

УДК 553.41+669.21
ББК 26.325.14

Г. А. Юргенсон

Малоглубинные месторождения золота и серебра, условия образования и минералого-геохимическая технология их глубинных поисков и оценки

Дан анализ состояния проблемы малоглубинных месторождений золота и серебра, приведены основные сведения о важнейших месторождениях этой формации, обобщены современные данные об условиях их локализации, типоморфных признаках халцедоновидного кварца. На основе новых аналитических данных вычислены основные критерии поисков и оценки принадлежности его к надрудным зонам таких месторождений. Дана формула расчета индекса близости к эталону для оценки масштабов прогнозируемых новых объектов.

Ключевые слова: малоглубинное месторождение золота и серебра, халцедоновидный кварц, типоморфизм, надрудная зона, критерии поисков и оценки, индекс близости к эталону.

G. A. Yurgenson

Shallow Gold and Silver Deposits, Formation Conditions and Mineralogical-Geochemical Technology of their Abyssal Search and Estimation

The analysis of the problem of shallow gold and silver deposits is given, basic facts about the most important deposits of this formation are presented, up-to-date data for conditions of their localization, typomorphic characteristics of chalcedonic quartz are summarized. The main criteria of search and estimation of its belonging to above-ore zones of such deposits are determined on the basis of new analytical findings. The formula of proximity to the standard index calculation for estimation of the scale of predictable new objects is given.

Key words: shallow gold and silver deposit, chalcedonic quartz, typomorphism, above-ore zone, criteria of search and estimation, proximity to the standard index.

Крупные и уникальные месторождения золота и серебра, относимые к малоглубинной золото-серебряной формации (МЗСФ) [2; 14; 17], отличаются высоким содержанием этих металлов при крупных запасах (до 400 т, Балеиско-Тасеевское месторождение; Криппл-Крик, США, свыше 600 т – В. И. Смирнов, по Линдгрэну, 1935 [5]), относительно простым минеральным составом, хорошей обогатимостью с использованием процессов извлечения металла современными методами, возможностью открытой разработки в связи с незначительным (170–350 м) размахом глубин нахождения промышленного оруденения [9; 14].

Они обладают крупными запасами при стабильно высоких содержаниях золота и серебра (Балеиско-Тасеевское, Дукатское, Карамкенское, Многовершинное, Агинское и др. в России; месторождения Трансильвании, Калифорнии, Колорадо, Мексики [5; 20], Японии [21], Индонезии, Новой Гвинеи [22] и др.). Например, за достаточно короткий период эксплуатации (1929–1993 гг.) Балеиско-Тасеевское месторождение дало около 400 т золота при среднем содержании 20,5 г/т. При этом на отдельных участках содержание металла достигало 78–346 кг/т. Трехзначные содержания были довольно обычным явлением. В недрах этого месторождения числится еще более 140 т золота. Эти особенности месторождений МЗСФ определяют предпочтительность их локального прогноза и поисков. Структурно-текстурные особенности строения и минеральный состав руд позволяет успешно прогнозировать их технологические свойства. Большинство эксплуатируемых месторождений этой промышленно важной формации открыто в результате опробования свалов халцедоновидного жильного кварца на открытой местности.

Геолого-структурная позиция, условия локализации, особенности руд. Особенности геолого-структурной позиции, условий локализации и руды этих месторождений достаточно хорошо изучены [2; 3; 4; 5; 9; 10; 14; 21; 22]. После того, как были открыты и изучены широко известные месторождения США, Мексики, Румынии, Забайкалья, северо-востока России, Средней Азии и Узбекистана, выявилось достаточно широкое разнообразие условий их локализации. Тем не менее, главным геолого-структурным признаком их появления является сочетание жесткого фундамента, на котором залегают вулканогенные или вулканогенно-осадочные толщи, и вулканогенных построек.

Рудоносные кварцевые жилы могут находиться как в горных породах фундамента (Крипл-Крик, собственно Балеysкое месторождение), так и вулканогенных (Карамкенское) и вулканогенно-осадочных образованиях мезозойского возраста (Тасеевское месторождение).

Многолетний опыт изучения этих месторождений показал, что они являются продуктами эволюции близповерхностных вулканогенных рудно-магматических систем. Месторождения этой формации связаны главным образом с наземным, преимущественно андезит-дацитовым, вулканизмом зон субдукции в рифтогенных впадинах, а также с щелочными и трапповыми магматическими формациями активизированных платформ.

Среди них наиболее характерны месторождения, приуроченные к жерлам вулканов и их периферии. Им свойственны конические, кольцевые, трубчатые внутрижерловые и радиально-трещинные внежерловые структуры [2; 3; 4]. Известны также месторождения, контролируемые разломами в лавовых и пирокластовых эффузивных породах. Рудные тела имеют форму жил, труб и штокверков. Размеры их переменны, часто они не крупные (первые сотни метров), быстро выклиниваются с глубиной, но нередко сложены очень богатой рудой, образующей скопления, или так называемые «бонанцы».

Чаще всего они расположены среди андезит-дацитовых пород, обычно в виде пучков жил [4], прорезающих вулканические жерла, например в месторождении Нагиаг в Венгрии. Здесь рудоносные кварцевые жилы прорывают жерловую фацию вулканической постройки и нект, выходя на дневную поверхность. Сверху они окислены и представлены охрами.

Руда обычно состоит из кварца, халцедона, опала, адуляра, карбонатов с пиритом, марказитом, халькопиритом, галенитом, сфалеритом, аргентитом, стефанитом, полибазитом, золотом, серебром, сульфосолями и другими более редкими минералами.

В Забайкалье классическим примером месторождений МЗСФ является Балеysко-Тасеевское. Геологическое строение месторождения, особенности его руд достаточно полно освещены в литературе [2; 4; 9; 15; 17 и др.]. Рудные объекты МЗСФ в Балеysком рудном районе приурочены к Ундинской депрессионной зоне, совмещенной в пределах района с зоной регионального глубинного Борщовочного разлома. По результатам определения абсолютного возраста адуляра из балеysких золоторудных жил калий-аргоновым методом (120–114 млн лет) и датировки вмещающих и перекрывающих пород палеонтологическими методами, время образования рудных объектов балеysкого типа приходится на позднеюрский-раннемеловой период развития Забайкалья. Заложение и максимум активности рудоконцентрирующих структур связано со структурной перестройкой, означающей начало этой стадии.

Весь Балеysкий рудный узел, включающий Балеysкую вулкано-купольную структуру, находится в обрамлении древних метаморфических толщ кулиндинской свиты. По данным В.Д. Пампуры [2], они обогащены золотом ($0,37-2,06 \times 10^{-2}$ г/т), ртутью (до $4,2 \times 10^{-2}$ г/т). В результате их ультраметаморфических преобразований и могли образоваться золотоносные магмы.

В поздней юре на северо-западе Шадоронского прогиба возникает Ундино-Даинская кальдера обрушения, выполненная вулканогенно-осадочными отложениями ундино-даинской серии, содержащей опалиты. Седиментация, по данным С. М. Саница,

в ундино-даинское время происходила в озерах кальдеры, кластический материал поставлялся реками, к которому примешивался эоловый пирокластический материал, а также образования сольфатар и фумарол (опалиты). Грабены, наложенные на кальдеру и отчасти на Шадоронский прогиб, выполнены конглобрекциями, конгломератами, песчаниками, алевролитами. Отложения выделены С. М. Сеница в лесковскую толщу трехчленных циклитов конца юры – начала мела.

Балейско-Тасеевское малоглубинное месторождение золота и серебра приурочено к Балейскому грабену, выполненному континентальными отложениями, и являющемуся частью Ундино-Даинской депрессии. Золотое оруденение приурочено к этапу грабенообразования. Система рудовмещающих структур Балейского рудного поля, образующая близповерхностную структурную ловушку для золотоносных водо-силикатных расплавов, сформировалась на пересечении нетипичных купольно-складчатых дислокаций грабена и типичных дизъюнктивных нарушений, окаймляющих Борщовочный массив и Дутурульский блок, представляющих собою сочетание структурных элементов северо-западного фланга зоны высокой тектоно-магматической активности в пределах кристаллического фундамента и элементов локальной Балейской вулcano-купольной кольцевой структуры.

Основание и обрамление грабена сложены гранитоидами ундинского комплекса (карбон) и вулканитами (юра). Гранитоиды являются фундаментом рудного поля. В северной части рудного поля они имеют состав диоритов и кварцевых диоритов, к югу постепенно переходят в гранодиориты. Вулканиты залегают полосой широтного направления по южному краю грабена. В основном, это породы андезитового состава (лавы, лавобрекчии, разнообразные пирокластические образования от глыбовых туфобрекчии до тонкозернистых туфов). Развиты также породы дацитового состава, конгломераты, песчаники, алевролиты. Мощность толщи вулканитов в пределах рудного поля не превышает 200 м. Заполнен грабен, главным образом, терригенными осадочными образованиями (поздняя юра, ранний мел).

В структуре Балейского штокверка, собственно Балейского месторождения, большую роль играют пологие зоны. Они простираются согласованно и в плане образуют концентрическую систему. Углы падения их варьируют в широких пределах, азимут падения варьирует, но в целом оно направлено от центра системы, образуя купольную структуру. Ее центральную часть занимает шток лейкократовых гранитов. Положение штока и то, что направление концентрических зон согласуется с его конфигурацией, несомненно, свидетельствует о генетической связи формирования купола и внедрения штока гранитов [17].

Балейское месторождение представляет собою, скорее всего, приподнятый и потому лишь в нижней части сохранившийся фрагмент Балейско-Тасеевского месторождения (рис. 1). Несмотря на то, что традиционно принято считать Балейское и Тасеевское месторождения разными промышленными объектами, они составляют лишь части единого месторождения. Какой была верхняя, съэродированная, часть собственно Балейского месторождения, можно предполагать, лишь сопоставляя ее с локализованным в вулcanoгенно-осадочной толще Тасеевским месторождением.

Среди рудных тел и их сообществ выделяются 2 группы. Первая – рудные тела в каркасных трещинах купольных структур (собственно Балейское месторождение). Вторая (Тасеевское месторождение) – рудные тела в разломах, пересекающих купольные структуры. Рудные тела в них более мощные и протяженные. В разломах рудные тела имеют сравнительно простую форму. В многошовных зонах разломов они представляют собой прожилково-жилые серии. Ширина рудных зон этого типа 100–200 м, протяженность по простиранию от 600 м до 4 км. Особенности строения их в том, что они обычно имеют главное рудное тело (стволовую жилу) и многочисленные сопровождающие маломощные жилы, апофизы, серии прожилков. Стволовые жилы с апофизами секут гранодиориты ундинского комплекса, залегающие на них андезиты шадоронской серии, а также две терригенные толщи балейской свиты мелового возраста, надрудные кон- и фангломераты и зону

гейзеритов и опалитов. По направлению к поверхности в породах с меньшей прочностью число ветвящихся прожилков увеличивается, а мощность уменьшается вплоть до появления волосяных прожилков. По восстанию минерализация в сколовых трещинах выклинивается до полного исчезновения (рис. 1, 2). Далее прослеживаются лишь швы дизъюнктивных нарушений. Несмотря на относительно большую протяженность (до 400–600 м) существенно кварцевых жил по падению, присутствие золота и других рудных элементов на всем их протяжении, повышенные (промышленные) их концентрации приурочены только к определенному гипсометрическому уровню и ограничены интервалом 250–300 м по вертикали (рис. 2). В пределах контура зоны промышленного оруденения содержание золота возрастает от флангов жилы к ее срединной части, где оно может превышать среднее содержание по всей зоне рудных столбов в 20 и более раз.

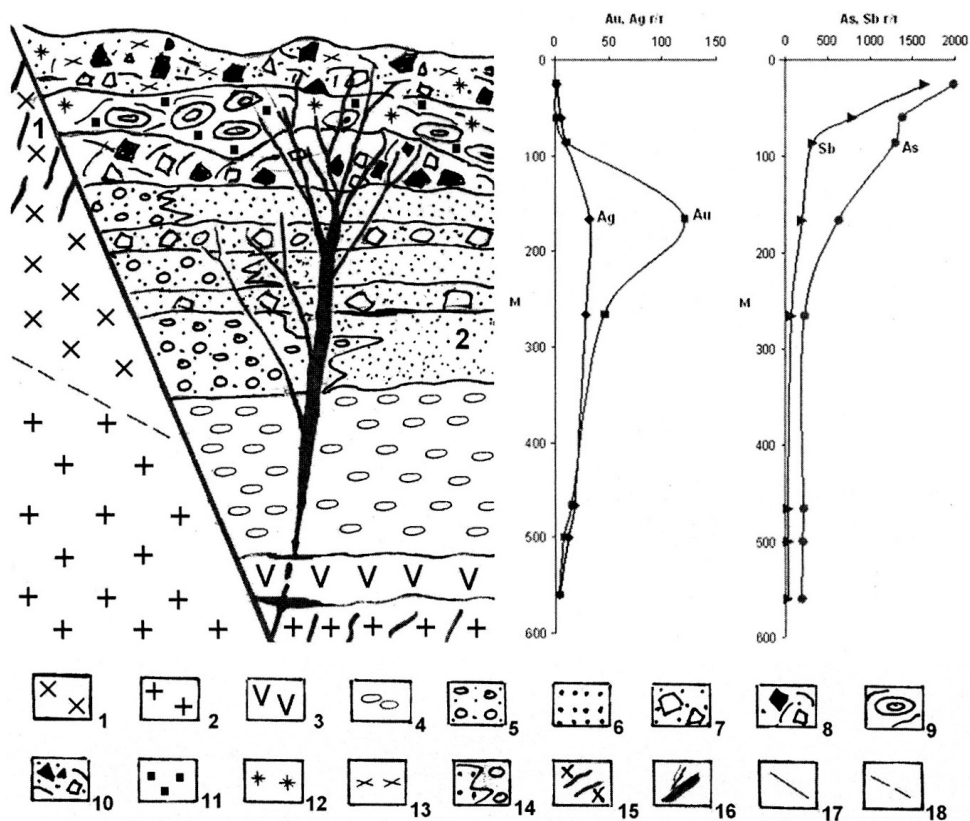


Рис. 1. Разрез БалеЙского (1) и Тасеевского (2) месторождений:

- 1 – гранодиориты, вмещающие БалеЙское месторождение, 2 – палеозойские ундинские граниты фундамента БалеЙского грабена в основании Тасеевского месторождения, 3 – юрские вулканиты шадоронской серии, 4 – верхнеюрские конгломераты тургинской свиты, 5 – мелкогалечные конгломераты, гравелиты и песчаники, 6 – песчаники, 7 – конгломерато-брекчии, 8 – вулканические брекчии, сцементированные опал-халцедоновым материалом, 9 – гейзериты и опалиты, 10 – брекчированные опалиты и гейзериты с пирит-мельниковитом, аурипигментом, реальгаром, антимонитом, 11 – пирит-мельниковит, 12 – антимонит, 13 – аурипигмент и реальгар, 14 – фациальные границы, 15–16 – золоторудные жилы месторождений: 15 – БалеЙского, 16 – Тасеевского, 17–18 – тектонические границы: 17 – установленные, 18 – предполагаемые

Минералогия руд БалеЙского рудного поля детально изучена [2; 9; 13; 15]. Основную долю объема жильного выполнения составляет кварц (50–99 %). Постоянно в разном количестве встречаются карбонаты (0,1–20 %, кальцит, доломит, анкерит), глинистые минералы (0,1–20 %, каолинит, диккит, гидрослюда, монтмориллонит и др.); преимущественно в промышленных участках жил присутствует адуляр (0,1–20 %). Рудные минералы, наряду с золотом, представлены сульфидами и сульфосолями железа (пирит, марказит, бертьерит), мышьяка (арсенопирит), меди (халькозин, халькопирит, бурнонит), серебра

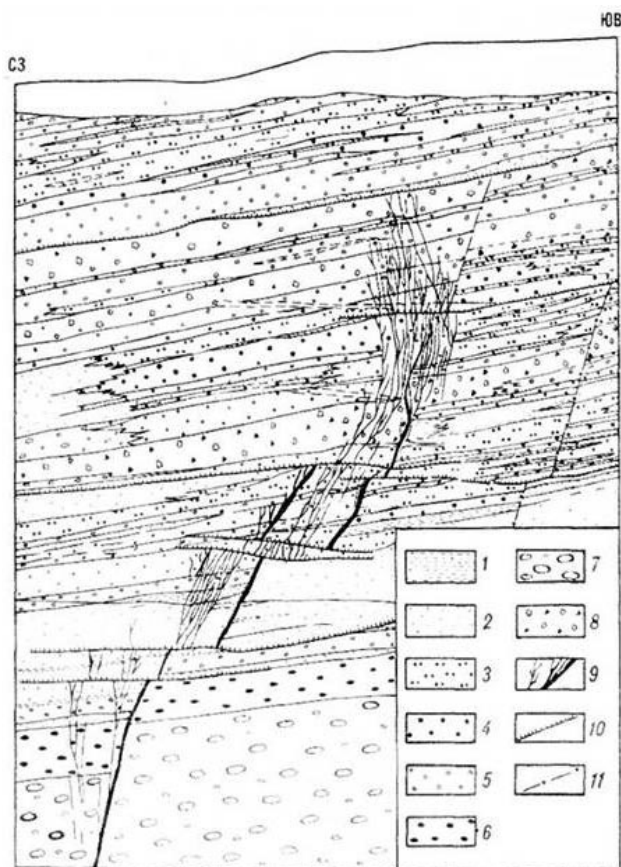


Рис. 2. Разрез жильной зоны сложного строения, не достигавшей дневной поверхности во время формирования Тасеевского месторождения. Верхние и средние горизонты в осадочной толще. По В. Г. Хомичу [2]:

1 – алевролиты и аргиллиты; 2–4 – песчаники: 2 – мелкозернистые, 3 – среднезернистые, 4 – крупнозернистые; гравелиты; 6–7 – конгломераты; 6 – мелко- и среднегалечные, 7 – крупногалечные, с валунами; 8 – осадочные брекчии и конгломерато-брекчии; 9 – золоторудные жилы; 10 – пологие нарушения; 11 – крутопадающие разрывы

пород, залегающих в виде асимметричных сильно уплощенных конусовидных тел над верхними частями рудных зон. Резкий переход от озерных алевролитов и аргиллитов к конгломератам, содержащим в цементе вулканомиктовый материал, свидетельствует о вулcano-тектонической активизации с образованием трубчатых приповерхностных тел взрывно-инъекционных брекчий. Эти образования, в зависимости от палеорельефа местности в предновотроицкое время, частью формировались на дневной поверхности или в непосредственной близости от нее, как это показало изучение надрудной зоны, вскрытой Опытным карьером, а также и на некотором удалении от нее (рис. 1 и 2), где густая сеть тонких прожилков халцедоновидного кварца и опала пронизывает вмещающие песчанниково-глинистые породы. При этом создается впечатление формирования метасоматитов. Они рассматривались нами даже как предрудные метасоматиты [7].

Изучение обнаженных в Опытном карьере горных пород и секущих их опал-халцедоновых и халцедон-кварцевых жил показало, что в юго-западной части Опытного карьера присутствуют полосчатые породы, представляющие собою переслаивания опаловидного кварца и песчано-глинистого материала, содержащего пепловые частицы и обломки терригенных горных пород, слагающих верхнюю часть балеysкой свиты, а также обломки кварцевых жил, кварц-турмалиновых и других, аналогичных тем, что слагают рудные

(пираргирит, миаргирит, фрейбергит, стефанит), сурьмы (антимонит, тетраэдрит); в меньшей мере свинца (галенит, геокронит) и цинка (сфалерит); спорадически теллуридами серебра (гессит), золота (калаверит), висмута. Количество сульфидов в балеysких рудах в среднем равно 0,5–1,5 %, лишь изредка оно достигает 3–5 %.

Золото наиболее часто ассоциируется с блеклой рудой (главным образом, серебряной – фрейбергитом) и сульфосолями серебра (прустит и пираргирит) и меди (теннантит-тетраэдрит). Из числа промышленно важных рудных минералов золото является самым распространенным минералом. Постоянный спутник золота – серебро. Отношение золота к серебру в пределах рудных столбов колеблется от 1:2 до 3:1, составляя в среднем 1,5:2,1. За пределами обогащенных участков преобладают соотношения 1:2 – 1:4. Максимальное содержание золота в жиле № 28 достигало 346 кг/т.

Палеорекострукции Балеysкой впадины, выполненные Ю. И. Симоновым и В. Г. Хомичем [2] для начала нижненовотроицкого времени, показали, что именно к этому отрезку геологической истории приурочено функционирование рудно-магматической системы, породившей весь сложный комплекс золоторудных жил, гидротермально измененных и кремнистых

тела месторождений золота, известных в бортах Ундино-Даинской депрессии (Среднеголотайского, Сосновского, Майского, Фатимовского и других), имеющих юрский возраст.

Все это свидетельствует о том, что по крайней мере юго-западная часть толщи кремневидных тел, считающихся метасоматическими образованиями, представляет собою частью гейзериты (этот термин для верхнерудных кремневидных тел был предложен в 50-х гг. В. М. Ляхницким), частью продукты затвердевания существенно силикатного грязевого потока на поверхности, частью продукт осаждения его в водоеме, образованном деятельностью изливавшихся на дневную поверхность гидротерм, обогащенных кремнеземом и рудными элементами. Скорее всего, они представляют собою своеобразные продукты высокотемпературных существенно кремнеземных потоков из грязевого вулкана.

В северо-восточной стенке карьера обнажены самые верхние фрагменты ветвящейся стволовой жилы наиболее продуктивной I-й рудной зоны. Она представляет собою надрудную часть уникального Балейско-Тасеевского золото-серебряного месторождения. Впервые выявлено, что она сложена толщей конглобрекчий с пепловым, туфовым и опал-халцедоновым цементом, дресвяниками и туфопесчаниками, перемежающимися с глинисто-кремнистым пачками, содержащими специализированные на As, Sb, Ag, Au и Hg (рис. 1) опалиты и гейзериты. Установлено, что она сформирована в результате вулканической деятельности в непосредственной близости от дневной палеоповерхности в кальдере обрушения, выполненной вулканогенно-осадочными образованиями, коррелируемыми по органическим остаткам с тургинской свитой позднеюрского – раннемелового возраста (120 млн л. н.). Содержание большинства элементов-примесей в кварце здесь меньше среднего по I-й рудной зоне: золота в 16 раз, серебра в 2,5 раза, меди в 2,2 раза, свинца в 3,1 раза, цинка в 3,7, лития в 2,7; больше: мышьяка в 9,5, сурьмы в 9,6, натрия в 1,3 раза.

Опалиты и гейзериты, залегающие субсогласно со стратифицированными осадками, секутся верхними выклинивающимися частями продуктивных на золото и серебро жил опал-халцедонового кварца. Он характеризуется величинами соотношения воды и углекислоты (до 86, давление 1–10 МПа) и степени совершенства их кристаллического строения (19–26), типичными для приповерхностных условий, а также критическими значениями всех типоморфных признаков рудоносности кремнезема малоглубинной формации [1; 13; 15]. В верхних, надрудных зонах жил накапливается As, Sb, Te, As, Sb, Hg (рис. 1), уменьшаясь с глубиной, а внизу преобладает S, Cu, Sn, W, Co, Bi. В нижнерудных зонах наблюдается тенденция к накоплению свинца и связанного с ним серебра.

Месторождения золото-серебряные с теллуридами и селенидами, известные в аналогичных по возрасту и составу эффузивах в США (Крипл-Крик в Колорадо), в Мексике (Тойона и др.), Японии, Индонезии, Румынии (Тальжибанья) залегают среди пропилитизированных пород. На месторождении Крипл-Крик четко проявлена система радиально расходящихся жил, залегающих как в лавовом покрове, так и в перекрытых им древних гранитах. При этом рой жил нередко сопровождается дайками лампрофиров и гранодиорит-порфиров. Жилы сложены пиритом, марказитом, стибнитом, аргентитом, пираргиритом, полибазитом, находящимся в ассоциации с золотом, серебром и их теллуридами, реже селенидами (калаверит, креннерит, сильванит гессит, петцит и др.), кварцем, халцедоном, адуляром, флюоритом и кальцитом [5; 20].

К типичным вулканогенным месторождениям относится Карамкенское, находящееся в 100 км от Магадана на северо-востоке России. Здесь богатые золотом и серебром, с теллуридами олова и серебра адуляр-кварцевые жилы уже на глубине 250–300 м переходят в карбонатные жилы.

Кроме этих классических месторождений малоглубинной золото-серебряной формации в последние годы в Забайкалье выявлены новые их разновидности, отличающиеся присутствием флюорита [16]. Проявления малоглубинной золото-сульфидно-флюорит-кварцевой формации локализованы в структурах обрамления впадин забайкальского типа. Они известны в зоне северного замыкания Кручининской депрессии, непосредственно в гранито-гнейсах и биотитовых сланцах раннепалеозойского возраста в структурах ее

обрамления. Золотое оруденение обнаружено непосредственно на южном фланге флюоритоносной Главной жилы Верхнекручининского месторождения флюорита. В структурах обрамления Ундино-Даинской депрессии, за пределами Балейского грабена, известны золото-сульфидно-флюоритово-кварцевые проявления – гора Налимиха, гора Монастырская, участок водораздела падей Кочниха-Харина и др. Кварцево-флюоритовая минерализация известна также и в верхних частях среднеглубинного Фатимовского месторождения золота в Балейском рудном районе в структурах обрамления Ундино-Даинской депрессии. Месторождение разрабатывалось в первой половине XX в. Известны они и на территории Бурятии. Особенностью этой формации является сочетание халцедоновидного до мелкозернистого кварца с флюоритом и сульфидами. Золото и серебро находятся как в пирите в форме петцита, так и в виде тонких включений в кварце и сульфидах в самородном виде, а серебро также в аргентите [15].

Эта минерализация отличается от обычных проявлений месторождений среднеглубинной золото-сульфидно-кварцевой формации относительно повышенной сереброносностью ($Au/Ag = 0,12 - 0,34$), хотя в случаях относительно высоких концентраций золота эта величина больше единицы и достигает 2,16 (гора Налимиха). Главными рудообразующими минералами являются кварц, в большинстве случаев халцедоновидный, пирит и слоистые силикаты – дикцит, каолинит и гидрослюды. Флюорит присутствует в количествах от 2–5 % до 25–35 %. Пирит присутствует во всех пробах; антимонит – в 50 % проб; галенит, киноварь отмечается достаточно часто. Пирит и антимонит образуют индивиды до 0,3–0,5 см, реже – крупнее. В зоне окисления отмечены гетит и гидрогетит, ярозит, бисмутит. Эрозией вскрыты относительно слабо золотоносные верхнерудные и надрудные части месторождений. Поэтому содержание золота в них достигает лишь 6,1 г/т, в среднем составляя 0,11–2,06 г/т, а серебра до 17,8 г/т, в среднем составляя 0,34–3,1 г/т. Содержание мышьяка составляет в среднем (г/т) от $x = 142$ при $\sigma = 105$ до $x = 2398$ при $\sigma = 2407$; сурьмы – от $x = 275$ при $\sigma = 171$ до $x = 3248$ при $\sigma = 3473$. Среднее содержание (%) K_2O находится в пределах 0,11...0,88; $Na_2O - 0,017...0,048$; $Li_2O - 0,006...0,022$. Средние значения K_2O / Na_2O по объектам находятся в пределах 6,2...18,1, что типично для малоглубинных формаций.

Верхняя часть пирит-флюорит-кварцевой жилы Верхнекручининского месторождения, в которой установлена золото-серебряная минерализация, характеризуется разнообразием колломорфных и брекчиевых текстур. Отмечены ритмично-слоистые постройки, состоящие из чередования слоев токозернистого кварца с меняющимся содержанием включений кубических кристаллов флюорита различных оттенков фиолетового цвета. Размеры их 0,01...0,1 мм. Кварц содержит ксеноморфные и клиновидные включения адуляра. В приконтактной части жилы преимущественно развиты стильпномелан-иллитовые породы, содержащие вкрапленность кристаллов пирита и их сростков. Электронно-микроскопические исследования этих пиритов показали присутствие в них микровключений петцита, однозначно диагностированные расшифровкой электронограмм [15; 16; 19].

В последние годы месторождения и проявления малоглубинной золото-серебряно-сульфидно-флюорит-кварцевой формации (минерального типа) обнаружены в Казахстане [11].

В 2009 г. в Северо-Восточной Монголии в пределах Их-Дагаайского блока выявлено оруденение пирит-кварцевого минерального типа малоглубинной золото-серебряной формации. Здесь вскрыты жильные зоны с содержанием золота до 4,2 г/т и серебра до 50,3 г/т при среднем содержании 5,9 г/т и среднеквадратичном отклонении до 11,36. Жилы сложены неоднократно брекчированным кварцем. Самый ранний имеет типичное для месторождений МЗСФ ритмично-полосчатое строение. Он интенсивно передроблен и рассечен поздним массивным кавернозным с мелкими (1–5 мм) полостями, выполненными кристалликами кварца и тонкочешуйчатым агрегатом муковита и гидрослюды. Золото связано с пиритом пентагон-додекаэдрического габитуса, интенсивно окисленного. Термовесовым анализом установлено, что максимум температуры выхода воды составляет 263–265 °С. Это является одним из критериев отнесения кварца к объекту МЗСФ. При этом на термограммах четко проявлено два интервала $\alpha \leftrightarrow \beta$ перехода кварца: 548–549,5 °С и 573–573,5 °С.

Первый типичен для халцедоновидных кварцев месторождений МЗСФ. Проведенные в 2010 г. буровые работы показали продолжение жильных зон до глубин 150 м.

Основы минералого-геохимической технологии локального прогноза. В основу технологии положен усовершенствованный «Способ поисков и разведки близповерхностных кварц-золото-серебряных месторождений» по А.с. № 1189244. [1; 13]. В технологии использованы количественные минералого-геохимические критерии принадлежности тонкозернистого, халцедоновидного и опаловидного кварца к надрудным частям месторождений золота и серебра, полученные в результате минералогического картирования и сравнительного изучения состава и свойств жильного кварца и продуктивных минеральных комплексов более 100 месторождений различных рудных формаций на основе явления типоморфизма [1; 13; 15; 19].

Технология позволяет оценивать масштабы месторождения на основе индекса близости к эталону, за который приняты крупные хорошо изученные объекты. Ранее прогноз и поиски месторождений, подобных Балейско-Тасеевскому, строился в основном на использовании геолого-структурных и магматических факторов. Учитывались данные ореольной геохимии, а также особенности состава и строения рудоносных кварцевых жил. Для этого использовалось более 100 различных признаков. Но, как показывает безуспешный опыт поисков аналога Балейско-Тасеевского месторождения в Забайкалье в течение 40 лет, в основу его технологии были положены не важнейшие критерии, а лишь их набор без выделения главных, непосредственно связанных с особенностями геодинамических и физико-химических процессов формирования этих месторождений. Поиски таких месторождений в последней четверти XX в. проводились и на территории Республики Бурятия в Хилок-Чикойской, Боргойской, Тугнуйской, Гусиноозерской и других впадинах забайкальского типа. В их пределах известно множество проявлений золота, связанного с халцедоновидным кварцем. В отдельных сечениях установлено даже содержание золота до 10,8 г/т. Однако все попытки получить на изучавшихся участках, прежде всего Петропавловского (Алтачейского) проявления, промышленный объект были безуспешными. Геологоразведочные работы на так называемый балейский тип проводились в 1950–1960-х гг., когда еще не были известны однозначные критерии отличия кварцево-жильных образований МЗСФ от всех других. Не были известны и критерии отличия надрудных зон месторождений этой формации от непродуктивных подрудных, разработанные автором лишь в 1984–1987 [1; 12; 13; 18] и усовершенствованные в 2002–2008 гг. [15; 16].

С целью разработки минералого-геохимических критериев локального прогноза, использовано явление типоморфизма минеральных тел и выработана последовательность НИР, включающая выявление количественных типоморфных признаков, характеризующих принадлежность изучаемого объекта: 1) к определенной рудной формации; 2) фации глубинности; 3) минеральному типу; 4) к надрудной, рудной или подрудной зоне возможного месторождения. После выполнения этих операций производится оценка масштабов возможного месторождения на основе расчета индекса близости к эталону, за который принято типичное крупное месторождение МЗСФ.

Методология решения задачи заключается в разработке факторов и критериев выявления среди множества зон окварцевания, сульфидизации и других метасоматических образований, имеющих непосредственное отношение к надрудным зонам промышленных месторождений МЗСФ.

В основу разработки минералого-геохимических критериев локального прогноза положена геолого- и минералого-генетическая модель рудоносных кварцевых жил, образующихся в результате эволюционной самоорганизации водно-силикатного расплава, характеризующегося следующими свойствами: высокой (до 87 % H_2SiO_3 - и 68–73 мас. %-экв. NaCl) концентрацией, обязательным присутствием летучих (CO_2 , F, Cl, S, As, Te, N и др.), рудных элементов, содержание которых соизмеримо с таковым в кварцевых жилах, и щелочных металлов (K, Na, Li, Cs, Rb); высокой плотностью (до 1,9–2,1 г/см³) и вязкостью; верхним пределом температуры выше 573 °С; верхним пределом давления не менее 450 МПа [12; 15].

Глубина залегания надрудной зоны таких месторождений должна быть не более 400–500 м от палеоперехности Земли во время рудообразования, а вертикальный диапазон промышленного оруденения до 300–350 м. Нижняя граница рудной зоны около 600–700 м от палеоперехности. Каждая из дискретных жил, или жильных зон, формируется из одноактно внедряющейся в зону разуплотнения вмещающих пород порции водно-силикатного расплава, глубина раскристаллизации которого зависит от его массы, кинетической энергии и физико-механических свойств находящихся на фронте его движения горных пород. Рудные столбы вытянуты по латерали. Для жил характерна субконцентрическая симметрично-асимметричная высокоградиентная вертикальная зональность [14]. К критериям прогноза, непосредственно связанным с приведенными выше характеристиками рудообразующей системы, относятся: критические концентрации K_2O , золота и серебра, K_2O/Na_2O , K_2O/Li_2O ; температурный диапазон выхода воды при нагревании; параметры естественной термолюминесценции. Эти признаки используются для отнесения халцедоновидного кварца к объекту МЗСФ [1; 13; 18]. Минеральный тип определяется по присутствию адуляра, минеральных видов слоистых силикатов, сульфидов, сульфосоей, теллуридов и др. [13; 15]. В связи с тем, что халцедоновидный кварц распространен чрезвычайно широко и далеко не всегда имеет отношение к месторождениям золота и серебра, а макроскопически определить его отношение к интересующим нас месторождениям невозможно, проведен анализ данных о его свойствах, которые приведены на рис. 3; 4.

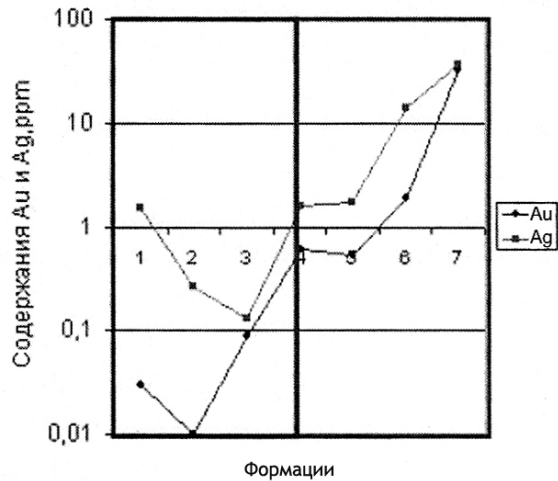


Рис. 3. Содержания золота и серебра в жильном кварце различных формаций:

1–3 – **среднеглубинные**: золото-кварцевая и золото-сульфидно-кварцевая, собственно флюоритовая формации; 3 – ртутно-сурьмяно-флюоритовая;

4–7 – **малоглубинные**: 4 – золото-кварцево-флюоритовая; 5 – опал-халцедоновый материал надрудной зоны Тасеевского месторождения; 6 – халцедон-кварцевые тонкие жилы надрудной зоны Тасеевского месторождения; 7 – рудная зона Тасеевского месторождения

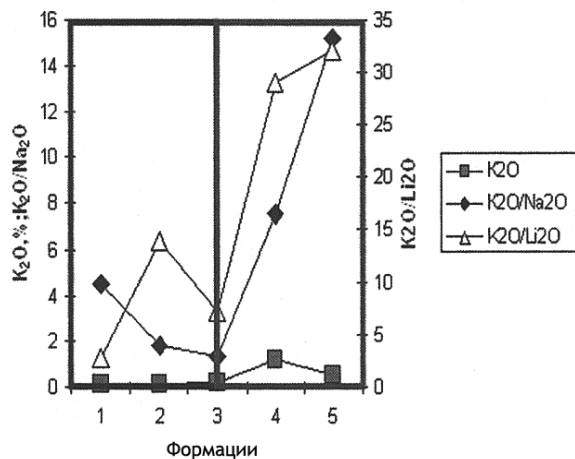


Рис. 4. Содержание калия, натрия и лития в жильном кварце различных формаций:

1–3 – **среднеглубинные**: золото-кварцевая и золото-сульфидно-кварцевая; 2 – собственно флюоритовая формации; 3 – ртутно-сурьмяно флюоритовая;

4–5 – **малоглубинные**: золото-кварцево-флюоритовая; 5 – золото-серебряная

Для жил характерна субконцентрическая симметрично-асимметричная высокоградиентная вертикальная зональность [14]. К критериям прогноза, непосредственно связанным с приведенными выше характеристиками рудообразующей системы, относятся: критические концентрации K_2O , золота и серебра, K_2O/Na_2O , K_2O/Li_2O ; температурный диапазон выхода воды при нагревании; параметры естественной термолюминесценции. Эти признаки используются для отнесения халцедоновидного кварца к объекту МЗСФ [1; 13; 18]. Минеральный тип определяется по присутствию адуляра, минеральных видов слоистых силикатов, сульфидов, сульфосоей, теллуридов и др. [13; 15]. В связи с тем, что халцедоновидный кварц распространен чрезвычайно широко и далеко не всегда имеет отношение к месторождениям золота и серебра, а макроскопически определить его отношение к интересующим нас месторождениям невозможно, проведен анализ данных о его свойствах, которые приведены на рис. 3; 4.

Оценка принадлежности к МЗСФ и масштабов оруденения производится расчетом величины индекса близости к эталону, за который принимается разведанное или обрабатываемое крупное месторождение, по формуле [13; 15]:

$$I_{\sigma_y} = \frac{1}{m} \sum \left[\frac{\bar{\sigma}_i - \bar{\sigma}_y}{\sigma_y} \right]^2,$$

где \bar{x}_0 и \bar{x}_y – среднеарифметические значения типоморфных признаков, соответственно, одного из объектов и эталона;

σ_y – среднеквадратичное отклонение численных значений признаков эталона;

I_{σ_y} – индекс близости к эталону;

m – число учтенных признаков.

Полученные в результате расчетов данные оформляются в виде таблиц, в которых приводится весь процесс вычисления индекса близости к эталону. Для эталона он равен нулю. Чем меньше вычисленный индекс конкретного оцениваемого объекта, тем больше вероятность его близости к эталону, масштабы и запасы руды в котором известны.

Список литературы

1. А.с. 1189244 СССР. Способ поисков и разведки постмагматических близповерхностных кварц-золото-серебряных месторождений / Г. А. Юргенсон. №3709613/24-254; заявлено 11.03.84.
2. Балеиское рудное поле. М.: ЦНИГРИ, 1984. 269 с.
3. Бэтман А. М. Промышленные минеральные месторождения. М.: ИЛ, 1949. 284 с.
4. Иванкин П. Ф. Основные черты процесса формирования субвулканических золото-серебряных месторождений / П. Ф. Иванкин [и др.] // Советская геология. 1979. № 3. С. 32–44.
5. Линдгрэн В. Месторождения золота и платины. М.; Л.: Цветметиздат, 1932. 432 с.
6. Ляхов Ю. В. Условия образования и зональность золоторудных месторождений (по данным термобарогеохимии): автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук. М., 1985. 42 с.
7. Максимов С. С., Юргенсон Г. А. Пропилиты и вторичные кварциты Балеиского рудного поля (Восточное Забайкалье) // Критерии рудоносности метасоматитов: материалы симпозиума. Алма-Ата: КазИМС, 1969. С. 203–205.
8. Петровская Н. В. Самородное золото. М.: Наука, 1973. 347 с.
9. Петровская Н. В. Геологическое строение, минералогия и особенности генезиса месторождений золота Балеиского рудного поля (Восточное Забайкалье) / Н. В. Петровская [и др.] // Тр. ЦНИГРИ. 1961. Вып. 45. Ч. I, II. 98 с.
10. Сидоров А. А. Золотосеребряная формация Восточно-Азиатских вулканогенных поясов. Магадан, 1978. 369 с.
11. Тлеулина К. А., Глоба В. А. Месторождение Уенке-Булак – представитель золото-серебряно-флюоритового минерального типа (Заилийский Алатау) // Известия НАН РК. Сер. геологическая. 2006. № 6. С. 18–23.
12. Юргенсон Г. А. Типоморфизм и рудоносность жильного кварца. М.: Недра, 1984. 149 с.
13. Юргенсон Г. А. Методические рекомендации по изучению и использованию типоморфизма халцедоновидного жильного кварца при поисках и оценке месторождений малоглубинной золото-серебряной формации. Чита; М.: Мингео СССР, 1987. 44 с.
14. Юргенсон Г. А. Особенности крупных месторождений малоглубинной золото-серебряной формации и использование типоморфизма жильного кварца при их поисках и оценке // Крупные и уникальные месторождения редких и благородных металлов. СПб., 1998. С. 298–315.
15. Юргенсон Г. А. Типоморфизм и рудные формации. Новосибирск: Наука, 2003. 368 с.
16. Юргенсон Г. А. О возможности существования малоглубинной золото-кварцево-сульфидно-флюоритовой формации // Золото Сибири и Дальнего Востока. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2004. С. 256–258.
17. Юргенсон Г. А., Грабеклис Р. В. Балеисое рудное поле // Месторождения Забайкалья / под ред. акад. Н. П. Лаверова. Т. I. Кн. 2. Чита; М.: Геоинформмарк, 1995. С. 19–32.
18. Юргенсон Г. А., Юргенсон Т. Н. Минералого-геохимическая методика определения рудно-формационной принадлежности и оценки уровня эрозионного среза среднеглубинных месторождений золота. М.: Мингео СССР, 1991. 97 с.
19. Юргенсон Т. Н. Использование микровключений петцита в пирите при поисках и оценке месторождений золота // Проблемы рудообразования, поисков и оценки минерального сырья / отв. ред. Г. А. Юргенсон. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1996. С. 197–204.
20. Lindgren W. Mineral deposits. McGraw-Hill Book Company. 4th edition. 1933. 930 p.
21. Izawa Eiji. Hydrothermal alteration associated with Monsatsu-type gold mineralization in the Kasuga area, Kagoshima prefecture, Japan // Rept. Geol. Surv. Jap. 1991. n 227. P. 49–52.
22. Rytuba J.I., Mc Kee Edwin H., Cox Gennis P. Geochronology and geochemistry of the Ladolam gold deposit, Lihir Island, and gold deposits and volcanoes of Tabar and Tatau, Papua – New guinea // U.S. Geol. Surv. Bull. 1993. N 2039. P. 119–126.