательность. Рассчитанный нами по методике [12] ряд вертикальной зональности отложения элементов в ореолах рудных тел свидетельствует об отложении основных количеств вольфрама, бора, молибдена и цинка преимущественно на их нижних уровнях, мышьяка

Табл. 2. Характеристики элементов рудного спектра и фонового геохимического поля Кировского золоторудного месторождения. По данным авторов

Химические элементы	Содержания химических элементов, г/т				Коэффициенты их накопления		
	Кларки гранодиоритов земной коры	Неизменённые кварцевые диориты, гранодиориты, монцититы Джалиндинского плутона		Рудные тела	Околорудные ореолы	в рудных телах	в ореолах
		Фон неизменённых пород	Минимально-аномальные				
Золото	0,0012	$\frac{0,001-0,003}{0,002}$	0,005	20–30	0,01–0,5	10 000–15 000	5–250
Серебро	0,051	$\frac{0,02-0,07}{0,05}$	0,1	10	0,5–5	200	10–100
Мышьяк	1,9	2	30	до ≥ 1 %	30–700	5000	15–350
Свинец	15	$\frac{10-19}{15}$	25	300	50–100	20	3–7
Цинк	56	$\frac{40-60}{50}$	80	до 1000	120–250	20	3–5
Медь	26	$\frac{12-25}{20}$	30	до 1000	60–200	50	3–10
Висмут	0,01	0,03	0,5	10–1000	1–30	300–10 000	30–1000
Сурьма	0,2	0,5	10	200	30	400	60
Ртуть	0,067	0,01	0,02	–	0,03–0,27	–	3–27
Молибден	1,2	0,5	1	6	1,5–5	12	3–10
Вольфрам	1,7	2	10	200	10–100	100	5–50
Бор	12	10	15	200	20–50	20	2–5

Примечание. В числителе – пределы вариации содержаний, в знаменателе – среднее значение, в г/т; прочерк – пробы не анализировались; ряды накопления элементов относительно фона (в порядке снижения): в рудах – Au–Bi–As–Sb–Ag–W–Cu, Pb, Zn, В, в ореолах – Bi–Au–As–Ag–Sb–W–Hg–Cu, Pb, Zn, В. Ряд вертикальной зональности ореолов (сверху вниз): Au, Ag–Bi, Pb–As, Cu–W, В, Мо–Zn.

и меди – на промежуточных, а золота, серебра, висмута, сурьмы и свинца преимущественно на их верхних уровнях. На основании этих данных уровень эрозионного среза жильных тел месторождения оценён как средне-верхнерудный.

Обсуждение роли различных геологических факторов в формировании золоторудной минерализации Кировского месторождения. Изложенные выше данные о большом числе присутствующих в жильных телах контрастных по составу и температурам образования последовательных минеральных ассоциаций и неравномерном их распространении в рудных телах на территории рудного поля и месторождения свидетельствуют о заметном влиянии ряда геологических факторов на формирование промышленных рудных тел или богатых золотом их участков. В числе таких факторов отметим следующие: структурно-тектонический, магматический, неоднородность литологии и особенно петрохимического состава рудовмещающих пород, многокомпонентность исходного состава флюида, многократная изменчивость его основных физико-химических параметров (в первую очередь *P* и *T*) и, как следствие, дискретную (при многократных раскрытиях трещин и дораскрытиях рудовмещающих полостей) эволюцию состава магматогебно-гидротермальных металлоносных флюидов. Охарактеризуем их значение в рудообразовании несколько подробнее.

Глубинные разломы и оперяющие их разломы меньшего ранга важны для локализации магматических и рудных тел. Положение рудного поля в зоне регионального субширотного глубинного Северо-Тукурингского разлома – свидетельство роли палеозойско-раннемезозойской конвергенции и позднемезозойской коллизии Сибирского кратона и Амурского супертеррейна [5, 11, 18], а конкретнее его Тукурингро-Джагинского террейна (см. рис. 1), в формировании разграничивающей их глубинной зоны дислокаций пород, проницаемой для поступающих в раннемеловое время на верхние уровни коры магматических расплавов – дифференциатов глубинного магматического очага, а в последующем и постмагматических флюидов. Тектоническая активизация разновозрастных геологических блоков, примыкающих к рудоконтролирующему СТР разлому, в процессе продолжающегося левостороннего сдвига по СТР [5, 18], способствовала (в соответствии со схемой А. В. Пейве

[19, с. 210, рис. 1]) возникновению зоны растяжения, а в ней – серии оперяющих его разрывных нарушений меньшего ранга, вместивших дайки и жильные тела (см. рис. 2) северо-восточного и субширотного простираний и поддержанию их флюидопроницаемости на постмагматическом продуктивном рудном этапе. В длительном процессе развития тектонических подвижек жёстких блоков пород в структурах юга Становой складчатой области возникали и неоднократно подновлялись взбросы, надвиги и сдвиги, а в комплексах осадочных терригенных пород мезозоя околоразломного Стрелкинского прогиба формировались складки и дизъюнктивы. Системы указанных на рис. 2 разрывных нарушений и особенно участки нарушенных пород в зонах их сопряжения и пересечения являлись каналами инфльтрации металлоносных глубинных флюидов в границах рудного поля с участками накопления минерализации в обоих крыльях СТР.

Роль состава рудовмещающих пород. Различие петрохимического состава вмещающих пород, несомненно, отражалось на составе минерализации. Так, турмалин-магнетит-кварцевая минерализация ассоциируется с наиболее высокожелезистыми породами рудного поля – диоритами и кварцевыми диоритами ранней фазы в приразломной юго-западной части Джалиндинской интрузии. Жильные тела в высокожелезистых базитах (например, жила Джалиндинская на склоне долины р. Левая Джалинда) более обогащены пиритом, арсенопиритом и халькопиритом, местами до 20–30 % и дисперсным золотом в них. В составе сульфидной минерализации, наложенной на дайки порфиритов и долеритов, дополнительно обнаружены пентландит и кобальтин [3]. В широтных минерализованных зонах I и II участка Южного (рис. 2), залегающих в лежачем крыле СТР среди терригенных пород юрского возраста, наряду с кварцем и вкрапленными сульфидами отмечаются повышенные содержания карбонатов, а содержания золота в отобранных из них штучных и сколково-бороздовых пробах достигает 1,2–6 г/т.

Роль физико-химических параметров флюида. По Л. П. Гурову [6], минеральные ассоциации руд (см. табл. 1) формировались в интервале температур 320–140 °C¹. Из них первые четыре более

¹ Приведены температуры гомогенизации.

высокотемпературные ассоциации (320–220 °С) размещаются на западной и центральной территориях месторождения, непосредственно вблизи основного канала поступления глубинных металлоносных флюидов, а последующие более низкотемпературные – в основном на верхних уровнях жильных тел Джалиндинского участка и на дальней восточной периферии Джалиндинского рудного поля – на левобережье реки Малый Уркан. Таким образом, разнотемпературные минеральные ассоциации Кировского месторождения формировались зонально на различных участках градиентного теплового поля конвектирующего флюида с наложением последующих ассоциаций на предыдущие, исключая самую раннюю.

Отложение минеральных парагенезисов каждой из последовательно формировавшихся всё более низкотемпературных минеральных ассоциаций происходило как в объёмах единых, периодически подновлявшихся проницаемых зон тектонических нарушений, так и во вновь раскрывавшихся оперяющих их трещинах. Это свидетельствует об активном пульсационном тектоническом режиме рудоформирования и длительном фокусированном поступлении металлоносного флюида из глубинного магматического очага по одним и тем же основным долгоживущим, периодически подновлявшимся каналам. При этом состав флюида непрерывно эволюционировал: плавно – в периоды тектонических пауз, при его спокойном прохождении с активным взаимодействием с вмещающими породами разного состава, и ускоренно-дискретно – в периоды его неоднократного вскипания и фазового расслоения на участках тектонического подновления рудовмещающих структур, а также смешения с трещинно-поровыми водами при каждом резком приращении в них свободного объёма. Об этом свидетельствуют наблюдаемые нами и отмечаемые предшественниками факты неоднократного брекчирования ранних и промежуточных парагенезисов руд и гнездового и прожилкового наложения более поздних ассоциаций на более ранние парагенезисы минералов или обособленное их отложение в поздних трещинах и апофизах рудных тел.

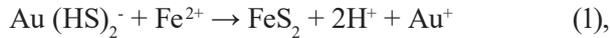
Таким образом, главную роль в формировании разнообразия минерализации в рудах, очевидно, играл фактор снижения давления флюида. Именно неоднократные резкие его снижения не только вызывали кипение и гетерогенизацию флюида,

но и, как следует из разнообразия составов флюидных включений в минералах [9, 14], ускоряли снижение температуры и эволюцию его состава, а также приводили к насыщению и пересыщению его определёнными металлами, газами и минералоотложению. Но, что особенно важно, они запустили механизм образования и естественной газовой флотации нанозарождений самородного золота (как это изложено далее) и предопределяли места формирования богатых золотом рудных столбов и бананцев [14, 17].

О формах и механизмах переноса и отложения флюидами золота в процессе гидротермального рудообразования. Обычно считается, что золото в гидротермальном процессе переносится кислыми флюидами в составе растворимых комплексов с лигандами Cl^- , $(\text{OH})^-$, $(\text{HS})_2^-$ и др., устойчивых при определённых физико-химических параметрах [1, 7, 9, 29]. Многие исследователи золоторудных месторождений полагают, что в формировании богатых рудных тел и бананцев участвуют также и коллоидные растворы [27, 28 и др.].

Учитывая наблюдаемую обычность взаимосвязанных проявлений кипения, смешения, гетерогенизации и дегазации флюида вслед за резкими спадами давления в гидротермальных системах и последующих его пересыщений золотом при формировании золоторудных месторождений, мы обосновываем возможность переноса золота при формировании богатых руд, наряду с растворимыми формами, также и в твёрдофазной форме по механизму естественной газовой флотации в составе ассоциатов « $\text{Au}_{\text{кр}} +$ пузырьки газа». Этот механизм по ряду признаков обосновывается нами для многих малосульфидных золото-кварцевых жильных месторождений Приамурья [13, 14, 17], в том числе и для Кировского месторождения. Его признаками является фазовая гетерогенизация флюида и установленные контрастные различия состава фаз такого флюида в кварце и самородном золоте из продуктивных ассоциаций [9, 17]. В процессе предрудного кислотного выщелачивания вмещающих пород этого месторождения, поступающий в трещины, полости и поровое пространство пород кислый металлоносный глубинный магматогенный флюид взаимодействовал с железосодержащими темноцветными минералами вмещающих пород, разлагал их и обогащался ионами железа. Присутствовавшая во флюидах в различных соединениях

сера, в том числе в составах H_2S и дестабилизирующихся и частично распадающихся при снижении P и T флюида гидросульфидных комплексах золота, активно вступала в реакции с ионами железа с образованием пирита:



При этом непосредственно у поверхности растущих кристаллов пирита по реакции (1) в процессе снижения температуры, гетерогенизации и дегазации флюида в его жидкой фазе возникали условия для локального насыщения и пересыщения свободными ионами золота. Высвобождавшиеся в зоне этой реакции ионы золота, по реакции (2), восстанавливались на пирите и других сульфидах. При этом из них зарождались наночастицы самородного золота. Находясь вблизи фронта реакции и укрупняясь, они могли сорбироваться, в соответствии с экспериментальными данными [20, 24], непосредственно на гранях растущих кристаллов пирита и вращать в их матрицы (**механизм-1 отложения дисперсного золота на сульфидах**) в виде наносфероидов и нанопластинок дисперсного золота.

На рудном этапе, при повышении трещиноватости и проницаемости вмещающих пород, в процессе раскрытий трещин, полостей, ускорениях инфильтрации флюида и его кипения, подобные реакции серы с ионами железа и других металлов, очевидно, могли происходить на всех участках снижения давления флюида в объёмах каналов инфильтрации. При этом зарождения кристаллов пирита и других сульфидов на всех стадиях рудного процесса закреплялись и продолжали укрупняться как на стенках полостей, трещин и открытых пор, так и в интерстициях формирующихся зернистых минеральных агрегатов сульфидов и кварцев, захватывая в свою матрицу наночастицы самородного золота и соосаждающихся частиц других минералов в виде примесей. Поэтому дисперсное золото в тех или иных количествах (от 1,0 до $n \cdot 10$ г/т, см. табл. 1) присутствует во всех сульфидах рудных ассоциаций Кировского месторождения, как, впрочем, и в рудах других золоторудных месторождений Приамурья, а также других регионов [20].

В процессе интенсивного и длительного внутривещного кипения, гетерогенизации, ошлеачивания и пересыщения золотом металлоносного флюида одновременно происходили массовые зарождения наночастиц самородного золота

и выделялись пузырьки газовой фазы, обычно с доминирующим CO_2 [9, 16, 20]. В связи с гидрофобностью поверхности частиц самородного золота [10, 17, 20] и высокой удельной поверхностной энергией его наночастиц в процессе их сорбции пузырьками газа или зарождения и роста пузырьков газа на поверхностях частиц золота (как это наблюдалось нами в экспериментах [10, 17]) в гидротермальном процессе образовывались прочные ассоциаты состава « $Au_{кр} +$ пузырьки газа», обогащённые CO_2 . Обладая достаточной подъёмной силой, такие ассоциаты способны опережающе флотировать (механизм-2 переноса золота) сквозь насыщенную золотом жидкую фазу флюида в раскрывшихся полостях, а также по всему насыщенному флюидом трещинно-поровому пространству вышележащих жильомещающих пород, от мест зарождения ассоциатов на более высокие уровни – до пологих малопроницаемых и непроницаемых (экранирующих) поверхностей или сужений каналов и выклинивания трещин [14]. На таких участках из накопленных ассоциатов за счёт агрегации и срастания контактирующих наночастиц и кластеров могли образовываться более крупные индивиды золота, а также их скопления, как показано в [17, рис. 5], и даже самородки (**по механизму-2 естественного флотационного переноса и отложения самородного золота**). Реальность и важность такого механизма для формирования бонанцев и рудных столбов показана авторами ранее на примере формирования золоторудных жильных тел месторождений Токур, Иннокентьевское, Пионер в Приамурье [14, 17], а также месторождений Бестюбе в Казахстане и Старо-Берикульское в Сибири [14, рисунки 6 и 7]. Эффективность такого механизма переноса золота подтверждена в наших экспериментах [10, 17]. В качестве подтверждения реальности такого механизма переноса золота в гидротермальном процессе приводим опубликованные факты обнаружения массовых скоплений наночастиц золота в многофазных флюидных включениях в кварце из зоны минерализации в керне сверхглубокой скважины СГ-3, пробуренной в Печенгском районе Кольского полуострова (Россия) и вскрывшей её на глубинах 9052–10 745 м от поверхности. Во всех типах газовой-жидких включений в кварцах этой минерализованной зоны в интервале указанных глубин [22] обнаружены переменные количества наночастиц золота (174 анализа, метод исследования LA ICP MS).

Во всех случаях наночастицы золота имеют сферическую форму, размеры 10–40 нм и располагаются во флюидных включениях в кварце только по границам газовых пузырьков с жидкой фазой.

Таким образом, на Кировском золоторудном месторождении первый механизм переноса и отложения золота формировал, соответственно, рассеянную (до 0,1 г/т) вкрапленную минерализацию с дисперсным золотом в сульфидах предрудных метасоматитов и бедные (обычно 0,5–3 г/т золота) прожилково-вкрапленные руды **кварц-пирит-арсенопиритовой ассоциации**, а также отложение дисперсного золота в различных сульфидах всех последующих минеральных ассоциаций в рудах. Второй механизм – естественной газовой флотации наночастиц золота, способствовал формированию богатых участков рудных тел с крайне неравномерным распределением золота на продуктивных стадиях всех вышеуказанных месторождений, например, образование сближенных золотин от мелких до крупных размеров с содержаниями золота до 100–1000 и более г/т в пробах, отобранных из порового пространства выше раздувов жильных тел или выше скоплений прожилков кварца, как показано нами в бананцах штокверкового месторождения Пионер [17, рисунки 4 и 5]. Другие примеры образования богатых самородным золотом гнезд, бананцев и рудных столбов в жильных телах ряда золоторудных месторождений приведены в работе [14]. Продуктивные тела этих месторождений обычно имеют переменную мощность. Наиболее высокие концентрации золота сосредоточены в верхних частях раздувов жильных тел, но ещё в большей мере в верхних сужениях выклинивающихся полостей. На этих примерах отчётливо видна положительная роль резких снижений давления флюида, его гетерогенизации, дегазации, пересыщения золотом, зарождения и естественной флотации его ассоциатов и их накопления в экранированных «ловушках» с образованием богатых руд.

Заключение. Исходя из геологического строения рудного поля и отмеченного зонального пространственного распределения в нём минеральных ассоциаций, модель формирования Кировского золоторудного месторождения представляется в следующем виде. В результате позднемезозойской коллизии Сибирского кратона с Амурским супертеррейном, а также постколлизивной раннемеловой тектоно-магматической активиза-

ции разновозрастных геологических блоков пород в полосе сочленения Становой и Монголо-Охотской складчатых областей, контактирующих по зоне Северо-Тукурингского глубинного разлома (синоним Монголо-Охотская сутура, см. рис. 1) при левосдвиговых подвижках в его крыльях возникли, а затем многократно подновлялись оперяющие его тектонические нарушения северо-восточного и широтного простираний. Вследствие этого активизировались прежние и появлялись новые проницаемые для флюидов зоны и узлы трещиноватости. В наиболее тектонически нарушенной части этой площади, в узле сопряжения разломов СТР и ЯР (см. рис. 2) в раннемеловое время сформировался обширный проницаемый канал для проникновения из глубинного магматического очага расплавов, сформировавших раннемеловой Джалиндинский гранитоидный плутон и сопровождающие его дайковые серии основного, среднего и кислого состава. В связи с продолжавшимися в раннемеловое время по СТР левосторонними сдвигами [5, 18] и образованием оперяющих разрывов северо-восточного простирания возникли благоприятные условия для длительного поступления из глубинного магматического очага металлоносных флюидов, формировавших в процессе их эволюции убого-, мало- и умеренносульфидную золото-кварцевую минерализацию рудного поля. Источниками флюидов и металлов для месторождения являлись расплавы нижнекорового магматического очага с участием мантийной составляющей, о чём свидетельствует глубинный изотопный состав серы из пиритов, арсенопиритов и висмутинов из руд Кировского месторождения [4]. Диапазон вариаций $\delta^{34}\text{S}$ в сульфидах узкий – $\pm 3\%$ относительно метеоритного стандарта.

О тесной парагенетической взаимосвязи указанных событий свидетельствуют такие факты, как отмеченная выше близкая по времени проявления последовательность тектонических событий, магматизма, минерализации и пространственно-структурная совмещённость проявлений указанных процессов. Дополнительным свидетельством такой связи являются отмеченная латеральная минералогическая и температурная зональность золоторудной минерализации рудного поля относительно положения указанного основного канала поступления постмагматических глубинных металлоносных флюидов и в равной мере относительно размещения околоинтрузивного

градиентного теплового поля Джалиндинского гранитоидного массива на этапе его становления. Именно в южной приразломной части Джалиндинского плутона и в прилегающем к нему блоке пород докембрия сосредоточены все известные к настоящему времени продуктивные на золото жильные тела северо-восточного и широтного простирания. В южном же крыле СТР, в терригенных отложениях верхней юры Стрелкинского прогиба, расположены выявленные нами (Остапенко, Белоусов, 1985) и рекомендованные для детального опоискования две крупные субширотные потенциально рудные зоны I и II с прожилково-вкрапленным типом сульфидно-золото-кварцевой минерализации (см. рис. 2) с содержаниями золота 1–6 г/т.

Кировское месторождение признано нами неглубоко эродированным (средне-верхнерудный

уровень), перспективным и недоразведанным по латерали и на глубину рудным объектом. Его геолого-структурным аналогом является Дарасунское золоторудное месторождение Забайкалья [21, 26], разведанное до гораздо больших глубин (1500 м) с возможным продолжением промышленной минерализации на большие глубины. В 2007–2011 гг. и позднее при проведении оценочных и затем поисково-оценочных работ на участке Южном Кировского месторождения, а именно на западном фланге рекомендованной нами потенциально рудной зоны-I (см. рис. 2), ЗАО ГРК «Дальгеология» выявлены и разведаны первые промышленные рудные тела жильного и прожилково-вкрапленного типов минерализации. По данным [8], с 2015 г. начата их отработка открытым способом, при среднем содержании золота в рудах 3,7 г/т.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акинфеев Н. Н., Зотов А. В. Термодинамическое описание хлоридных, гидросульфидных и гидрокомплексов Ag (I), Cu (I) и Au (I) в диапазоне температур 20–500 °С и давлений 1–2000 бар // *Геохимия*. – 2001. – № 10. – С. 1083–1099.
2. Вах А. С., Гвоздев В. И., Горячев Н. А., Хороводнов С. А., Карабцов А. А. Особенности минерального состава прожилково-вкрапленных золото-сульфидных руд Кировского месторождения Верхнего Приамурья // *Вопросы геологии и комплексного освоения природных ресурсов Восточной Азии*. III Всерос. науч. конф. : сборник докладов. – Благовещенск : ИГиП ДВО РАН, 2014. – Т. 1. – С. 70–73.
3. Гвоздев В. И., Горячев Н. А., Вах А. С., Федосеев Д. Г., Семяняк Б. И. Минеральный состав и типоморфные особенности минералов золоторудных жил Кировского месторождения (Верхнее Приамурье) // *Тихоокеанская геология*. – 2013. – Т. 32, № 6. – С. 40–51.
4. Голубчина М. Н., Загрузина И. А., Путинцев В. К., Эйриш Л. В. Изотопный состав серы сульфидов золоторудных месторождений Дальнего Востока СССР // *Тихоокеанская геология*. – 1985. – № 6. – С. 113–118.
5. Гордиенко И. В., Метелкин Д. В., Ветлужских Л. И. Строение Монголо-Охотского складчатого пояса и проблема выделения Амурского микроконтинента // *Геология и геофизика*. – 2019. – Т. 60, № 3. – С. 318–341.
6. Гуров Л. П. Минеральные ассоциации Кировского золоторудного месторождения (Верхнее Приамурье) // *Золоторудные минерализации Верхнего и Среднего Приамурья : сборник трудов*. – Владивосток : ДВНЦ АН СССР, 1978. – С. 11–86.
7. Летников Ф. А., Вилор Н. В. Золото в гидротермальном процессе. – М. : Недра, 1981. – 225 с.
8. Мельников А. В., Степанов В. А., Вах А. С., Вьюнов Д. Л., Денендиенко А. И., Пересторонин А. Е. Месторождения рудного золота Приамурской провинции. – Благовещенск : АмГУ, 2017. – 151 с.
9. Моисеенко В. Г. Геохимия и минералогия золота рудных районов Дальнего Востока. – М. : Наука, 1977. – 304 с.
10. Нерода О. Н., Остапенко Н. С. Экспериментальное воспроизведение возможности естественной флотации самородного золота в рудном процессе // *Вопросы геологии и комплексного изучения экосистем Восточной Азии: VI Всерос. науч. конф. : сборник докладов*. – Благовещенск : ИГиП ДВО РАН, 2022. – С. 58–61.
11. Нужнов С. В., Карпузов А. Ф., Рейтлингер А. С., Фролов В. Н. Позднемезозойская коллизионная тектоника юго-востока Сибири и северо-восточной окраины Центральной Азии. – М. : Геоинформарк, 1999. – 49 с.
12. Овчинников Л. Н., Григорян С. В. Закономерности состава и строения первичных геохимических ореолов сульфидных месторождений // *Научные*

- основы геохимических методов поисков глубоко-залегающих рудных месторождений. – Иркутск : СибГЕОХИ, 1970. – 312 с.
13. *Остапенко Н. С.* К обоснованию гидротермально-флотационной модели формирования золоторудных столбов в жилах выполнения // История исследования золотоносности Приамурья : сборник трудов. – Благовещенск : ВМО Амур. отд., 1989. – С. 62–64.
 14. *Остапенко Н. С.* О естественной флотации гидробных минералов в гидротермальном рудообразовании и ее следствиях (на примере месторождений золота) // Руды и металлы. – 2016. – № 1. – С. 78–86.
 15. *Остапенко Н. С.* Петрохимические особенности мезозойских интрузивных комплексов Приамурья с различной металлогенией // Магматизм и метаморфизм зоны БАМ и их роль в формировании полезных ископаемых : тезисы всесоюзного совещания. – Улан-Удэ : Наука, Сиб. отд., 1979. – С. 136–138.
 16. *Остапенко Н. С.* Применение диаграммы $FeO/Fe_2O_3 - Na_2O/K_2O$ для петрохимической и металлогенической типизации гранитоидных комплексов // Потенциальная рудоносность, геохимические типы и формации магматических пород : материалы совещания. – Новосибирск : Наука, сибирское отделение, 1991. – С. 71–76.
 17. *Остапенко Н. С., Нерода О. Н.* Причины и факторы формирования бананцев в рудных телах зоны Бахмут штокверкового золоторудного месторождения Пионер (Приамурье) // Тихоокеанская геология. – 2023. – Т. 42, № 3. – С. 52–71.
 18. *Парфенов Л. М., Берзин Н. А., Ханчук А. И., Бадарч Г., Беличенко В. Г., Булгатов А. Н., Дриль С. И., Кириллова Г. Л., Кузьмин М. И., Ноклеберг У., Прокопьев А. В., Тимофеев В. Ф., Томуртоого О., Янь Х.* Модель формирования орогенных поясов Центральной и Северо-Восточной Азии // Тихоокеанская геология. – 2003. – Т. 22, № 6. – С. 7–41.
 19. *Пейве А. В.* Глубинные разломы и их роль в строении земной коры : Избранные труды / А. В. Пейве. – М. : Наука, 1990. – 352 с.
 20. *Петровская Н. В.* Самородное золото. – М. : Наука, 1973. – 345 с.
 21. *Прокофьев В. Ю., Banks D. A., Лобанов К. В., Селектор С. Л., Миличко В. А., Luders V., Акинфеев Н. Н., Боровиков А. А., Чичеров М. В.* Природные флюиды с наночастицами золота // Супрамолекулярные системы на поверхности раздела VI Междунар. конф. : сборник статей. – Вып. 6. – М. : ИФХЭ РАН, 2019. – С. 95–100.
 22. *Прокофьев В. Ю., Бортников Н. С., Зорина Л. Д., Куликова З. И., Матель Н. Л., Колпакова Н. Н., Ильина Г. Ф.* Генетические особенности золото-сульфидного месторождения Дарасун (Восточное Забайкалье, Россия) // Геология рудных месторождений. – 2000. – Т. 42, № 6. – С. 526–548.
 23. *Савватеев А. С.* История развития золотодобычи в Соловьевском золоторудном районе // История геологических исследований и развитие горного промысла в Верхнем Приамурье. – Благовещенск : ПКИ, 2001. – С. 96–117.
 24. *Сахарова М. С., Лобачева И. К.* Электрохимическое исследование процессов отложения золота на сульфидных минералах // Геология рудных месторождений. – 1967. – Т. 9, № 4. – С. 46–55.
 25. *Сорокин А. А., Пономарчук А. В., Травин А. В., Пономарчук В. А., Вахтомин К. Д.* $^{40}Ag / ^{39}Ag$ -возраст гранитоидов и связанного с ними оруденения месторождения Кировское (Юго-восточное обрамление Северо-Азиатского кратона) // Доклады академии наук. – 2014. – Т. 458, № 4. – С. 452–458.
 26. *Спирidonov А. М., Зорина Л. Д., Кутаев Н. А.* Золотоносные рудно-магматические системы Забайкалья. – Новосибирск : НАИ Гео, 2006. – 292 с.
 27. *Hannington M., Garbe-Schönberg D.* Detection of gold nanoparticles in hydrothermal fluids // Economic Geology. – 2019. – V. 2. – P. 397–400.
 28. *Saunders J. A., Schoenly P. A.* Boiling, colloid nucleation and aggregation, and the genesis of bonanza Au-Ag ores of the Sleeper deposit, Nevada // Mineralium Deposita. – 1995. – V. 30. – P. 199–210.
 29. *Stefansson A., Seward T. M.* Gold (I) complexing in aqueous sulphide solutions to 500 °C at 500 bar // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 2004. – V. 68(20). – P. 4121–4143.

REFERENCES

1. *Akinfeyev N. N., Zotov A. V.* Termodinamicheskoye opisaniye khloridnykh, gidrosul'fidnykh i gidrokompleksov Ag (I), Cu (I) i Au (I) v diapazone temperatur 20–500 °C i davleniy 1–2000 bar [Thermodynamic description of chloride, hydrosulfide and hydrocomplexes of Ag (I), Cu (I) and Au (I) in the temperature range of 20–500 °C and pressures of 1–2000 bar], Geokhimiya, 2001, No. 10, pp. 1083–1099. (In Russ.)
2. *Vakh A. S., Gvozdev V. I., Goryachev N. A., Khorovodnov S. A., Karabtsov A. A.* Osobennosti mineral'nogo sostava prozhilkovo-vkraplennykh zoloto-sul'fidnykh

- rud Kirovskogo mestorozhdeniya Verkhnego Priamur'ya [Features of the mineral composition of veinlet-disseminated gold-sulfide ores of the Kirovskoye deposit in Upper Priamurye], Voprosy geologii i kompleksnogo osvoyeniya prirodnykh resursov Vostochnoy Azii. III Vseros. nauch. konf., Collection of reports, Blagoveshchensk, IGI P DVO RAN publ., 2014, V. 1, pp. 70–73. (In Russ.)
3. *Gvozdev V. I., Goryachev N. A., Vakh A. S., Fedoseyev D. G., Semenyak B. I.* Mineral'nyy sostav i tipomorfnyye osobennosti mineralov zolotorudnykh zhil Kirovskogo mestorozhdeniya (Verkhneye Priamur'ye) [Mineral composition and typomorphic features of minerals of gold ore veins of the Kirovskoye deposit (Upper Amur region)], Tikhookeanskaya geologiya, 2013, V. 32, No. 6, pp. 40–51. (In Russ.)
 4. *Golubchina M. N., Zagruzina I. A., Putintsev V. K., Eyrish L. V.* Izotopnyy sostav sery sul'fidov zolotorudnykh mestorozhdeniy Dal'nego Vostoka SSSR [Isotopic composition of sulfur in sulfides of gold deposits in the Far East of the USSR], Tikhookeanskaya geologiya, 1985, No. 6, pp. 113–118. (In Russ.)
 5. *Gordiyenko I. V., Metelkin D. V., Vetluzhskikh L. I.* Stroyeniye Mongolo-Okhotskogo skladchatogo poyasa i problema vydeleniya Amurskogo mikrokontinenta [Structure of the Mongol-Okhotsk folded belt and the problem of identifying the Amur microcontinent], Geologiya i geofizika, 2019, V. 60, No. 3, pp. 318–341. (In Russ.)
 6. *Gurov L. P.* Mineral'nyye assotsiatsii Kirovskogo zolotorudnogo mestorozhdeniya (Verkhneye Priamur'ye) [Mineral associations of the Kirov gold deposit (Upper Amur region)], Zolotorudnyye mineralizatsii Verkhnego i Srednego Priamur'ya, Collection of reports, Vladivostok, DVNTS AN SSSR publ., 1978, pp. 11–86. (In Russ.)
 7. *Letnikov F. A., Vilor N. V.* Zoloto v gidrotermal'nom protsesse [Gold in the hydrothermal process], Moscow, Nedra publ., 1981, 225 p. (In Russ.)
 8. *Mel'nikov A. V., Stepanov V. A., Vakh A. S., V'yunov D. L., Denentiyenko A. I., Perestoronin A. Ye.* Mestorozhdeniya rudnogo zolota Priamurskoy provintsii [Deposits of ore gold of the Amur province], Blagoveshchensk, AmGU publ., 2017, 151 p. (In Russ.)
 9. *Moiseyenko V. G.* Geokhimiya i mineralogiya zolota rudnykh rayonov Dal'nego Vostoka [Geochemistry and mineralogy of gold in ore regions of the Far East], Moscow, Nauka publ., 1977, 304 p. (In Russ.)
 10. *Neroda O. N., Ostapenko N. S.* Eksperimental'noye vosproizvedeniye vozmozhnosti yestestvennoy flotatsii samorodnogo zolota v rudnom protsesse [Experimental reproduction of the possibility of natural flotation of native gold in the ore process], Voprosy geologii i kompleksnogo izucheniya ekosistem Vostochnoy Azii: Shestaya Vseros. nauch. konf., Collection of reports, Blagoveshchensk, IGI P DVO RAN publ., 2022, pp. 58–61. (In Russ.)
 11. *Nuzhnov S. V., Karpuzov A. F., Reytlinger A. S., Frolov V. N.* Pozdnevezozoyskaya kollizionnaya tektonika yugo-vostoka Sibiri i severo-vostochnoy okrainy Tsentral'noy Azii [Late Mesozoic collision tectonics of southeastern Siberia and the northeastern margin of Central Asia], Moscow, Geoinformmark publ., 1999, 49 p. (In Russ.)
 12. *Ovchinnikov L. N., Grigoryan S. V.* Zakonomernosti sostava i stroyeniya pervichnykh geokhimicheskikh oreolov sul'fidnykh mestorozhdeniy [Regularities of the composition and structure of primary geochemical halos of sulfide deposits], Nauchnyye osnovy geokhimicheskikh metodov poiskov glubokozalegayushchikh rudnykh mestorozhdeniy, Irkutsk, SibGEOKHI publ., 1970, 312 p. (In Russ.)
 13. *Ostapenko N. S.* K obosnovaniyu gidrotermal'no-flotatsionnoy modeli formirovaniya zolotorudnykh stolbov v zhilakh vypolneniya [On the substantiation of the hydrothermal-flotation model of the formation of gold ore columns in the veins of the filling], Istoriya issledovaniya zolotonosnosti Priamur'ya, Sb. trudov, Blagoveshchensk, VMO Amur. otd. publ., 1989, pp. 62–64. (In Russ.)
 14. *Ostapenko N. S.* O yestestvennoy flotatsii gidrofobnykh mineralov v gidrotermal'nom rudoobrazovanii i yeye sledstviyakh (na primere mestorozhdeniy zolota) [On the natural flotation of hydrophobic minerals in hydrothermal ore formation and its consequences (using gold deposits as an example)], Rudy i metally, 2016, No. 1, pp. 78–86. (In Russ.)
 15. *Ostapenko N. S.* Petrokhimicheskiye osobennosti mezozoyskikh intruzivnykh kompleksov Priamur'ya s razlichnoy metallogeniyei [Petrochemical features of Mesozoic intrusive complexes of the Amur region with different metallogeny], Magmatizm i metamorfizm zony BAM i ikh rol' v formirovanii poleznykh iskopayemykh, Tezisy vsesoyuznogo soveshchaniya, Ulan-Ude, Nauka, Sib. otd. publ., 1979, pp. 136–138. (In Russ.)
 16. *Ostapenko N. S.* Primeneniye diagrammy $\text{FeO, Fe}_2\text{O}_3 - \text{Na}_2\text{O, K}_2\text{O}$ dlya petrokhimicheskoy i metallogenicheskoy tipizatsii granitoidnykh kompleksov [Application of the $\text{FeO, Fe}_2\text{O}_3 - \text{Na}_2\text{O, K}_2\text{O}$ diagram for petrochemical and metallogenic typification of granitoid complexes], Potentsial'naya rudonosnost', geokhimicheskiye tipy i formatsii magmaticheskikh porod, Materialy soveshchaniya, Novosibirsk, Nauka, Sib. otd. publ., 1991, pp. 71–76. (In Russ.)
 17. *Ostapenko N. S., Neroda O. N.* Prichiny i faktory formirovaniya bonantsev v rudnykh telakh zony Bakhmut shtokverkovogo zolotorudnogo mestorozhdeniya Pioner (Priamur'ye) [Causes and factors of bonanza formation in ore bodies of the Bakhmut zone of the Pioneer stockwork gold deposit (Amur Region)], Tikhookeanskaya geologiya, 2023, V. 42, No. 3, pp. 52–71. (In Russ.)
 18. *Parfenov L. M., Berzin N. A., Khanchuk A. I., Bardarch G., Belichenko V. G., Bulgatov A. N., Dril S. I.,*

- Kirillova G. L., Kuzmin M. I., Nokleberg U., Prokopyev A.V., Timofeev V.F., Tomurtogoo O., Yan H.* Model' formirovaniya orogennykh poyasov Tsentral'noy i Severo-Vostochnoy Azii [Model of formation of orogenic belts of Central and North-East Asia], *Tikhookeanskaya geologiya*, 2003, V. 22, No. 6, pp. 7–41. (In Russ.)
19. *Peyve A. V.* Glubinnyye razlomy i ikh rol' v stroyenii zemnoy kory, *Izbrannyye trudy* [Deep faults and their role in the structure of the earth's crust, Selected works], Moscow, Nauka publ., 1990, 352 p. (In Russ.)
 20. *Petrovskaya N. V.* Samorodnoye zoloto [Native gold], Moscow, Nauka publ., 1973, 345 p. (In Russ.)
 21. *Prokofiev V. Yu., Banks D. A., Lobanov K. V., Selector S. L., Milichko V. A., Luders V., Akinfeev N. N., Borovikov A. A., Chicherov M. V.* Prirodnyye flyuidy s nanochastitsami zolota [Natural fluids with gold nanoparticles], *Supramolekulyarnyye sistemy na poverkhnosti razdela.VI Mezhdunar. konf., Sb. statey, Is. 6*, Moscow, IFKHE RAN publ., 2019, pp. 95–100. (In Russ.)
 22. *Prokof'yev V. Yu., Bortnikov N. S., Zorina L. D., Kulikova Z. I., Matel' N. L., Kolpakova N. N., Il'ina G. F.* Geneticheskiye osobennosti zoloto-sul'fidnogo mestorozhdeniya Darasun (Vostochnoye Zabal'kal'ye, Rossiya) [Genetic features of the Darasun gold-sulfide deposit (Eastern Trans-Balkaria, Russia)], *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy*, 2000, V. 42, No. 6, pp. 526–548. (In Russ.)
 23. *Savvateyev A. S.* Istoriya razvitiya zolotodobychi v Solov'yevskom zolotorudnom rayone [History of gold mining development in the Solovyevsky gold mining region], *Istoriya geologicheskikh issledovaniy i razvitiye gornogo promysla v Verkhnem Priamur'ye, Blagoveshchensk, PKI publ.*, 2001, pp. 96–117. (In Russ.)
 24. *Sakharova M. S., Lobacheva I. K.* Elektrokhimicheskoye issledovaniye protsessov otlozheniya zolota na sul'fidakh [Electrochemical study of gold deposition processes on sulfides], *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy*, 1967, V. 9, No. 4, pp. 46–55. (In Russ.)
 25. *Sorokin A. A., Ponomarchuk A. V., Travin A. V., Ponomarchuk V. A., Vakhtomin K. D.* ^{40}Ar , ^{39}Ar -vozrast granitoidov i svyazannogo s nimi orudneniya mestorozhdeniya Kirovskoye (Yugo-vostochnoye obramleniye Severo-Aziatskogo kratona) [^{40}Ar , ^{39}Ar age of granitoids and associated mineralization of the Kirovskoye deposit (southeastern framing of the North Asian craton)], *Doklady akademii nauk*, 2014, V. 458, No. 4, pp. 452–458. (In Russ.)
 26. *Spiridonov A. M., Zorina L. D., Kitayev N. A.* Zolotonosnyye rudno-magmaticheskiye sistemy Zabaykal'ya [Gold-bearing ore-magmatic systems of Transbaikalia], *Novosibirsk, NAI Geo publ.*, 2006, 292 p. (In Russ.)
 27. *Hannington M., Garbe-Schönberg D.* Detection of gold nanoparticles in hydrothermal fluids, *Economic Geology*, 2019, V. 2, pp. 397–400.
 28. *Saunders J. A., Schoenly P. A.* Boiling, colloid nucleation and aggregation, and the genesis of bonanza Au-Ag ores of the Sleeper deposit, Nevada, *Mineralium Deposita*, 1995, V. 30, pp. 199–210.
 29. *Stefansson A., Seward T. M.* Gold (I) complexing in aqueous sulphide solutions to 500 °C at 500 bar, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2004, V. 68(20), pp. 4121–4143.

Статья поступила в редакцию 21.10.24; одобрена после рецензирования 19.11.24; принята к публикации 20.11.24.
The article was submitted 21.10.24; approved after reviewing 19.11.24; accepted for publication 20.11.24.