

К генезису золото-серебряного месторождения Купол (Северо-Восток России)

Н.С.ОСТАПЕНКО, О.Н.НЕРОДА (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии и природопользования Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИГИП ДВО РАН); 675000, Амурская область, г. Благовещенск, пер. Релочный, д. 1)

На основании анализа опубликованных геологических материалов по золото-серебряному месторождению Купол (Чукотка) и распространённости в рудном поле субвулканических тел риолитов и риодацитов предложена новая версия его генезиса. Обосновывается активная тепловая рудоформирующая роль сближенных тел верхнемеловых риодацитов и риолитов завершавшего меловой вулканический цикл многофазного субвулканического комплекса, инициировавших и длительно поддерживающих конвекцию магматогенных глубинных флюидов и минералоотложение в совмещённом экранированном магмо- и флюидопроводнике.

Ключевые слова: Au-Ag месторождение Купол, магмопроводник, флюидопроводник, породный экран, субвулканические тела риолитов, околоинтрузивная конвекция флюида.

Остапенко Николай Степанович
доктор геолого-минералогических наук



ostapenko_ns@mail.ru

Нерода Ольга Николаевна

neroda67@mail.ru

On the genesis of the gold-silver deposit Kupol (North-East of Russia)

N.S.OSTAPENKO, O.N.NERODA (Institute of Geology and Natural Management of the Far Eastern Branch RAS, Blagoveschensk, Russia)

A new version of genesis of the epithermal gold-silver deposit Kupol (Chukotka), its mineral composition of ores and conditions of ore-localization based on the analysis of published geological materials on the geological structure had purposed in this article. The active thermal ore-forming role of completing the volcanic cycle of the multiphase subvolcanic complex' the proximal bodies of the Upper Cretaceous rhyolites had been proved. The main factors of this deposit' formation and the conditions that favored the appearance of large ore bodies and rich ores were considered. The magma chamber, unified faulty magmatic and fluid conductor, rock screen, flank clusters of subvolcanic rhyolite bodies and their integral thermal anomalies that initiated and sustained the deep fluid thermal convection under the screen, its mixing with fractured pore and meteoric waters and formation of gradient temperature zones, were considered among the main factors. The conjugation of these factors in space and time, the active tectonic regime and the long-term preservation of the deformation plan were the favorable conditions for ore formation. They maintained the high permeability of the fluid conductor, prevented a wide dispersion of fluids and provided a telescopic deposition of different mineral parageneses. *Key words:* Au-Ag deposit Kupol, magma conductor, fluid conductor, rock screen, subvolcanic complex, thermal convection of fluid.

Месторождение Купол находится в Анадырском районе Чукотки в западной периферии Охотско-Чукотского вулканического пояса в границах Кайемравемского рудного узла вблизи пересечения трёх региональных глубинных разломов фундамента [2, 4, 13, 16, 17]. Месторождение выявлено в 1995 г., оценено и предварительно разведано к 2007 г. ЗАО «Чукотская горно-геологическая компания». Это близповерх-

ностное золото-серебряное месторождение в поздне-меловых вулканитах с жильными и жильно-прожилковыми рудными телами представляет интерес для исследователей и поисковиков своей неординарностью [13]: компактным расположением богатых рудных тел в узкой протяжённой разломной зоне, большим вертикальным размахом промышленных тел (400–450 м), крупными, разведанными уже на первом

этапе [7] запасами золота и серебра 165 т и 2390 т, соответственно, богатыми рудами (средние содержания золота 22,8 и серебра 281,1 г/т), позволяющими вести его отработку карьерным и подземным способами. В дальнейшем детальная разведка бурением, подземными выработками и скважинами из них была продолжена корпорацией Кинросс. В результате общие запасы золота были увеличены и к настоящему времени составляют около 200 т.

Месторождение эксплуатируется с 2008 г., с переработкой около 1 млн. т. руды в год. Извлечение золота и серебра из руд осуществляется по комбинированной технологической схеме с гравитацией и цианированием. Извлечение золота из руд по такой схеме составляет 93,8, а серебра – 78,8%. Исследователи [1, 4] предполагают генетическую связь формирования этого месторождения с вулканическими процессами и участие в рудоформировании [14] фумарол и сольфатар.

Высокие темпы отработки месторождения (в среднем свыше 15 т золота в год) предполагают скорое исчерпание разведанных запасов и завершение отработки разведанных рудных тел месторождения к 2024 г. Для того, чтобы это детально разведанное к настоящему времени месторождение сделать хорошо изученным эталоном крупных эпитермальных рудных объектов с золото-серебряной минерализацией, необходимо, пока оно почти повсеместно доступно для изучения, прояснить ряд ещё не до конца решённых важных вопросов его генезиса: установление всех факторов и условий, благоприятствовавших формированию крупных и богатых золотом и серебром рудных тел; выявление особенностей состава минерализации на различных глубинах и её изменения по латерали; уточнение реальных соотношений рудных тел с субвулканическими телами и дайками риолитов и риодацитов, а также получение достоверных изотопных датировок времени формирования руд.

В многочисленных публикациях по месторождению эти вопросы освещены пока ещё фрагментарно и неоднозначно. А для эффективного прогнозирования подобных экономически важных золото-серебряных рудных объектов с богатыми рудами в различных вулканических поясах необходимо знать все аспекты его формирования. По результатам анализа опубликованных геологических материалов по месторождению, с привлечением известных результатов моделирования развития околотрузивных тепловых полей отечественными и зарубежными исследователями [8, 18, 19, 21] применительно к субвулканическим телам авторы статьи обосновали новую версию предполагаемого формирования этого крупного рудного объекта. На основании ряда приведён-

ных ниже признаков они полагают, что месторождение сформировалось в тандеме магматического очага (источника металлов) и его дифференциатов, а именно – в тепловом поле субвулканических тел риолитов и риодацитов. Минералоотложение, предположительно, происходило в процессе околотрузивной конвекции поступающего глубинного металлоносного флюида среди проницаемых пород тектонической зоны, являющейся одновременно магмопроводником, флюидопроводником и вместилищем руд. Приведём обоснование этой версии.

Геологическое строение месторождения и минеральный состав руд. Сведения о геологическом строении месторождения в связи с их широкой известностью авторы изложили в своей статье кратко, с необходимыми акцентами, важными для обоснования предлагаемой генетической версии. Месторождение размещается среди пологозалегающих вулканогенных отложений верхнего мела в околокальдерной части Кайемравеевской вулканической структуры [2, 16, 17]. Рудная минерализация контролировалась меридиональной субвертикальной протяжённой разломной зоной (рис. 1). Важными особенностями этой зоны являются сопряжённое размещение в ней богатых золотом мощных кварцевых жил и прожилковых зон, двух фаз даек верхнемеловых риолитов [4] и, как следует из карт рудного поля в работах [14 и 20], близкое нахождение в её восточном крыле двух фланговых групп субвулканических тел кислого состава в ассоциации с экструзиями. Крутозалегающие дайки и золотоносные жилы в зоне или сближены, или взаимно контактируют и следуют параллельно на протяжении около 4 км. Большинство авторов [3, 12, 14, 17] считает дайки риолитов послерудными. Многие исследователи отмечают, что контакты жил и даек обычно сорваны [4, 7, 20]. Это, несомненно, затрудняет установление их реальных взаимоотношений. Авторы данной статьи не встречали в публикациях сведения о радиогенном возрасте оруденения на этом месторождении.

В рудоносной тектонической зоне, по разным данным, выделяется от 11 до 16 рудных тел (жил) протяжённостью 180–2400 м и варьирующей мощностью 0,6–20,7 м [4, 6, 17, 20]. Из них два основных являются наиболее крупными. Рудоносная зона имеет сложное кулисное строение (см. рис. 1), особенно в своей средней части (рис. 2), в пределах дугообразного изгиба, южнее которого она расщепляется на ряд коротких тел, выклинивающихся в южном направлении. На продольной вертикальной проекции рудоносной зоны (рис. 3) видно неравномерное распределение накоплений золота по латерали и вертикали. Более обогащены золотом верхние горизонты жил центральной части зоны. Верхняя часть богатых

рудных тел здесь значительно эродирована. От неё на юг и север намечается отчётливое пологое погружение общего контура богатых золотом руд. Для северного фланга это частично связано также со смещением вниз северной части рудоносной зоны по пострудному ступенчатому сбросу северо-западного

простираения. В этой опущенной, совершенно незродированной части зоны отмечается надрудная аргиллизация рудовмещающих пород [4]. Установленный вертикальный размах промышленного оруденения здесь превышает 450 м.

Присутствие на северном фланге месторождения над рудовмещающей толщей андезитов и андезитобазальтов останцов тонкозернистых покровных риолитовых туфов и игнимбриков верхней толщи разреза вулканитов с наложенной метасоматической аргиллизацией позволяет авторам предположить, что эта толща могла выполнять роль экрана металлоносных флюидов при формировании минерализации на всём протяжении рудоносной зоны. Из приведённых в литературе геологических данных по этому месторождению можно заключить, что оруденение формировалось в зоне длительно и динамично развивавшегося магмо- и флюидопроводящего крутозалегающего меридионального разлома в экранированной гидротермальной системе.

Рудная минерализация жил и сопровождающих их прожилковых зон отнесена исследователями [2, 12, 17] к золото-серебряному сульфосолевому типу с богатыми бонанцевыми рудами. Рудоформирование происходило в несколько стадий, вторая и третья из которых являлись продуктивными. Наиболее распространённые рудные минералы жил и прожилковых зон представлены пиритом, арсенопиритом, сфалеритом, халькопиритом, галенитом, акантитом, блёклыми рудами [2, 12]. В значительных количествах в составе второй продуктивной золото-полисульфидно-адуляр-кварцевой ассоциации (стадии) присутствуют сульфосоли серебра (пирсеит, полибазит, пираргирит, прустит, стефанит) и селениды золота и серебра. Золото в рудах присутствует в основном в виде мелких (<0,1–0,3 мм), иногда до 2,2 мм самородных частиц разной пробы (от 280 до 875‰) и редких выделений его сульфидов – петровскита, ютенбогаардтита и селенида – фишессерита [2, 12–14]. Общее количество рудных минералов менее 1%. В рудных телах, особенно на их верхних уровнях, наиболее распространены колломорфно-полосчатые, фестончато-полосчатые, брекчиевые текстуры, а менее широко и в основном на более глубоких уровнях – друзовые, крустификационные и кокардовые [12]. Из структур кварцевых руд наиболее распространены структуры замещения, тонкозернистые и сферолитовые. Формирование руд происходило в близповерхностных условиях при температурах ниже 300°C [3, 11].

Обсуждение проблемы генезиса месторождения. Представления некоторых исследователей [1, 4, 13] о генетической связи оруденения с вулканическим процессом сомнения у авторов не вызывают, но они

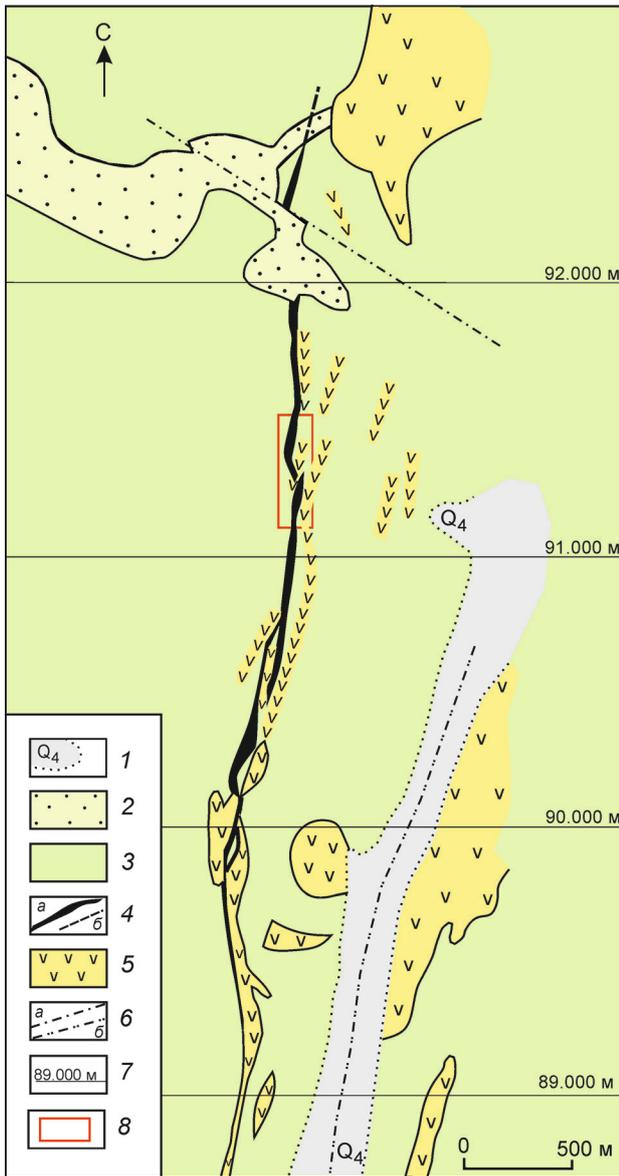


Рис. 1. Схема геологического строения месторождения Купол. По данным [14, 20]:

1 – аллювий; 2 – туфы риолитов и риодацитов; 3 – андезиты и андезитобазальты (лавы и туфы), K_2 ; 4 – выходы кварцевых жил на поверхность (а) и в слепом залегании (б); 5 – дайки и более крупные субвулканические тела риолитов и риодацитов, K_2 ; 6 – разломы: а – установленные и б – предполагаемые под аллювием; 7 – разведочные профили; 8 – положение рис. 2

весьма неконкретные для использования в прогнозных целях.

О соотношениях субвулканических штоков и рудной минерализации. Некоторые исследователи [2 и др.] отмечали, что на территории Кайемравеемского рудного узла проявления золото-серебряной минерализации часто пространственно ассоциируют с субвулканическими и экструзивными телами риолитов и риодацитов, являющимися индикаторами размещения побочных центров вулканических извержений. Анализ геологических карт рудного поля, приведённых в работах [12, 20], позволил выделить в рудном поле два таких скопления на флангах основной рудоносной зоны (см. рис. 1). Согласно [15], формирование вулканических накоплений средней (андезиты и андезибазальты) и верхней (туфы риолитов и игнимбриты) толщ еропольской свиты (K_2), по данным К-Аг метода, происходило в интервале от $94,5 \pm 2$ до $89,5 \pm 2$ млн. лет. Следовательно, формирование завершающих верхнемеловой вулканизм субвулканических тел и связанной с ними золото-серебряной минерализации происходило в интервале примерно 89–90 млн. лет. Для завершающих формирование комплекса кислых пород (K_2) даек риолитов получен изотопный U-Pb возраст аксессуарных цирконов (SHRIMP-II метод): $88,89 \pm 0,87$ млн. лет (среднее из трёх анализов). На основе этих данных предполагаемый возраст штоков и установленный возраст даек риолитов оказались довольно близкими.

О геологических соотношениях даек и оруденения. Авторы считают, что категоричные утверждения многих исследователей о додайковом возрасте жил недостаточно обоснованы конкретными фактами, тем более, что дайки кислого состава внедрялись как минимум в две фазы [4]. Отмечаемые в работах [6, 12, 17] данные о присутствии ксенолитов кварца в дайках, без привязки их к фазам, вполне могли относиться к дайкам риолитов поздней фазы. Геологами корпорации Кинросс [20] отмечены околожильные гидротермальные изменения (гидрослюдизация) некоторых даек в интервалах до 1–5 м от контактов с жилами. В работе [2] отмечены развитие в приконтактной части дайки завершающего постпродуктивного антимонит-марказит-кварцевого парагенезиса и экранирование минерализации дайками. Все эти факты могут свидетельствовать об обратном. В работе [16, стр. 237] содержится утверждение, что «формирование рудной зоны месторождения Купол контролируется мощной и протяжённой дайкой риолитов». В работе [9] отмечено наличие в жилах и вблизи даек риолитов эксплозивных брекчий с обломками риолитов, окружённых кварцем и рудными парагенезисами. Дополнительный

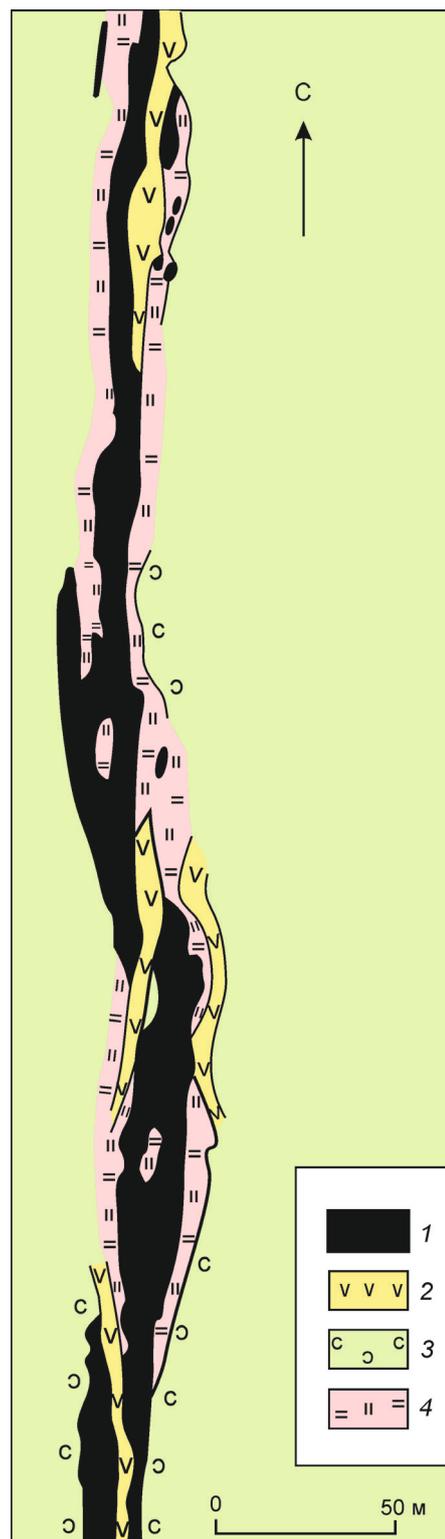


Рис. 2. Размещение кварцевых жил и даек риолитов в тектонической зоне среди андезибазальтов верхнего мела в центральной части месторождения Купол [20]:

1 – жилы кварца; 2 – дайки риолитов; 3 – туфы и лавы андезибазальтов; 4 – дроблёные породы

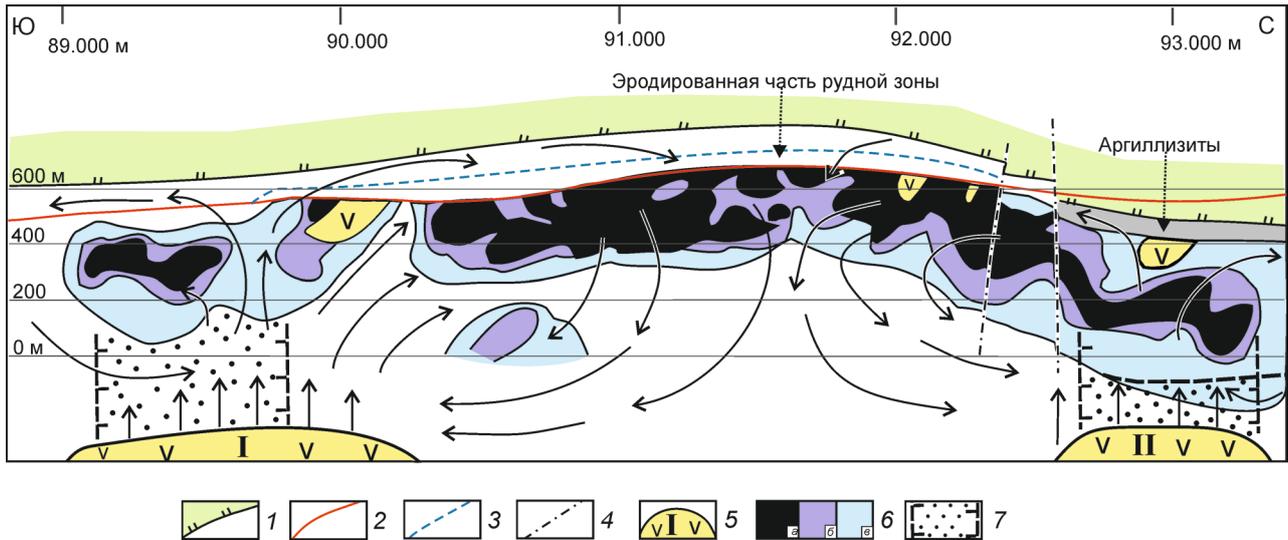


Рис. 3. Продольная вертикальная проекция месторождения Купол на вертикальную плоскость с отражением его геологической обстановки, структуры продуктивности золотоносной зоны и конвективных потоков флюидов на этапе рудоформирования:

1–4 – различными линиями показаны: 1 – подошва экрана, разделяющая толщи перекрывающих покровов игнимбритов и туфов риолитов и подстилающих рудовмещающих андезитов и андезибазальтов, 2 – поверхность современного эрозионного среза месторождения, 3 – примерная верхняя граница эродированной части рудоносной зоны, 4 – ступенчатый вертикальный сброс; 5 – корневые системы фланговых скоплений субвулканических тел риолитов и риодацитов: южное (I) и северное (II) и размещение некоторых даек; 6 – структура продуктивности рудоносной зоны на золото (содержания (г/т)×мощность (м) сечения зоны), по работе [20]: а – высокая (75–100 и более), б – промежуточная (25–75), в – минимальная (4–25); 7 – установленные бурением вертикальные фланговые продолжения рудной зоны на глубину; стрелками показана около- и надинтрузивная тепловая конвекция флюидов на этапе рудоформирования

довод о возможно ином соотношении рудных тел и даек вытекает и из минерального состава руд. Доминирующая часть серебра в рудах при обилии минеральных форм серебросодержащих сульфосолей и блёклых руд связана в акантите [6, 11, 12]. Согласно А.А.Годовикову [5], этот минерал образуется и устойчив при температурах рудообразования заведомо ниже 173°C. Выше такой температуры акантит неустойчив и переходит в аргентит. Следовательно, если бы все дайки риолитов были послерудными, то, по крайней мере, на контактах с ними за счёт теплового воздействия на руды акантит был бы массово замещён аргентитом. Однако аргентит в рудах исследователи не отмечают. Из этого можно сделать вывод о возможном предрудном-синрудном внедрении и становлении, по крайней мере, ранней фазы даек риолитов.

Следовательно, рудные тела могли формироваться в одних и тех же разломных магмо- и флюидопроводящих структурах вслед за внедрением основной части тел субвулканического комплекса риолитов-

риодацитов и, возможно, во время становления даек риолитов ранней (?) фазы внедрения. По [4], данный комплекс завершал меловой вулканический цикл. Это означает, что субвулканические тела и, возможно, дайки риолитов ранней фазы могли быть синрудными рудоформирующими. К аналогичному выводу авторы статьи пришли при анализе роли субвулканического силла дацита переменной мощности при формировании рудных тел эпитепимального золото-серебряного месторождения Покровское в Приамурье [10].

Тепловая конвекция флюидов. Исходя из морфологии рудной зоны в продольной проекции (см. рис. 3), основная конвекция флюида, предположительно, развивалась встречно от двух фланговых скоплений субвулканических тел (эпицентров тепловых аномалий) в направлении к наиболее проницаемой центральной части рудоносной зоны. К флангам мощность и проницаемость этой зоны значительно снижались, поэтому размер краевых конвективных ячеек был менее значителен, а минерализация на южном фланге менее

продуктивная [4, 17]. Однако в зоне сопряжения субвулканических тел и круто наклонённого на восток флюидопроводника разведочными работами последних лет [20] установлено распространение промышленных руд на значительно большую глубину.

Богатые руды и высокая продуктивность по золоту и серебру присущи наиболее проницаемой центральной части рудоносной зоны, где под предполагаемым куполом экранирующей толщи кислых туфов и игнимбритов остывающие смешанные растворы отлагали основную массу рудных минералов продуктивных ассоциаций. Авторы полагают, что малопроницаемые породы основания экрана были аргиллизированы на протяжении всей рудоносной зоны, но к настоящему времени, кроме сброшенной северной части зоны, они совместно с рудами верхней части зоны почти повсеместно эродированы (см. рисунки 1 и 3). Конвекция поступающего глубинного флюида инициировалась интегральным теплом двух фланговых скоплений субвулканических тел с момента внедрения ранних фаз субвулканического комплекса и длилась до остывания тел завершающих его фаз и, возможно, ранних даек риолитов.

По [9], метасоматизированы все породы рудного поля. Метасоматоз вмещающих пород в рудной зоне начинался при достаточно высоких температурах с образования в них бурого биотита, эпидота, возможно, амфиболов и оторочек санидина на плагиоклазах. Отложения жильного кварца, самородного золота, ранних сульфидов железа, меди, цинка и свинца начинались при температурах 300°–270°С и продолжались в основном при 260°–220°С [3, 11, 16], а электрума, сульфидов и селенидов золота, серебра и сурьмы, а также блёклых руд и сульфосолей серебра при этих же и, предположительно, ещё более низких температурах. Как уже было отмечено выше, широко представленный в первичных рудах основной минерал серебра – акантит – мог отлагаться при температурах заведомо ниже 173° С.

Факторы и условия, благоприятствовавшие формированию богатых руд: магматический очаг и динамично развивающаяся Средне-кайемравеемская глубинная разломная структура (совмещённый магмо- и флюидопроводник) в его кровле, длительно поставлявшая в верхнюю кору расплавы и металлоносные флюиды; экранирующая толща туфов риолитов и игнимбритов – купольный покров над верхним выклиниванием этого разлома, способствовавший концентрации глубинных металлоносных флюидов, субвулканических тел, даек риолитов и риодацитов и накоплению тепловой энергии. Своим тепловым ресурсом фланговые группы крутозалегающих субвулканических тел на глубинных

участках сближения и сопряжения с крутонаклонённым на восток флюидопроводником могли инициировать и длительно поддерживать под экраном околоинтрузивную конвекцию поступающих глубинных флюидов, их смешивание с трещинно-поровыми флюидами и этим активно влиять на пространственное размещение минерализации. Каждый из данных факторов в отдельности вряд ли дал бы положительный эффект для рудонакопления, но их совокупность и сопряжённость в пространстве (в единой структуре) и времени обусловили формирование под экраном крупного месторождения золота и серебра с богатыми рудами. В этом состоит главное условие благоприятствования указанных факторов для накопления руд. Многофазность внедрения субвулканических тел кислого состава и многократные тектонические подвижки способствовали длительному поддержанию высокой проницаемости основного флюидопроводника, фокусированию флюидного потока в экранированную структуру, длительной околоинтрузивной конвекции флюидов, раскрытию и неоднократному дораскрытию крупных вмещающих жилы полостей, телескопированному отложению в объёме экранированной зоны последовательных минеральных парагенезисов.

Таким образом, рудоформирование на месторождении происходило длительно, в процессе многократных тектонических и гидравлических раскрытий и дораскрытий трещин в крупные полости. Это приводило к резким падениям давления флюида, его гетерогенизации, газоотделению и вследствие этого снижениям температуры и пересыщениям жидкой фазы золотом, серебром и другими компонентами и бурному минералоотложению в несколько последовательных стадий. О многократности дораскрытий полостей и пересыщений флюида свидетельствуют широкое распространение в жилах полосчатых текстур руд колломорфного строения и неоднократная смена минеральных парагенезисов [2, 4, 12], совместное нахождение в одних и тех же зонах роста в кристаллах кварца и аметиста газово-жидких и газовых флюидных включений [11, 16], а также обилие брекчиевых текстур руд.

Закключение. Из изложенных материалов следует, что месторождение Купол могло сформироваться в относительно закрытой гидротермальной системе в тандеме магматического очага (источника флюидов и металлов) и его дифференциатов – групп субвулканических тел риолитов и риодацитов (дополнительные источники тепловой энергии для рудообразования), в условиях совмещённого магмо- и флюидопроводника и динамичности развития сопровождающих тектонических событий.

1. Фланговые группы субвулканических тел авторы статьи считают рудоформирующими. Их интегральный тепловой потенциал генерировал во флюидопроводящей разломной зоне околоинтрузивную конвекцию поступающего глубинного флюида, способствовал активному его смешиванию с трещинно-порowymi водами и влиял на метасоматоз пород и рудонакопление. Вопрос об участии (или неучастии) в рудоформировании тесно ассоциированных с рудными телами даек риолитов пока остаётся неясным. Необходимо его целенаправленное доизучение.

2. С позиции изложенной версии более понятны присущие этому крупному эпитеpмальному месторождению следующие его «нетипичные» особенности:

- большой вертикальный размах оруденения (≥ 430 м) и пологие склонения к флангам общей поверхности рудоносной зоны можно объяснить наличием экрана, двух фланговых вертикальных колонн субвулканических тел риолитов и риодацитов и, как показано на рис. 3, генерацией ими встречной тепловой конвекции флюида;

- большие мощности жильных тел, особенно в их раздувах (до 21,2 м) – результат тектонических и гидравлических раскрытий и дораскрытий полостей;

- высокие содержания золота и серебра в рудных столбах и разнообразие продуктивных минеральных парагенезисов [2, 4, 12] – результат отмеченного экранирования гидротермальной системы и резких падений давления и пересыщений флюида при раскрытиях и неоднократных дораскрытиях полостей.

3. Исходя из предложенной генетической версии, шансы на выявление новых рудных тел предпочтительнее для восточной части рудного поля месторождения Купол. На склонах долины р. Средний Кайемравеем, а также под рыхлыми отложениями в её пойме, в сопровождающих основную флюидопроводящую и рудовмещающую разломную зону сопряжённых с ней нарушениях меньшего ранга могут быть обнаружены богатые рудные тела, сформировавшиеся в тепловых конвективных полях тех же групп субвулканических тел.

4. При локальном прогнозировании крупных эпитеpмальных золото-серебряных месторождений в различных вулканических поясах важно учитывать следующие критерии:

- пространственно-генетическую связь месторождений с субвулканическими телами среднего и кислого состава – дифференциатами завершающих этапов развития верхнекоровых вулканических очагов;

- их размещение в зонах сопряжения скоплений субвулканических тел с флюидопроводящими глубинными разломами;

- экранированность рудовмещающих структур.

Авторы надеются, что публикация статьи активизирует дальнейшее целенаправленное, углублённое изучение этого важного в практическом и генетическом аспекте месторождения, выделяющегося своими выдающимися параметрами и заслуживающего стать эталоном крупного эпитеpмального рудного объекта для прогнозирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Белый В.Ф., Сидоров А.А., Волков А.В., Ващилов Ю.Я.* Структура и развитие Кайемравеемского вулканического поля (новый рудный район Чукотки) // Вулканология и сейсмология. – 2008. – № 3. – С. 10–18.
2. *Вартанян С.С., Лоренц Д.А., Сергиевский А.П., Щепотьев Ю.М.* Золото-серебряные руды Кайемравеемского узла Чукотского автономного округа // Отечественная геология. – 2005. – № 4. – С. 10–16.
3. *Волков А.В., Прокофьев В.Ю., Савва Н.Е.* и др. Рудообразование на Au-Ag-эпитеpмальном месторождении Купол, по данным изучения флюидных включений (Северо-Восток России) // Геология рудных месторождений. – 2012. – Т. 54. – № 4. С. 350–359.
4. *Глухов А.Н.* Региональная геологическая позиция, структура и минералого-геохимическая зональность золото-серебряного месторождения Купол // Вестник СВНЦ ДВО РАН. – 2008. – № 3. – С. 34–45.
5. *Годовиков А.А.* Минералогия. – М.: Недра, 1983. – 647 с.
6. *Горячев Н.А., Волков А.В., Сидоров А.А.* и др. Au-Ag-оруденение вулканогенных поясов Северо-Востока Азии // Литосфера. – 2010. – № 3. – С. 36–50.
7. *Григорьев Н.В., Филонов С.В.* Особенности геологического строения золото-серебряного месторождения Купол // Золото северного обрамления Пацифика: международный горно-геологический форум. – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2008. – С. 44–45.
8. *Жатнуев Н.С., Миронов А.Г., Рычагов С.Н., Гунин В.И.* Гидротермальные системы с паровыми резервуарами (концептуальные, экспериментальные и численные модели). – Новосибирск: СО РАН, 1996. – 184 с.
9. *Леонова В.В., Акинин В.В., Гельман М.Л., Глухов А.Н.* Характерные особенности петрографии рудовмещающего комплекса золото-серебряного месторождения Купол (Чукотка), новое определение возраста // Чтения памяти академика К.В.Симакова: тезисы докладов Всероссийской научной конференции, Магадан, 27–29 ноября 2007 г. – Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 2007 – С. 94–95.
10. *Остапенко Н.С., Нерода О.Н.* Экспериментальное подтверждение рудоформирующей роли силла дацита на Покровском эпитеpмальном золоторудном месторождении Приамурья // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 2 (27). – С. 6050–6054.
11. *Прокофьев В.Ю., Волков А.В., Сидоров А.А.* и др. Геохимические особенности рудообразующего флюида Au-Ag-эпитеpмального месторождения Купол (Северо-Восток России) // ДАН. – 2012. – Т. 447. – № 4. – С. 433–436.

12. *Савва Н.Е.* Минералогия серебра северо-востока России. – М.: Изд-во Триумф, 2018. – 544 с.
13. *Савва Н.Е., Бянкин М.А.* Au-Ag месторождение Купол – типичный или не типичный объект? // Чтения памяти академика К.В.Симакова. – Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 2009. – С. 137–138.
14. *Савва Н.Е., Пальянова Г.А., Бянкин М.А.* К проблеме генезиса сульфидов и селенидов золота и серебра на месторождении Купол (Чукотка, Россия) // Геология и геофизика. – 2012. – Т. 53. – № 5. – С. 597–609.
15. *Сахно В.Г., Григорьев Н.В., Курашко В.В.* Геохронология и изотопно-геохимическая характеристика магматических комплексов золотосеребряных рудно-магматических структур Чукотского сектора арктического побережья России // ДАН. – 2016. – Т. 468. – № 3. – С. 297–303.
16. *Сидоров А.А., Белый В.Ф., Волков А.В.* и др. Геология и условия образования уникального золото-серебряного месторождения на Чукотке // ДАН. – 2007. – Т. 412. – № 2. – С. 234–239.
17. *Стружков С.Ф.* Провинция Охотско-Чукотского вулканогенного пояса / Золоторудные месторождения России // Под ред. М.М. Константинова. – М.: Акварель, 2010. – С. 213–241.
18. *Шарапов В.Н., Голубев В.С.* К динамике температурного поля гидротермальной системы при формировании жильных месторождений // Доклады АН СССР. – 1973. – Т. 208. – № 3. – С. 683–685.
19. *Cathles L.M.* An analysis of the cooling of intrusives by ground-water convection which includes boiling // Economic Geology. – 1977. – Vol. 72. – P. 804–826.
20. *Kupol Mine and Dvoynoye Mine Russian Federation.* Ed. by John Sims. AIPG Certified Professional Geologist. National Instrument 43–101. Technical Report. – 2015. – 146 p.
21. *Norton D, Knight J.* Transport phenomena in hydrothermal systems: cooling plutons // American Journal of Sci. – 1977. – Vol. 277. – P. 937–981.

REFERENCES

1. *Belyu V.F., Sidorov A.A., Volkov A.V., Vashchilov Yu.Ya.* Struktura i razvitiye Kayemraveyemskogo vulkanicheskogo polya (novyy rudnyy rayon Chukotki) [The structure and development of the Kayemraveemsky volcanic field (new ore region of Chukotka)]. Vulkanologiya i seismologiya. 2008. No. 3. P. 10–18.
2. *Vartanyan S.S., Lorents D.A., Sergiyevskiy A.P., Shchepot'ev Yu.M.* Zolotoserebryanye rudy Kayemraveyemskogo uzla Chukotskogo avtonomnogo okruga [Gold-silver ores of the Kayemraveemsky cluster of the Chukotka Autonomous Okrug]. Otechestvennaya geologiya. 2005. No. 4. P. 10–16.
3. *Volkov A.V., Prokof'yev V.Yu., Savva N.Ye., Sidorov A.A., Byankin M.A., Uytunov K.V., Kolova Ye.Ye.* Rudoobrazovaniye na Au-Ag-epitermal'nom mestorozhdenii Kupol, po dannym izucheniya flyuidnykh vklyucheniy (Severo-Vostok Rossii) [Ore formation at the Au-Ag-epithermal Kupol deposit, according to the study of fluid inclusions (North-East of Russia)]. Geologiya rudnykh mestorozhdeniy. 2012. T. 54. No. 4. P. 350–359.
4. *Glukhov A.N.* Regional'naya geologicheskaya pozitsiya, struktura i mineralogo-geokhimicheskaya zonal'nost' zoloto-serebryannogo mestorozhdeniya Kupol [Regional geological position, structure and mineralogical-geochemical zoning of the Kupol gold-silver deposit]. Vestnik SVNTS DVO RAN. 2008. No. 3. P. 34–45.
5. *Godovikov A.A.* Mineralogiya [Mineralogy]. Moscow, Nedra. 1983. 647 p.
6. *Goryachev N.A., Volkov A.V., Sidorov A.A., Gamyanin G.N., Savva N.Ye., Okrugin V.M.* Au-Ag-orudneniye vulkanogennykh pojasov Severo-Vostoka Azii [Au-Ag-mineralization of volcanogenic belts in North-East Asia]. Litosfera. 2010. No. 3. P. 36–50.
7. *Grigor'yev N.V., Filonov S.V.* Osobennosti geologicheskogo stroyeniya zoloto-serebryanogo mestorozhdeniya Kupol [Features of the geological structure of the Kupol gold-silver deposit]. Zoloto severnogo obramleniya Pat-sifika. Mezhdunarodnyy gorno-geologicheskiiy forum. Magadan, SVKNII DVO RAN publ. 2008. P. 44–45.
8. *Zhatnuyev N.S., Mironov A.G., Rychagov S.N., Gunin V.I.* Gidrotermal'nyye sistemy s parovymi rezervuarami (kontseptual'nyye, eksperimental'nyye i chislennyye modeli) [Hydrothermal systems with steam reservoirs (conceptual, experimental and numerical modeli)]. Novosibirsk, SO RAN publ. 1996. 184 p.
9. *Leonova V.V., Akinin V.V., Gel'man M.L., Glukhov A.N.* Kharakternyye osobennosti petrografii rudovmeshchayushchego kompleksa zoloto-serebryanogo mestorozhdeniya Kupol (Chukotka), novoye opredeleniye voz-rasta [Characteristic features of the petrography of the ore-bearing complex of the Kupol gold-silver deposit (Chukotka), a new definition of age]. Chteniya pamyati ak. K.V.Simakova: tezisy dokladov Vserossiyskoy nauch-noy konferentsii. Magadan, 27–29 noyabrya 2007. Magadan, SVNTS DVO RAN publ. 2007. P. 94–95.
10. *Ostapenko N.S., Neroda O.N.* Eksperimental'noye pod-tverzhdeniye rudoformiruyushchey roli silla datsita na Pokrovskom epitermal'nom zolotorudnom mestorozhdenii Priamur'ya [Experimental confirmation of the ore-forming role of dacite sill at the Pokrovskoe epithermal gold ore deposit in the Amur Region]. Fundamental'nyye issledovaniya. 2015. No. 2 (27). P. 6050–6054.
11. *Prokof'yev V.Yu., Volkov A.V., Sidorov A.A., Savva N.Ye., Kolova Ye.Ye., Uytunov K.V., Byankin M.A.* Geokhimicheskiye osobennosti rudoobrazuyushchego flyuida Au-Ag-epitermal'nogo mestorozhdeniya Kupol (Severo-Vostok Rossii) [Geochemical features of the ore-forming fluid of the Au-Ag epithermal Kupol deposit (North-East of Russia)]. DAN. 2012. V. 447. No. 4. P. 433–436.

12. Savva N.Ye. Mineralogiya serebra severo-vostoka Rossii [Mineralogy of silver in the north-east of Russia]. Moscow, Triumph publ. 2018. 544 p.
13. Savva N.Ye., Byankin M.A. Au-Ag mestorozhdeniye Kupol – tipichnyy ili ne tipichnyy ob'yekt? [Is the Kupol Au-Ag deposit typical or not typical?]. Chteniya pamyati ak. K.V.Simakova. Magadan, SVNTS DVO RAN publ. 2009. P. 137–138.
14. Savva N.Ye., Pal'yanova G.A., Byankin M.A. K probleme genezisa sul'fidov i selenidov zolota i serebra na mestorozhdenii Kupol (Chukotka, Rossiya) [On the problem of the genesis of gold and silver sulfides and selenides at the Kupol deposit (Chukotka, Russia)]. Geologiya i geofizika. 2012. V. 53. No. 5. P. 597–609.
15. Sakhno V.G., Grigor'yev N.V., Kurashko V.V. Geokhronologiya i izotopno-geokhimicheskaya kharakteristika magmaticheskikh kompleksov zolotoserebryanykh rudno-magmaticheskikh struktur Chukotskogo sektora arkticheskogo poberezh'ya Rossii [Geochronology and isotope-geochemical characteristics of magmatic complexes of gold-silver ore-magmatic structures of the Chukotka sector of the Arctic coast of Russia]. DAN. 2016. V. 468. No. 3. P. 297–303.
16. Sidorov A.A., Belyy V.F., Volkov A.V., Kravtsov V.S., Prokof'yev V.Yu. Geologiya i usloviya obrazovaniya unikal'nogo zoloto-serebryanogo mestorozhdeniya na Chukotke [Geology and conditions for the formation of a unique gold-silver deposit in Chukotka]. DAN. 2007. V. 412. No. 2. P. 234–239.
17. Struzhkov S.F. Provintsiya Okhotsko-Chukotskogo vulkanogenogo poyasa [Province of the Okhotsk-Chukotka volcanogenic belt]. Zolotorudnyye mestorozhdeniya Rossii / red. M.M.Konstantinov. Moscow, Akvarel' publ. 2010. P. 213–241.
18. Sharapov V.N., Golubev V.S. K dinamike temperatur-nogo polya gidrotermal'noy sistemy pri formirovanii zhil'nykh mestorozhdeniy [On the dynamics of the temperature field of the hydrothermal system during the formation of vein deposits]. Doklady AN SSSR. 1973. V. 208. No. 3. P. 683–685.
19. Cathles L.M. An analysis of the cooling of intrusives by ground-water convection which includes boiling. Econ. Geol. 1977. Vol. 72. P. 804–826.
20. Kupol Mine and Dvoynoye Mine Russian Federation. Ed. by John Sims. AIPG Certified Professional Geologist. National Instrument 43–101. Technical Report, 2015. 146 p.
21. Norton D, Knight J. Transport phenomena in hydrothermal systems: cooling plutons. American Journal of Sci. 1977. Vol. 277. P. 937–981.

Требования к оформлению рисунков

Рисунки и другие графические материалы (не более 8) представляются в цветном или черно-белом варианте в электронном виде. Размер оригиналов рисунков не должен превышать формата страницы журнала (170x237 мм). Каждый рисунок помещается в отдельный файл в одном из следующих форматов: графический редактор Corel Draw, JPEG, TIFF (только для фото), диаграмма Microsoft Excel. Графика должна быть прямо связана с текстом и способствовать его сокращению. Оформление и содержание иллюстративного материала должны обеспечивать его читаемость после возможного уменьшения. Ксерокопии и сканированные ксерокопии не принимаются. Подрисуночные подписи печатаются на отдельной странице. Рисунки, не удовлетворяющие требованиям редакции, возвращаются автору.