

Геология и полезные ископаемые

УДК 553.411.071.061

ПРОБЛЕМЫ ОБРАЗОВАНИЯ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТА. Ч 1. МАГМАТОГЕННЫЕ ГЕОЛОГО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ

И.В. Кучеренко

Томский политехнический университет
E-mail: Kucherenko.o@sibmail.com

Приведены содержание и обоснования четырех современных концепций образования гидротермальных месторождений золота – гранитогенной, базальтогенной, метаморфогенной, полигенной. Критический анализ аргументов сочетается с предложением и интерпретацией авторских данных, характеризующих в первой части статьи соотношения оруденения с магматизмом, во второй части – петрохимические, геохимические черты околорудных метасоматических ореолов. Предложенные материалы обсуждаются во второй части статьи, в завершение которой формулируются выводы.

Ключевые слова:

Гидротермальные месторождения золота, гранитогенная, базальтогенная концепции рудообразования, золотопродуцирующие флюидно-магматические комплексы.

Key words:

Hydrothermal gold deposits, granite-genetic, basalt-genetic ore-formation conceptions, gold-forming fluid-magmatic complexes.

Введение

Актуальная задача восполнения сокращающихся в недрах запасов высоколиквидного металла золота, как известно, решается посредством прогнозирования и локализации перспективных площадей, поисков на этих площадях новых месторождений и оценки обнаруженных ранее рудопроявлений и рудных тел в законсервированных и освоенных месторождениях. При существовании разных источников металла — комплексных месторождений эндогенных, из руд которых он извлекается попутно (магматических ликвационных медно-никелевых, гидротермальных медно-порфировых, колчеданных и полиметаллических гидротермальных, гидротермально-осадочных и вулканогенно-осадочных, вулканогенно-гидротермальных золото-серебряных), и экзогенных, образованных в корях выветривания и россыпях, важнейшее экономическое значение, не считая золотоносных конгломератов Ранда (ЮАР), имеют многочисленные гидротермальные собственно золотые месторождения, образованные, как считается, на умеренных (более 1,5...2,0 км), отчасти значительных, глубинах и представленные рудными телами разной морфологии, — кварцевыми жилами, минерализованными зонами, залежами, штокверками, в том числе, — в разных сочетаниях.

Эффективность перечисленных операций в прогнозно-поисково-оценочной практике зависит от ряда факторов: геологической изученности территорий, природных условий выполнения поисковых работ, наличия адекватных целям и задачам исследований аппаратуры и методов, знания законов, управляющих процессами рудообразования в земной коре.

Роль последнего важнейшего в развитии теории фактора возрастает и в прикладном аспекте — по мере сокращения фонда так называемых легко открываемых месторождений и ориентации на поиски оруденения, залегающего на экономически приемлемых глубинах, но не вскрытого эрозией. Разработка критериев прогнозирования рудоносных блоков земной коры и месторождений в них в этом случае опирается на знание геолого-генетической сущности рудообразующих и более масштабных инициирующих рудообразование геологических процессов, причинно-следственных связей оруденения с узнаваемыми элементами геологического строения территорий, — ареалами метаморфизма и магматизма, структурами и структурно-вещественными комплексами — производными конкретных геологических, в том числе геодинамических, режимов формирования верхней оболочки планеты.

Реконструкция геологических — рудообразующих — процессов, функционировавших в прошлые геологические эпохи сотни млн...миллиарды лет назад, представляет известные трудности, поскольку оставленные этими процессами вещественные следы — основа реконструкции, нередко сохранились в их первозданном виде и/или доступны для исследований лишь частично. Многие эмпирические данные, включая изотопно-геохимические, по объективным обстоятельствам не получают обновляемой генетической интерпретации, но служат питательной средой для многолетней, кажущейся бесконечной дискуссии и формулировки выводов, отражающих сильные личностные акценты.

Доказательством неудовлетворительного состояния проблемы образования гидротермальных собственно золотых месторождений служит мирное сосуществование четырех с вариантами геолого-генетических гипотез-концепций — гранитогенной, базальтогенной, метаморфогенной, полигенной, представляющих итог столетних исследований. Источники информации для разработки концепций, — как правило, одни и те же уникальные и крупные месторождения, вскрытые эксплуатационными и/или разведочными работами на значительные глубины и, следовательно, доступные для исследований, — Мурунтау, Бакырчик, Советское, Холбинское, Дарасун, Сухой Лог, Наталка и другие. В связи с этим трудно предположить в качестве причины многовариантных представлений о происхождении каждого из упомянутых месторождений конвергенцию рудообразования. Более вероятно то, что по крайней мере три из четырех предложенных для одного месторождения концепций не описывают реальный процесс его образования. Это, однако, не исключает некоторое разнообразие месторождений данной совокупности, образованных по разным написанным природой сценариям.

Существующая ситуация такова, что в обоснованиях концепций, за редкими исключениями, по неизвестным причинам не учитываются и не обсуждаются опубликованные в разные годы факты, которые не вписываются в авторские представления, либо, наоборот, использование которых усилило бы доказательную базу одной из них. Последнее невозможно объяснить иначе как неосведомленностью. Вместе с тем популярный ныне «мягкий» вариант дискуссии не способствует углублению теории и актуализирует потребность оценивать каждую концепцию на предмет ее соответствия всей совокупности накопленных достоверных фактов.

В статье дан аналитический обзор современных представлений об условиях образования гидротермальных золотых месторождений, приведены и обсуждаются не включенные в научный оборот эмпирические данные, использование которых призвано способствовать корректировке и конкретизации, большей обоснованности теоретических по-

строений и прогнозных критериев оруденения. В первой части статьи рассмотрены и обсуждаются магматогенные — гранитогенная и базальтогенная, во второй — метаморфогенная и полигенная концепции рудообразования. Во второй части, кроме того, подведены итоги обсуждения и формулируются выводы.

Гранитогенная и базальтогенная концепции предполагают генерацию металлоносных, очевидно газовых, флюидов в очагах соответственно гранитных и базальтовых расплавов, диагностика золотопроизводящей способности которых осуществляется с привлечением косвенных данных. Прямых признаков (фактов) связей золота и сопровождающего его в рудах геохимического и металлогенического спутника серебра с так называемыми предположительно материнскими магматическими породами пока не найдено. Вместе с тем повторяемость во многих золотых месторождениях, принадлежащих к одному генетическому типу, но образованных в разных геологических ситуациях и в разные геологические эпохи, косвенных данных в их совокупности служит доказательством достоверности следующих из их анализа и синтеза выводов.

Гранитогенная концепция

Со среднепалеозойским гранитоидным магматизмом генетически связывают образование близких к гранитам по возрасту и совмещённых с ними в пространстве золоторудных месторождений Урик-Китойской зоны Восточного Саяна — Холбинского, Водораздельного и других [1]. По мнению указанных авторов, рудообразование стало возможным при условии обогащения палингенных гранитных расплавов золотом вследствие переплавления обогащённого им офиолитового субстрата земной коры. Одновременно в сульфидных рудах этих месторождений исследованы изотопные отношения серы [2]. $\delta^{34}\text{S}$ пирита изменяется в пределах 2...5 ‰, галенита — 1...3,5 ‰. Обращает внимание на то, что указанный изотопный состав свойствен пириту и галениту рудовмещающих чёрных сланцев, образующих в них согласные стратификации слои и линзы массивных полиметаллических руд с участием кварцевых жил. С позиции генетических связей рудообразования с гранитным магматизмом мантийный изотопный состав серы минералов руд и возможных синрудных сульфидов в сланцах надо было бы прокомментировать, однако этого не сделано. Остаётся неопределённой справедливость утверждения об обогащении золотом вмещающих массивы гранитов пород расплавов как предпосылке рудообразования, — кроме факта присутствия на прилегающих площадях офиолитов других доказательств нет, притом, что содержание золота в этих породах отличается от такового в гранитах всего на несколько мг/т.

На основе исследований состава минералов гранитоидов Сибирского перикратонного металлогенического пояса, примесей в них, включая зо-

лота, газово-жидких включений в минералах, последующей реконструкции физико-химических и термодинамических режимов функционирования гранитоидных очагов высказывается предположение, согласно которому потенциальная рудогенерирующая способность гранитоидных магм определяется сложными процессами экстракции золота из расплавов под воздействием летучих компонентов [3]. Однако реализуется ли эта следующая из результатов экспериментов и теоретических построений рудогенерирующая способность в природе, остается неизвестным. Выводы даются как один из возможных вариантов формирования металлоносных растворов в гранитных магмах.

Проблема связей рудообразования с гранитным магматизмом обсуждается на примере одного из крупнейших золотых месторождений – Нежданнинского [4], золотого оруденения Верхояно-Колымских мезозоид [5] и мезозоид Северо-Востока Азии [6]. Исследователи считают, что золотое оруденение Верхояно-Колымских мезозоид и Нежданнинского месторождения связано с гранитоидами парагенетически. Наличие послегранитных дорудных малых интрузивных тел и даек основного состава дает основание полагать, что ответственными за образование золото-кварцевого оруденения следует считать более глубинные сравнительно с гранитными промежуточные магматические очаги, которые могут создавать передовой высокопроникающий фронт магматитов в сопровождении металлоносных флюидов. В складчатом поясе мезозоид Северо-Востока Азии утверждается, напротив, генетическая связь золотого оруденения с гранитами, притом что изотопные отношения серы сульфидов руд большинства месторождений региона, отвечающие мантийным меткам, не укладываются в это представление. Авторы подчеркивают, что при формировании магматической колонны в масштабах всего складчатого пояса главным источником золота служили сланцевые осадочные толщи, подвергавшиеся плавлению с образованием обогащённых золотом гранитных расплавов.

Подобной точки зрения, хотя и с оговорками, придерживается В.А. Степанов [7]. Он высказывает предположение, что в Центральной Колыме золото поглощается гранитоидными магмами из черносланцевых толщ верхоянского комплекса, для которых характерно повышенное содержание золота, природа которого остаётся неизвестной. Из расплавов металл поступает в рудообразующие растворы.

А.А. Сидоров и А.В. Волков [8] подчёркивают обнаруживаемую в ряде случаев положительную связь между золото-порфировым оруденением и ранними допорфировыми зонами тонкорассеянной золотоносной сульфидизации в черносланцевых толщах различного генезиса. С учётом масштабов сульфидизации и мобилизационных возможностей тонкорассеянных рудных минералов эти зоны рекомендуется рассматривать в качестве основ-

ных источников рудного вещества золоторудных месторождений, связанных с гранитоидами – интрузиями Na и K-Na монцонитов и гранодиоритов до калиевых лейкократовых гранитов. Авторы идеи полагают, что степень постмагматической золотоносности интрузий, вероятно, определяется не столько петрохимическим составом гранитоидных комплексов, сколько взаимоотношениями магм с более ранними зонами золотоносной сульфидизации и особенностями постмагматических процессов. Однако несколько позже А.А. Сидоров высказывает мнение [9], что золоторудные месторождения в черносланцевых толщах Северо-Востока России образованы посредством переработки золотосодержащей сульфидной до-синаккреционной вулканогенно-осадочной, гидротермально-осадочной минерализации в сланцах метаморфическими растворами.

Существенная эволюция взглядов в последнее десятилетие произошла при исследовании проблемы происхождения уникального золотого месторождения черносланцевого типа Сухой Лог в Ленском районе.

Коллектив авторов [10] определил его как полигенную геохимическую систему с многообразием источников рудного вещества и процессов его концентрирования. Фиксируемая в рудах ассоциация элементов, образующих собственные минеральные фазы, – Au, Ag, Pt, Pd, Fe, Ni, Co, Cr, Ti, Zn, Pb, Cu, TR, W, Mo, Zr соответствует двум геохимическим сообществам – базит-гипербазитового и габбро-гранитного рядов. Полигенная природа рудообразования устанавливается при исследовании изотопных равновесий группы стабильных изотопов – C, O, S, H, радиогенных изотопов Sr, Pb, Sm, Nd. По изотопным отношениям C и O ($\delta^{13}\text{C} = -30 \dots -3,5\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O} = 16,3 \dots 30,2\text{‰}$) сделан вывод о формировании кварц-карбонатной минерализации вследствие окисления органического углерода при участии в рудообразовании глубинного источника вещества. Этот вывод подтвержден результатами исследования серы, редкоземельных элементов и радиогенных изотопов. В целом высказано мнение о том, что при рудообразовании были задолжены два источника компонентов и флюидов – коровый и глубинный.

Позже [11] был установлен значительный отрыв во времени процессов образования руд от формирования рудовмещающих отложений (~1000 млн л) и их регионального метаморфизма (510 ± 30 млн л). С применением Rb-Sr метода радиологического датирования по валовым рудным пробам и по гидротермальному жильному золотоносному кварцу процесс рудообразования разделён на два этапа, отвечающих возрастам 440 и 315 ± 15 млн л соответственно. Конкретизированы данные об источниках сосредоточенных в рудах металлов: Au, Pt, W, Mo, TR, Ni, Co, Cr, Pb, Zn привнесены в зону рудоотложения извне, другие заимствованы из пород и несколько перераспределены в пространстве с повышением их концентраций в рудных телах.

В дальнейшем эти результаты подтверждены и уточнены [12]: 447 ± 6 млн л назад образованы прожилково-вкрапленные руды Сухого Лога, 321 ± 14 млн л назад — поздние золотоносные кварцевые жилы. Образование кварцевых жил авторы связывают со становлением гранитоидов конкудеро-мамаканского комплекса ~ 300 млн л назад.

В развитие этой идеи разработана гипотеза рудообразования, существо которой сводится к следующему [11]. Рудно-магматическая система месторождения Сухой Лог включает мантийный источник флюидов, базит-гипербазитовые породы докембрийского фундамента Бодайбинского прогиба, как считают авторы, «с высокой степенью надёжности» прогнозируемые глубинными геофизическими методами (гравиразведкой), прогнозируемый гравиразведкой Угаханский гранитный pluton, кровля которого находится на глубине 3,0...3,2 км от современной дневной поверхности, и рудные залежи на указанном расстоянии выше плутона. Связующее все эти элементы звено — глубинный разлом. Восходящие и гранитизирующие мантийные флюиды предварительно извлекают золото и платину из базит-гипербазитовых пород фундамента и доставляют металлы в образованный под их воздействием Угаханский гранитный очаг. Из последнего растворы выносят металлы на верхние горизонты земной коры, где и образуется месторождение, которое, таким образом, по версии авторов, генетически связано с предполагаемыми угаханскими гранитами, а позднепротерозойские углеродистые сланцы хомолхинской свиты служат всего лишь рудовмещающей средой.

Эту гипотезу рудообразования позже подтвердили Э.Н. Лишневский и В.В. Дистлер [13], привлекая результаты изучения глубинного строения земной коры района месторождения, но в части источников золота опровергли И.В. Чернышов и другие [14]. Последние авторы считают, что изотопный состав свинца, сосредоточенного в пирите и галените руд Сухого Лога, соотношения его изотопов, наличие тренда изотопного состава свинца и смешение свинца различного происхождения и изотопного состава согласуются с представлением о двух этапах формирования месторождения: сначала прожилково-вкрапленных руд (447 ± 6 млн л) и затем золотоносных кварцевых жил (321 ± 14 млн л), и подтверждают ведущую роль коровых источников золота и других металлов — черносланцевых терригенно-карбонатных пород верхнепротерозойского возраста. Металлы были мобилизованы из пород в процессе палеозойской тектоно-магматической активизации. Ранее представление [11, 13] о базит-гипербазитовом фундаменте Бодайбинского прогиба как источнике золота, поступившего с мантийными флюидами в Угаханский гранитный очаг, а из него — в образующееся месторождение, данными по изотопии свинца не подтвердилось.

Как следует из результатов изучения расплавных включений в кварце в районе золотого место-

рождения Тимбарра (Австралия), условия для формирования связанных с гранитоидами месторождений золота создаются в ходе фракционирования обычного гранитного расплава с образованием пород ряда от монцогранитов до высоко фракционированных щелочно-полевошпатовых гранитов, и сопровождающим его обогащением расплавов золотом [15]. Существует также мнение, что содержание золота в гранитоидах определяется условиями генерации исходных магм [16]. Так, в Главном гранитном поясе южного Урала продуктивными на золотое оруденение являются гранитоиды позднедевонских вулcano-плутонических интрузий, тесно ассоциирующие с базальтоидным вулканизмом, для которых, по версии авторов, характерны повышенные средние содержания золота — от 2,8 до 6,8 мг/т. Надо, однако, иметь в виду, что еще в семидесятых—восемидесятых годах было известно и на многих примерах подтверждалось, что повышенные или пониженные содержания золота в гранитах не есть показатель реализации их золотопroduцирующей способности [17, 18].

Базальтогенная концепция

Концепция опирается на один—два признака, подтверждающих участие мантийных производных в составе руд и околорудных метасоматитов.

На основе анализа современных представлений о составе верхней мантии и происходящих в ней процессах в сочетании с фактами участия в рудах ряда компонентов (С, N, H) в восстановленной форме, элементов с переменной валентностью, изотопные отношения которых отвечают мантийным меткам (S, C, Sr и др.), некоторые исследователи [19–22] полагают генерацию металлоносных рудообразующих растворов в мантийных магматических очагах; растворы поступают в области рудообразования по глубинным разломам, минуя промежуточные коллекторы в виде, скажем, коровых (палингенных) гранитоидных расплавов, то есть иначе, чем это мыслится в некоторых вариантах гранитогенной гипотезы.

Об иницировании рудообразования в черных сланцах процессами в мантии, в частности о генерации в мантии металлоносных флюидов, поступлении их по раствороподводящим глубинным разломам в области рудообразования, свидетельствуют, по мнению И.Н. Томсона и др. [23], контроль последними метасоматитов, насыщенных абиогенным углеродистым веществом (углеродистых метасоматитов), и одновозрастных с ними тел щелочных базитов. Высказано предположение о переносе золота и других металлов в форме металлоорганических соединений, которые позднее были обнаружены в рудовмещающих метасоматитах Дальнегорского района.

Э.А. Развозжаева с соавторами [24] полагают, что присутствие в газовой-жидких включениях минералов руд месторождения Сухой Лог наряду с углеводородами (метаном, этаном), CO_2 , N, H, ионов хлора и хлорсодержащих в рудах фаз в сра-

станции с рудными элементами позволяет предполагать изначальное поступление эндогенного рудного вещества в виде хлоридных комплексов. С учетом эндогенного (мантийного) происхождения части заключенного в рудах азота авторы считают установленной основную геохимическую особенность Главного этапа рудообразования на месторождении — взаимодействие глубинных, обогащенных азотом и благородными металлами флюидов с углеродистым веществом черносланцевых толщ, которое являлось геохимическим барьером. С представлением о генерации металлоносных флюидов, создавших Сухой Лог, в базит-гепербазитовых расплавах мантии согласуются результаты изучения метасоматических минералов руд, в частности обогащение последних минералами титана, а хлорита — никелем, который в повышенных концентрациях считается вестником мантийных глубин [25]. Об этом же свидетельствуют факты присутствия даек базитов в контролирующем рудные залежи Сухого Лога Кадали-Сухоложском глубинном разломе [26], даек камптонитов в месторождениях Енисейского, Ленского золоторудных районов, Кузнецкого Алатау [27]. Последний факт рассматривается В.А. Злобиным как признак наступления вслед за формированием ранних магматитов повышенной основности и натриевости позднего щелочно-базальтоидного этапа магматизма и связанного с ним рудообразования.

В контролируемом зоной Тамдытау-Нуратинского глубинного разлома месторождении-гиганте Мурунтау, которое формировалось, по данным детальных радиологических изотопных исследований, 70 млн л, присутствует множество преимущественно субщелочных даек. Среди них диагностированы, в частности, дорудные диоритовые порфириты и кварцевые диорит-порфириты с возрастом 286 млн л и внутрирудные керсантиты и кварцевые сиенит-порфиры с возрастом 273 млн л [28]. Как считают упомянутые и другие [29] авторы, для поддержания рудообразующей системы в рабочем состоянии столь долгое время был необходим постоянный флюидно-тепловой поток из мантийно-корового магматического источника. Его метками в рудах и метасоматических породах Мурунтау служат повышенные содержания металлов платиновой группы и изотопные отношения Sr. Седиментогенное биогенное (по изотопным данным) углеродистое вещество в рудно-метасоматическом процессе под действием флюидного потока трансформировалось в миграционноспособные формы, вступая в реакции с флюидами, и удалялось из метасоматитов, переотлагаясь на периферии метасоматических тел. Приведенные факты с учетом парагенетических отношений золота с платиновыми металлами преимущественно палладиевого профиля и связей его с высокотемпературными Mg-Са метасоматитами составили эмпирическую основу вывода о генерации металлоносных флюидов в глубинном очаге дифференцировавшейся базитовой магмы [28].

Как факт, подтверждающий связи процессов образования золоторудных месторождений с мантийным магматизмом в рудовмещающих углеродистых толщах разного возраста, рассматривается обнаруженное П.В. Комаровым и И.Н. Томсоном [30] соответствие в каждом районе возраста оруденения возрасту мантийных плюмов. Предполагается, что рудообразование обусловлено их функционированием.

В реконструкции вероятных причинно-следственных связей рудообразования с магматизмом привлекаются абсолютный возраст магматических пород и руд [1, 28, 30, 31–33 и др.] и относительные раскрывающие последовательность геологических событий пространственно-временные соотношения между ними [31, 34–37 и др.], диагностируемые пересечениями поздними производными геологических процессов ранних в сочетании с признаками термического воздействия первых на вторые, — зонами закалки в эндоконтактах даек, разгерметизированными вакуолями в кварцевых жилах, гидротермальными изменениями. В результате получены эмпирические доказательства повторяющейся во многих месторождениях последовательности сближенных во времени в диапазоне до нескольких десятков млн л сопровождаемых рудообразованием геологических процессов.

В разные геологические эпохи — в позднем рифее (Енисейский район), раннем (Кузнецкий Алатау), среднем (Окино-Китайский район Восточного Саяна), позднем (Кызыл-Кайнарская зона Южного Казахстана, Муйский район Северного Забайкалья, Ленский район, Патомское нагорье) палеозое, процессы начинаются с образования плутонов, массивов, поясов даек, зрелых очагово-купольных построек кислых плутонических пород — палингенных гранитоидов, образованных, судя по Sr^{87}/Sr^{86} -отношениям, под воздействием на субстрат земной коры мантийных флюидов-теплосителей.

В ряде месторождений — Центральном, Бериккульском (Кузнецкий Алатау), Иркиндинском, Кедровском (Муйский район), Чертово Корыто (Патомское нагорье), в телах гранитоидов и их обрамлении, в том числе в рудовмещающих толщах углеродистых (черных) сланцев, залегают сравнительно мощные (до 20 м) дайки гидротермально измененных микродиоритов, диоритовых порфиритов, которые сменяются во времени поздними дайками умеренно щелочных долеритов не менее 5 генераций.

Среди последних диагностированы дорудные, внутрирудные и послерудные.

В гранитных массивах дорудные дайки обычно сопровождаются золотоносными кварцевыми жилами и/или минерализованными зонами прожилково-вкрапленных руд и среди всех пород гидротермально изменены с образованием в экзоконтактах рудных тел оторочек березитов, а в обрамлении последних — пропилов в большей части объема дайковых тел. В редких останцах относи-

тельно слабого изменения умеренно щелочные долериты сохранили свойственный им в пределах нормативного минералого-химический состав, из чего следует вывод о затвердевании кислых расплавов, как правило, до внедрения ранних порций базальтовых, поскольку в результате смешения тех и других образовались бы «пестрые» по составу породы, что наблюдается достаточно редко (Мурунтау).

Внутрирудные дайки пересекают ранние рудно-минеральные комплексы, но пересекаются поздними и, сохраняя присущие им черный цвет, массивную текстуру и кристаллическую структуру, преобразованы на 70...90 % объема в метасоматиты-пропилиты, в том числе среди слабо измененных и неизмененных пород — покровных базальтов (Берикульское месторождение), гранитоидов (Холбинское месторождение в Восточном Саяне), ультраметаморфитов и гранодиоритов очагово-купольной постройки (Кедровское месторождение), углеродистых (черных) сланцев раннепротерозойской михайловской (месторождение Чертово Кормыто), позднерифейских кедровской, хомолхинской, аунakitской (месторождения Кедровское, Сухой Лог в Ленском районе) свит [37]. В перечисленных месторождениях, кроме Берикульского, в составе минеральных новообразований участвуют кристаллы роговой обманки и/или чешуйки биотита в объеме до нескольких десятков %, — сравнительно высокотемпературных минералов, не встречающихся в обрамляющих и вмещающих рудные тела метасоматических ореолах пропилит-березитового профиля. Биотит относится к числу поздних метасоматических минералов, — он замещает пироксен, лабрадор, роговую обманку, но в агрегате хлорита, альбита, серицита, магнезиально-железистых карбонатов, рутила, лейкоксена, магнетита, пирита, апатита его чешуйки сохраняются свежими или слабо корродированными, при этом аподайковые метасоматиты вдвое, вчетверо против нормативного содержания в долеритах обогащены магнием, фосфором, титаном, золотом (до 11 мг/т) [31, 34, 35]. В Ленском районе вместе с более ранними дайками гранитоидов позднепалеозойского агланьского комплекса дайки долеритов, объединяемые в кадали-бутуинский комплекс, образуют совмещенный региональный пояс малых интрузий, контролируемый системой глубинных разломов северо-северо-восточного простирания, в том числе залегают в контролирующем месторождения Сухой Лог, Вернинское, Невское Кадали-Сухоложском глубинном разломе. Радиологический Sm-Nd возраст даек долеритов здесь составляет 312 ± 59 млн л [38], возраст Сухого Лога по Rb-Sr изотопной системе — 315 млн л [39]. В других месторождениях возраст даек долеритов и руд, как отмечалось [32, 33, 37], близок к возрасту ранних гранитоидов.

Послерудные (позднерудные) дайки долеритов пересекают продуктивные рудно-минеральные комплексы, слабо гидротермально изменены (се-

рицит, хлорит) и, очевидно, с поздними растворами завершают процесс.

Пространственно-временные и причинно-следственные связи оруденения с производными базитового магматизма подчеркиваются накоплением в тыловых зонах (березитах) околорудных (рудовмещающих) метасоматических ореолов в ближнем обрамлении рудоконтролирующих глубинных и оперяющих их разломов ассоциации фемофильных элементов в составе Р, Ti, Mg, Fe, Ca, Mn в сочетании с K, восстановленными C и S [40, 41]. В контрастных аномалиях этих элементов содержания их в разы и десятки раз превышают содержания в исходных породах — архейских ультраметаморфитах Муйского выступа фундамента Сибирского кратона (Ирокиндинское месторождение) [40] и позднепалеозойских ультраметаморфитах Кедровского купола (Кедровское месторождение), в позднерифейских гранитах падоринского комплекса (Каралонское месторождение в Северном Забайкалье), в черных сланцах раннепротерозойской михайловской свиты (месторождение Чертово Кормыто), позднерифейских кедровской (Кедровское месторождение), водораздельной (Каралонское месторождение), хомолхинской, имнянской (месторождение Сухой Лог) свит [41]. По мере удаления от глубинных разломов содержания некоторых элементов, прежде всего титана и фосфора, снижаются до свойственных исходным породам кларковых уровней. Снижение согласуется с тенденцией уменьшения средних содержаний и запасов золота в рудах, что в сочетании служит признаком раствороподводящей функции рудоконтролирующих разломов.

Заключение

Приведенные факты расширяют и углубляют доказательства базальтогенной концепции образования гидротермальных месторождений золота, содержание которой заключается в следующем.

На раннем этапе функционирования в горячих точках мантии очагов базальтовых расплавов под воздействием поступающих из них высокотемпературных флюидов-теплоносителей на разных этапах земной коры плавится слагающий её субстрат с последующей кристаллизацией расплавов и образованием кислых plutonic пород. Не исключено образование последних и более поздних диоритоидов также посредством дифференциации базальтовых расплавов в промежуточных магматических очагах. Вещественных следов функционирования на этом этапе металлоносных растворов нигде не зафиксировано.

На позднем этапе процессов формирования антидомных флюидно-магматических комплексов повышение щелочности базальтовых расплавов сопровождается генерацией в них металлоносных флюидов, которые экстрагируют из расплавов серу, углерод, фосфор, металлы, которые определяют петрохимическое своеобразие базитовых магм (титан, магний и другие). Многократно чередующиеся

ся инъекции расплавов и металлоносных флюидов в верхние горизонты земной коры по глубинным и оперяющим их разломам завершаются образованием даек и отложением на физико-химических и термодинамических барьерах рудно-минеральных комплексов. Каналами для движения флюидов, вероятно, в верхних горизонтах земной коры служат также еще горячие массивные дайки — флюидопроводники, способные в соответствии с известным физическим эффектом [42] аккумулировать в горячем состоянии среди относительно холодных пород горячие растворы. Под воздействием последних дайки преобразуются в метасоматиты и в них кристаллизуются сравнительно высокотемпературные роговая обманка и биотит в случаях, когда температуры даек выше температур поступающих растворов. Часть растворенных веществ, в том числе золото, серебро, феофильные элементы, при этом оседают в образующихся аподолеритовых метасоматитах, обогащая их. Таким образом, роговая обманка и биотит для внутрирудных даек приобретают статус индикаторных. Очевидно, поступление в дайки и фильтрация металлоносных растворов в них происходит через

промежутки времени после внедрения расплавов и их затвердевания, в течение которых они не успевают остыть.

Таким образом, согласно полученным результатам, золотопроизводящие флюидно-магматические системы включают глубинные очаги умеренно щелочных базальтовых расплавов, глубинные разломы — каналы движения расплавов и генерируемых в очагах металлоносных растворов и верхнекоревые блоки рудообразования на уровнях создаваемых метеорными водами физико-химических и термодинамических барьеров.

Следующие из рассмотренных материалов магматический и петрохимический критерии пространственно-временных и причинно-следственных связей рудообразования с магматизмом в объеме антидромных гранит-диорит-долеритовых флюидно-магматических комплексов предлагается использовать в прогнозно-поисковой практике.

Работа выполнена при финансовой поддержке Федерального агентства по образованию. ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 годы». Гос. контракт № П238 от 23.04.2010 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Миронов А.Г., Жмодик С.М. Золоторудные месторождения Урик-Китойской металлогенической зоны (Восточный Саян, Россия) // Геология рудных месторождений. — 1999. — Т. 41. — № 1. — С. 54–69.
2. Жмодик С.М., Гравин А.В., Пономарчук В.А., Миронов А.Г., Морозова И.П., Киселева В.Ю. Pb-, S-изотопная систематика золоторудных месторождений юго-восточной части Восточного Саяна // Доклады РАН. — 1999. — Т. 366. — № 3. — С. 392–394.
3. Гусев А.И. Петрология золотогенерирующих гранитоидов Сибирского перикратонного металлогенического пояса // Материалы региональной конференции геологов Сибири, Дальнего Востока и Северо-Востока России. — Томск, 2000. — Т. 1. — С. 57–59.
4. Гамянин Г.Н., Бортников Н.С., Алпатов В.В. Нежданское золоторудное месторождение — уникальное месторождение северо-востока России. — М.: ГЕОС, 2000. — 230 с.
5. Гамянин Г.Н. Минералого-геохимические аспекты золотого оруднения Верхояно-Колымских мезозоид. — М.: ГЕОС, 2001. — 222 с.
6. Гамянин Г.Н., Горячев Н.А., Бахарев А.Г. и др. Условия зарождения и эволюции гранитоидных золоторудно-магматических систем в мезозоидах Северо-Востока Азии. — Магадан: СВ КНИИ ДВО РАН, 2003. — 196 с.
7. Степанов В.А. Зональность золото-кварцевого оруднения Центральной Колымы. — Владивосток: Дальнаука, 2001. — 70 с.
8. Сидоров А.А., Волков А.В. О золоторудных месторождениях в гранитоидах // Доклады РАН. — 2000. — Т. 375. — № 6. — С. 806–811.
9. Сидоров А.А. О золотоносности углеродистых метасоматитов // Доклады РАН. — 2001. — Т. 378. — № 2. — С. 218–220.
10. Лаверов Н.П., Дистлер В.В., Сафонов Ю.Г., Чернышов И.В., Юдовская М.А., Митрофанов Г.Л., Немеров В.К. Рудообразующая система золото-платинового месторождения Сухой Лог // Металлогения, нефтегазоносность и геодинамика Северо-Азиатского кратона и орогенных поясов его обрамления: Материалы II Всеросс. металлогенического совещания. — Иркутск, 1998, 25–28 августа. — Иркутск: ООО «Сантай», 1998. — С. 296.
11. Лаверов Н.П., Лишневецкий Э.Н., Дистлер В.В., Чернов А.А. Модель рудно-магматической системы золото-платинового месторождения Сухой Лог // Доклады РАН. — 2000. — Т. 375. — № 5. — С. 652–656.
12. Лаверов Н.П., Чернышов И.В., Чугаев А.В., Баирова Э.Д., Гольдман Ю.В., Дистлер В.В., Юдовская М.А. Этапы формирования крупномасштабной благороднометалльной минерализации месторождения Сухой Лог (Восточная Сибирь): результаты изотопно-геохронологического изучения // Доклады РАН. — 2007. — Т. 415. — № 2. — С. 236–241.
13. Лишневецкий Э.Н., Дистлер В.В. Глубинное строение земной коры района золото-платинового месторождения Сухой Лог по геолого-геофизическим данным (Восточная Сибирь, Россия) // Геология рудных месторождений. — 2004. — Т. 46. — № 1. — С. 88–96.
14. Чернышов И.В., Чугаев А.В., Сафонов Ю.Г., Сароян М.Р., Юдовская М.А., Еремина А.В. Изотопный состав свинца по данным высокоточного ICP MS метода и источники вещества крупномасштабного благороднометалльного месторождения Сухой Лог (Россия) // Геология рудных месторождений. — 2009. — Т. 51. — № 6. — С. 550–559.
15. Mustard R., Ulrich T., Kamenetsky V.S., Mernagh T. Gold and metal enrichment in natural granitic melts during fractional crystallization // Geology. — 2006. — V. 34. — № 2. — P. 82–88.
16. Самаркин Г.И., Самаркина Е.Я. Распределение золота в породах гранитоидных серий главного гранитного пояса южного Урала // Геохимия. — 2000. — № 8. — С. 869–880.
17. Шилин Н.Л., Кумеев С.С., Колосков А.В. Золото в калиевых полевых шпатах из интрузивных и метасоматических образований // Известия АН СССР. Серия геологическая. — 1986. — № 10. — С. 93–101.
18. Амузинский В.А. Геохимические особенности распределения золота в магматических породах Верхоянской антиклинальной зоны // Минералогия и геохимия производных гранитоидного магматизма. — Якутск: Институт геологии Якутского филиала СО АН СССР, 1981. — С. 89–98.

19. Зубков В.С. Роль мантийных углеводородов в металлогении литосферы // Металлогения, нефтегазоносность и геодинамика Северо-Азиатского кратона и орогенных поясов его обрамления: Материалы II Всеросс. металлогенического совещания. — Иркутск, 1998, 25–28 августа. — Иркутск: ООО «Сантай», 1998. — С. 48–49.
20. Абрамович И.И., Вознесенский С.Д., Маннафов Н.Г. Геодинамика и золотоносность Колымы (Россия) // Геология рудных месторождений. — 1999. — Т. 41. — № 1. — С. 43–53.
21. Русинова О.В., Русинов В.Л., Абрамов С.С., Кузнецова С.В., Висюта Ю.В. Околорудные изменения пород и физико-химические условия формирования золото-кварцевого месторождения Советского (Енисейский край, Россия) // Геология рудных месторождений. — 1999. — Т. 41. — № 4. — С. 308–328.
22. Остапенко Н.С. Основные факторы и механизмы эндогенной концентрации золота (на примере месторождений Приамурья): автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. — Благовещенск, 2007. — 46 с.
23. Томсон И.Н., Полякова О.П., Алексеев В.Ю., Баскина В.А. О двух типах углеродистых металлоносных пород // Геология рудных месторождений. — 2006. — Т. 48. — № 1. — С. 86–88.
24. Развозжаева Э.А., Прокофьев В.Ю., Спиридонов А.М., Мартихаева Д.Х., Прокопчук С.И. Благородные металлы и углеродистое вещество в рудах месторождения Сухой Лог (Восточная Сибирь, Россия) // Геология рудных месторождений. — 2002. — Т. 44. — № 2. — С. 116–124.
25. Русинов В.Л., Русинова О.В., Борисовский С.Е., Алышева Е.И. Состав метасоматических минералов золоторудного месторождения Сухой Лог как критерий его генетической связи с базит-гипербазитовым магматизмом // Доклады РАН. — 2006. — Т. 405. — № 5. — С. 661–665.
26. Кузьмин М.И., Ярмолюк В.В., Спиридонов А.И., Немеров В.К., Иванов А.И., Митрофанов Г.Л. Геодинамические условия формирования золоторудных месторождений Бодайбинского неопротерозойского прогиба // Доклады РАН. — 2006. — Т. 407. — № 6. — С. 793–797.
27. Злобин В.А. Новые данные о геохимических особенностях и петрологических связях камптонитовых даек в золоторудных провинциях Сибири // Доклады РАН. — 2000. — Т. 373. — № 6. — С. 805–808.
28. Русинова О.В., Русинов В.Л. Метасоматический процесс в рудном поле Мурунтау (Западный Узбекистан) // Геология рудных месторождений. — 2003. — Т. 45. — № 1. — С. 75–96.
29. Дистанов Э.Г., Сотников В.И., Оболенский А.А., Борисенко А.С., Берзина А.П., Ковалев К.Р. Главные факторы формирования крупных и уникальных месторождений мантийно-коровых рудообразующих систем // Геология и геофизика. — 1998. — Т. 39. — № 7. — С. 870–881.
30. Комаров П.В., Томсон И.Н. О плюмах и их влиянии на формирование благороднометалльного оруденения в углеродсодержащих породах // Доклады РАН. — 2007. — Т. 415. — № 6. — С. 779–781.
31. Кучеренко И.В. Пространственно-временные и петрохимические критерии связи образования золотого оруденения с глубинным магматизмом // Известия АН СССР. Серия геологическая. — 1990. — № 10. — С. 78–91.
32. Кучеренко И.В. Концепция мезотермального рудообразования в золоторудных районах складчатых сооружений южной Сибири // Известия Томского политехнического университета. — 2001. — Т. 304. — № 1. — С. 182–197.
33. Кучеренко И.В. Металлогения золота: приложение к мезотермальным месторождениям, образованным в несланцевом и черносланцевом субстрате горно-складчатых сооружений южной Сибири // Современные проблемы геологии и разведки полезных ископаемых: Материалы Междунар. конф., посвящ. 80-летию основания в Томском политехническом университете первой в азиатской части России кафедры «Разведочное дело». — Томск, 2010, 5–8 октября. — Томск: Изд-во ТПУ, 2010. — С. 241–256.
34. Шер С.Д. Жильные изверженные породы основного состава в районе р. Бодайбо и их соотношения с кварцевыми жилами // Труды Центрального научно-исследовательского геологоразведочного института. — 1959. — Вып. 4. — С. 104–114.
35. Кондратенко А.К., Шер С.Д. Метасоматические изменения жильных пород в Ленской золотоносной области и их возможное значение с точки зрения золотоносности // Вопросы геологии месторождений золота и золотоносных районов. — М.: ЦНИГРИ, 1968. — С. 312–314.
36. Кучеренко И.В., Грибанов А.П. Взаимоотношения дайковых образований с золоторудными кварцевыми жилами в Бериккульском рудном поле // Известия Томского политехнического института. — 1968. — Т. 134. — С. 153–158.
37. Кучеренко И.В. Петрологические и металлогенические следствия изучения малых интрузий в мезотермальных золоторудных полях // Известия Томского политехнического университета. — 2004. — Т. 307. — № 1. — С. 49–57.
38. Рундквист И.К., Бобров В.А., Смирнова Т.Н. и др. Этапы формирования Бодайбинского золоторудного района // Геология рудных месторождений. — 1992. — Т. 34. — № 6. — С. 3–15.
39. Лавров Н.П., Прокофьев В.Ю., Дистлер В.В. и др. Новые данные об условиях рудоотложения и составе рудообразующих флюидов золото-платинового месторождения Сухой Лог // Доклады РАН. — 2000. — Т. 371. — № 1. — С. 88–92.
40. Кучеренко И.В. О фосфор-магний-титановой специализации золотоносных березитов // Доклады АН СССР. — 1987. — Т. 293. — № 2. — С. 443–447.
41. Kucherenko I.V., Gavrilov R.Y. Femophilic elements in wallrock metasomatites and in ores of mesothermal gold deposits — newsletters of mantle deep // International Journal of applied and fundamental research. — 2011. — № 1. — P. 37–43.
42. Рундквист Д.В. О влиянии распределения температур горных пород на процессы метасоматического гидротермального минералообразования // Записки Всесоюз. минералогич. об-ва. — 1966. — Ч. 95. — Вып. 5. — С. 509–525.

Поступила 01.06.2012 г.