

Балейское рудное поле

Г.А.Юргенсон, Р.В.Грабеллис

Балейское рудное поле включает два крупных месторождения золота — Балейское и Тасеевское, которые связаны единством геолого-структурного положения и сущностью рудообразующего процесса, варьирующего в зависимости от литологических особенностей вмещающей среды. Для Балейского месторождения это блок гранодиоритов со специфической физико-механических свойств, для Тасеевского — толща слабометаморфизованных вулканогенно-осадочных пород.

Первые сведения о золотоносности Балейского рудного района относятся к 1830 г., когда А.И.Кулибин дал описание золотоносных россыпей, которые отрабатываются по сей день. О коренной золотоносности в Балейском районе имеются сведения у Я.А.Маковой (1922-1923 гг.). А.К.Мейстер в 1926 г. указал на низкопробность новотроицких кварцевых жил. С.В.Панкин в 1927 г. на Золотой горке (западная часть Балейской горы в правом борту р. Унды) обнаружил бедные золотом кварцевые жилы. Дальнейшее изучение объекта в 1928-1930 гг. привело к открытию золотоносных жил собственно Балейского месторождения в гранодиоритах. Слепое оруденение Тасеевского месторождения было открыто лишь в 1941 г. буровыми работами Н.С.Земляным. В 1947 г. по I рудной зоне разведано промышленное оруденение. В 1929 г. основан Балейский рудник.

Геолого-структурная позиция

Имеющиеся материалы свидетельствуют о том, что рудные объекты балейского типа в Балейском рудном районе приурочены к Ундинской депрессионной зоне, совмещенной в пределах района с зоной регионального глубинного Борщевочного разлома. По результатам определения абсолютного возраста адуляра из балейских золоторудных жил (120-114 млн лет) и датировки вмещающих и перекрывающих пород палеонтологическими методами время образования рудных объектов балейского типа приходится на вторую стадию (стадия грабенообразования) мелового периода развития Забайкалья. Заложение и максимум активности рудоконцентрирующих структур связаны со структурной перестройкой, означающей начало этой стадии (баррем).

Если оценивать пространственное положение рудной минерализации балейского типа с более широким региональным обзором, то она контролируется теми же структурными элементами Забайкальского мегасвода, что и основное золотое оруденение региона (золото-кварцевосульфидно-полиметаллическая формация), но с преимущественной ролью радиальных зон, к числу которых относятся и Ундинская.

Балейское рудное поле составляет в пределах Ундинской зоны лишь небольшую часть площади распространения золотой минерализации балейско-

го типа. Оно занимает площадь Балейского грабена с ближайшим его обрамлением.

Судя по фациальному плану мелового заполнения грабена, он не является изначально автономной структурой, а стал им в посленовоотроицкое время, обособившись от Ундино-Даинской впадины, вероятнее всего, в стадию барремской перестройки. Современную конфигурацию грабен приобрел еще позднее. Все это в какой-то мере подтверждает сложившееся мнение о связи грабена и рудного поля. Принимая эту связь как факт, не следует упускать из виду, что суть ее пока не выяснена, а роль ее как прогнозно-поискового признака надежно не обоснована.

Среда, в которой формировались объекты Балейского рудного поля (рис.1), литологически и химически неоднородна. 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. Среди них отмечаются небольшие тела гранитов, дайки и мелкие штоки диоритовых порфиров. Вулканиды залегают полосой широтного направления по южному краю грабена. В основном это породы андезитового состава (лавы, лавобрекчий, разнообразные пирокластические образования от глыбовых туфобрекчий до тонкозернистых туфов); встречаются породы дацитового состава, конгломераты, песчаники, алевриты. Мощность толщ вулканитов в пределах рудного поля не превышает 200 м. Заполнен грабен главным образом терригенными осадочными образованиями (поздняя юра — ранний мел). Разрез их имеет циклическое строение (рис.2) и в соответствии с этим расчленяется на три части (серии): балейскую, новотроицкую и ундино-шилкинскую. Первая серия начинается с толщ разногальчатых (от валунов до мелких галек) конгломератов (нижнебалейская свита), содержащей мало-мощные линзы песчаников и гравелитов. Вверх по разрезу число и мощность прослоев песчаников увеличиваются, и по типу переслаивания конгломератовая толща сменяется песчановой (среднебалейская свита), содержащей прослой конгломератов, гравелитов, алевритов. Далее следует толща, сложенная мощными и протяженными горизонтами брекчий и конгломерато-брекчий со слоями плохо сортированных песчаников, алевритов, гравелитов и конгломератов между ними (верхнебалейская свита). В нижней части этой толщ имеется прослой туфов среднего состава, а базальный горизонт брекчий этой толщ залегает на предыдущей толще песчаников с хорошо выраженным несогласием. Вторая серия, как принято считать, включает толщу переслаивания плохо сортированных песчаников, дресвяников, мусорных пород и конгломератобрекчий (верх-

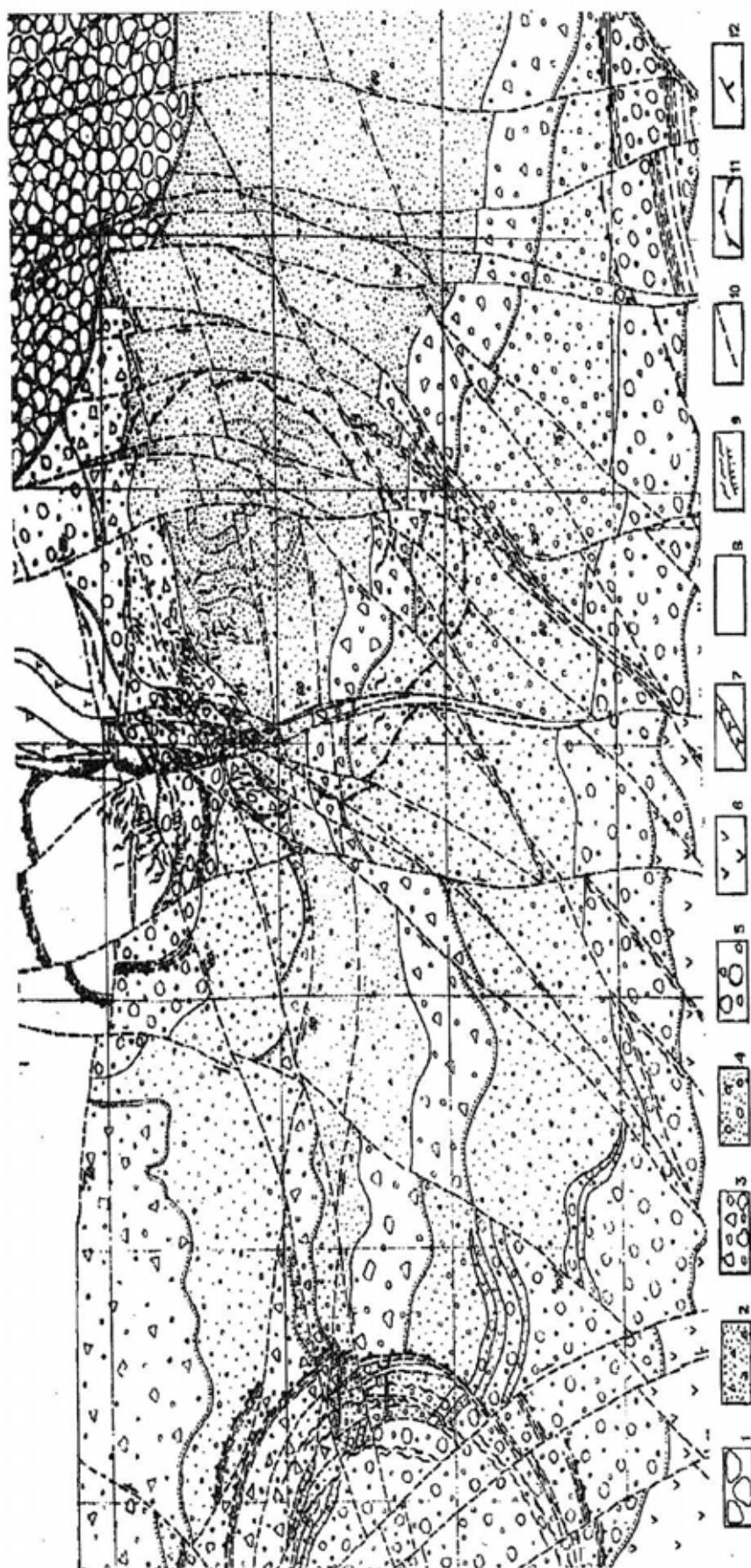


Рис. 1. Схематическая геолого-структурная карта Балежского рудного поля:

1 - каменная свита (K1): валуно-галечные конгломераты; 2 - новоотропская свита (K1): дресвяные песчаники, песчаники, смешанные и мусорные породы, брекчии; 3 - верхнебалежская - нижнеотропская свита (K1): конгломерато-брекчии, брекчии, конгломераты, прослой песчаников; 4 - среднебалежская свита (K1): песчаники, алевролиты, прослой конгломератов, гравелистов, конгломерато-брекчии; 5 - нижнебалежская свита (K1): неравномерноталенные конгломераты, прослой песчаников; 6 - шалоронская серия (J2-3): порфириты, лаво- и туфобрекчии, туфы, туфоконгломераты; 7 - диоритовые порфириты (J2-3), дайки; 8 - граниты, гранодиориты (C); 9 - кварцевые жилы и зоны окварцевания; 10 - зоны разломов; 11 - границы купольных структур; 12 - элементы залегания



Рис. 2. Стратиграфическая схема терригенных отложений Бале́йской впадины (по В.Г.Хомичу и С.В.Чеголову):

1 - золотокварцевые жилы; 2 - тела кремневидных пород; 3 - золотоносные конгломераты; 4 - конгломерато-брекчии; 5 - гравелиты, дресвяники, мусорные породы; 6 - песчаники, гравелиты; 7 - конгломераты; 8 - породы основания впадины

неновотроицкая свита) с горизонтом вулканитовых разногачечных конгломератов в основании (нижненовотроицкая свита).

Третья серия - толща каменных пестроцветных конгломератов.

Толща брекчий (верхнебале́йская свита) имеет хорошо выраженное несогласие на нижнем контакте и не имеет на верхнем. Ей присущи те же литологические особенности, что и новотроицким отложениям: плохие окатанность и сортированность обломочного материала, мусорные породы и др. В связи с этим более правомерно, на наш взгляд, отнести ее к новотроицкой серии, понимая как начальную свиту этой серии, что и сделано на геологической карте.

В общем плане осадочные породы грабена образуют пологую асимметричную синклинальную структуру, ориентированную вдоль него и осложненную многочисленными раз-

ломами разных направлений. Вместе с тем намечается некоторая структурная автономность серий пород: у каждой последующей серии по отношению к предыдущей центр синклинали смещен к северу.

При наличии указанных пикетивных структур определяющая роль в формировании Бале́йского рудного поля и составляющих его месторождений принадлежит, однако, дизъюнктивным структурам. В совокупности они образуют структуру рудного поля типа сложной мозаики. Выделяются несколько систем разломов, различных по возрасту и генетическому смыслу. Главные из них следующие.

1. Система линейных разломов северо-восточного простирания (Удинско-Борщевочная). Ее представляют разломы Борщевочный, Контактный, Главный, Юго-Восточный. При одинаковом в общих чертах простирании эти разломы имеют различное падение (Борщевочный - ЮВ, 40°, Контактный - ЮВ, 65-70°, Главный - СЗ, 75-80°, Юго-Восточный - СЗ, 70°), и в разрезе система подобна вееру. Все указанные разломы являются сбросами. Следовательно, система формировалась в условиях растяжения, что логически согласуется с характером Удинской зоны и дополнительно указывает на заложение

и развитие зоны в связи со сводообразованием. Максимум активности разломов этой системы приходится на добале́йское время, но затем они неоднократно подновлялись.

2. Система дугообразных субширотных (в пределах рудного поля) разломов, ограничивающих грабен с севера: Северный, 2-й Контактный и др. Разломы этой системы имеют характер сбросов и одинаковое южное падение (угол 30-60°). По времени заложения они, вероятнее всего, также являются дорудными, но подновлявшимися во время рудообразования (жила Зона смятия). Этой системой обусловлено ступенчатое погружение блоков грабена в южном направлении.

3. Система дугообразных Тассеевских разломов северо-восточного простирания и крутого падения (под углами 75-90°), в большинстве случаев на северо-запад. Направления смещений по этим разломам различны. В пределах рудного поля часть разломов этой системы являются рудовмещающими и ореолоконтролирующими, часть - нет. Очевидно, разломы указанной системы разновременны. Ее заложение сопряжено с рудным процессом.

4. Система дугообразных субмеридиональных разломов (Дутурульский, Киби́ревский, Фабри́чный, Отмаховский и др.), имеющих, как правило, восточное падение под углами 50-70°. Направления смещений по разломам этой системы также различны, но наиболее масштабными являются сбросовые. Золоторудных тел система не содержит, рудные зоны и жилы других систем по ее разломам смещены. Наиболее вероятно, следовательно, что эта система является пострудной. Имеются сведения о связи с ней флюоритовой минерализации.

5. Система пологих нарушений (4-я, 8-я рудные зоны и др.) с широко варьирующими элементами залегания. Перемещения по ним, как правило, сбросовые, но отмечаются надвиговые и сдвиговые.

Впервые на этот тип рудовмещающих структур обратил внимание Н.Н.Горностаев (1931). Изучая Бале́йский штокверк, он указал на рудоконтролирующее значение и закономерное сочетание пологопадающих и крутопадающих рудовмещающих трещин.

Накопившийся в процессе разведочных работ материал показал, что наряду с крутыми рудными жилами, пересекающими пологие, в промежутках между пологими зонами (особенно сближенными) имеются многочисленные соединяющие их крутопадающие трещины отрыва, в большинстве своем также выполненные золотоносным кварцем. Пологие зоны являются протяженными, различной мощности участками перетирания пород, как правило, представляющими собой серии параллельных сближенных срывов, что придает

им слоеный вид. Центральные, наиболее проработанные, части зон представляют собой неравномерно окварцованную смесь разлинзованных обломков пород и тектонической глины и содержат линзовидные выделения золотосодержащего халцедоновидного кварца разной протяженности, часто многослойные. Краевые части зон выражены расланцеванием и (в гранитоидах) ориентированными полосчатыми текстурами, постепенно исчезающими по мере удаления от центра зоны.

Все это дает основание сделать вывод, что пологие зоны вместе с крутопадающими перемычками – генетически единая система нарушений, сформированная под воздействием давления, направленного по нормали или под большим углом к плоскости пологих зон. То, что нарушения этой системы выступают как рудоконтролирующие и рудоконцентрирующие структуры, указывает на сопряженность их формирования с рудным процессом.

Результаты геологических наблюдений, выполненных нами в Северном карьере попутно с опробованием, свидетельствуют о важной роли пологих зон в структуре Балейского штокверка и, следовательно, собственно Балейского месторождения в целом. Эти зоны на площади карьера выражены, наблюдаются и прослеживаются чрезвычайно отчетливо. Они простираются согласованно и в плане образуют концентрическую систему. Углы падения их варьируют в широких пределах. Направление падения также изменяется, но в целом оно направлено от центра системы. Это позволяет квалифицировать рассматриваемую структуру как купол. Его центральную часть занимает шток лейкократовых гранитов. Положение штока и то, что направление концентрических зон согласуется с его конфигурацией, несомненно, свидетельствуют о генетической связи формирования купола (а значит, и соответствующей системы нарушений) и внедрения штока гранитов. Структуры Балейского штокверка и собственно Балейского месторождения в целом составляют основу его структурного плана и структурной модели. Сведения о наличии купола на площади Балейского месторождения имеются в работах В.Г.Гладкова, В.Г.Хомица, Ю.И.Симонова и других исследователей. Представления о нем формировались на базе анализа полосчатости и метасоматических процессов в гранитоидах, имея в основе мнение, что куполообразование является органической частью процесса становления массива удинских гранитоидов и синхронно ему по времени, а значит – оторванно от мезозойского рудообразования. Домезозойский и мезозойский куполы совпадают по местоположению и почти идентичны по морфологии. В данном случае куполообразование и рудообразование рассматривается как единый мезозойский (меловой) процесс.

Пологие зоны наблюдаются и на других участках рудного поля. Они сосредоточены там, где рудная минерализация проявлена наиболее интенсивно, в частности на площади Тасеевского месторождения, Новотроицком участке и южной части рудного поля (8-я рудная зона). Их появление связано с

формированием надвнутрузивных купольных структур. Вместе с разрывами-перемычками они образуют тектонический каркас этих структур, который и является главной рудовмещающей системой. Наблюдается взаимосоответствие месторождений и купольных структур. Об определяющей рудоконтролирующей роли купольных структур свидетельствует и то, что разломы других систем вмещают промышленные рудные тела только в их пределах (жилы Контактная, Зона смятия, Промежуточная, I рудная зона и др.).

В свете изложенного главные рудные объекты Балейского рудного поля – Балейское и Тасеевское месторождения – являются структурно самостоятельными, хотя и соприкасаются непосредственно. Формировались они, однако, синхронно, по одной и той же схеме, в близких условиях. Поэтому в строении их много общего. В частности, общие черты обнаруживаются и в типах рудных тел.

Локализация и строение рудных тел

Среди рудных тел и их сообществ выделяются 2 группы. Первая группа – рудные тела в каркасных трещинах купольных структур (собственно Балейское месторождение). Они представлены двумя типами: 1 – рудные тела, приуроченные к концентрическим нарушениям (пологим зонам), и 2 – рудные тела, залегающие в крутопадающих разрывных трещинах-перемычках. Рудные тела в концентрических зонах представляют собой линзообразные не протяженные и маломощные кварцевые жилы в протертой и неравномерно окварцованной породной массе этих зон. Кварцевые жилы располагаются в зоне последовательно, кулисообразно либо параллельно (серии сближенных жил). Контакты их четкие, ровные. Залегание рудных тел этого типа согласуется с залеганием вмещающих концентрических зон. Определение “пологие”, применяемое к этим зонам, не совсем точно отражает реальное положение дел. Пологими и даже горизонтальными они являются в центре купольных структур, а к краю их угол падения зон постепенно увеличивается до 50–60°. Точно также изменяется и залегание рудных жил.

Рудные тела в разрывных трещинах-перемычках имеют сложную морфологию: они ветвятся, изгибаются, переходят в серии прихотливых прожилков. Залегание их, как правило, крутое, почти вертикальное, контакты четкие, неровные. Протяженность этих рудных тел чаще всего равна расстоянию между соседними пологими зонами.

Вторая группа (Тасеевское месторождение) – рудные тела в разломах, рассекающих купольные структуры. Эти разломы являются элементами более крупных региональных структур и соответственно имеют большую глубинность заложения и протяженность, чем элементы локальных купольных структур, о которых шла речь выше. Рудные тела в них более мощные и протяженные. В разломах с небольшим числом хорошо оформленных швов (круп-



Рис.3. Распределение преобладающих текстур жильного вещества в плоскости жилы № 1 Балейского рудного поля (по В.Г.Хомичу и Г.А.Питаевой с дополнениями Г.А.Юргенсона):

текстуры: 1 — тонкополосчатые, 2 — массивные и грубополосчатые, 3 — массивные, тонкошестоватые и шестовато-мелкогребенчатые, кругификационно-шестоватые и радиально-шестоватые, 4 — брекчиевые, 5 — контур зоны рудных столбов; 6 — контур нижней и верхней переходных зон; 7 — разломы, 8 — границы развития структур

ноамплитудные разломы Ундинско-Борщевочной системы) рудные тела имеют сравнительно простую морфологию. Пример — жила Контактная. Это прямолинейное, протяженное (более 300 м) рудное тело, имеющее среднюю мощность 1 м, максимальную до 2 м. Контакты жилы четкие, прямолинейные, с глиной трения.

В многошовных зонах разломов рудные тела представляют собой прожилково-жильные серии. Примерами таких тел являются рудные зоны № 1, 3, 5, 6. Ширина рудных зон этого типа 100–200 м, протяженность по простиранию от 600 м до 4 км. Особенность строения их в том, что они обычно имеют главное рудное тело (стволовую жилу) и многочисленные сопровождающие маломощные жилы, апофизы, серии прожилков.

Разнообразие форм разрывных нарушений обусловило различные морфологические типы жил. Протяженные жилы находятся в сколовых трещинах северо-восточного простирания, а часть их апофиз и прожилков более позднего кварца в пределах самих жил связана с трещинами отрыва.

По восстанию минерализация в сколовых трещинах выклинивается до полного исчезновения. Далее прослеживаются лишь швы дизъюнктивных нарушений. При этом для висячих боков нарушений при отсутствии стволовых жил характерно резкое увеличение числа сближенных апофиз с обратным падением, переходящих в серии ветвящихся прожилков. По наблюдениям В.И.Лозовского (1967), апофизы мощностью до 1,0 м обычно примерно че-

рез 100 м по восстанию переходят в рудную зону мощностью до 100 м, представляющую собой сеть сближенных выклинивающихся и вновь возникающих прожилков мощностью до 5–10 см. Иногда крутое падение апофиз северо-восточного простирания меняется на пологое. При этом в висячем боку от них отходят апофизы второго порядка близмеридионального простирания мощностью до 20–30 см. Апофизы имеют тенденцию к преимущественному развитию в зоне контакта толщ конгломератов и перекрывающих их песчаников, контакт между которыми имеет пологое (8–12°) северо-восточное склонение вдоль жил. Такое же склонение типично и для линий сопряжения стволовой жилы (в трещине скола) и апофиз, находящихся в трещинах отрыва. По этой причине рудные зоны имеют северо-восточное склонение, как и находящиеся в их контурах рудные столбы (рис.3), и верхняя граница оруденения. Последняя обуславливается также склонением контакта толщ с различными литологическими особенностями. Современное положение верхних границ оруденения определяется также ступенчатым погружением фрагментов жил в северо-восточном направлении в результате поперечных (по отношению к простиранию жил) послерудных крутопадающих сбросов. Пример соотношения основной и смещенной частей наиболее богатой по содержанию золота (до десятков килограммов золота на 1 т жильной массы) жилы № 28, а также стволовой жилы и апофиз приведен на рис.4.

По направлению к поверхности, в породах с

меньшей прочностью число ветвящихся прожилков увеличивается, а мощность уменьшается вплоть до появления волосяных прожилков.

Несмотря на относительно большую протяженность (до 400-600 м) существенно кварцевых жил и содержание золота и других рудных элементов на всем их протяжении, повышенные (промышленные) их концентрации приурочены к определенному гипсо-метрическому уровню и ограничены интервалом 250-300 м по вертикали. 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 раз.

На месторождении существует зональность оруденения относительно богатых золотом зон, укладываемая в ряд: Au-Ag-As-Sb-Cu-Zn-W-Sn-Pb-Mo.

Околорудноизмененные породы

Характер и типы преобразований рудовмещающих пород детально описаны нами (Хомич, Максимов, Юргенсон, 1974), а также О.В.Русиновой, В.Д.Пампурой, В.В.Поликарпочкиным, Н.А.Китайским (Балейское..., 1984). Отметим лишь ряд наиболее

важных черт околорудных метасоматитов и некоторые новые данные. В связи с разновозрастным оруденением, связанным с тремя разновозрастными минерогенетическими циклами, проявленными в пределах всех трех структурных этажей рудного поля (кварцево-молибденовые и золотосульфидно-кварцевые жилы раннекиммерийского времени в ундинских гранитах фундамента; кварцево-турмалиново-сульфидные жилы, аналоги Верхне-Алиинского и Андришкинского месторождений, и кварцево-флюоритовые с антимонитом жилы позднекиммерийского времени в породах среднего структурного этажа; жилы собственно Балейского месторождения, относимые к австрийскому времени, в терригенных отложениях верхнего структурного этажа), наблюдаются соответствующие им околорудные изменения вмещающих пород.

С наиболее ранними связаны березиты и пропилиты, с последующими — аргиллизиты, среди которых по преобладающему компоненту выделяются относящиеся к каолинитовой, диксит-каолинитовой, монтмориллонитовой, селадонитовой и гидрослюдистой субфациям. Перечисление соответствует положению зон по глубине и относительно контактов жил по мере их удаления. Песчаники в непосред-

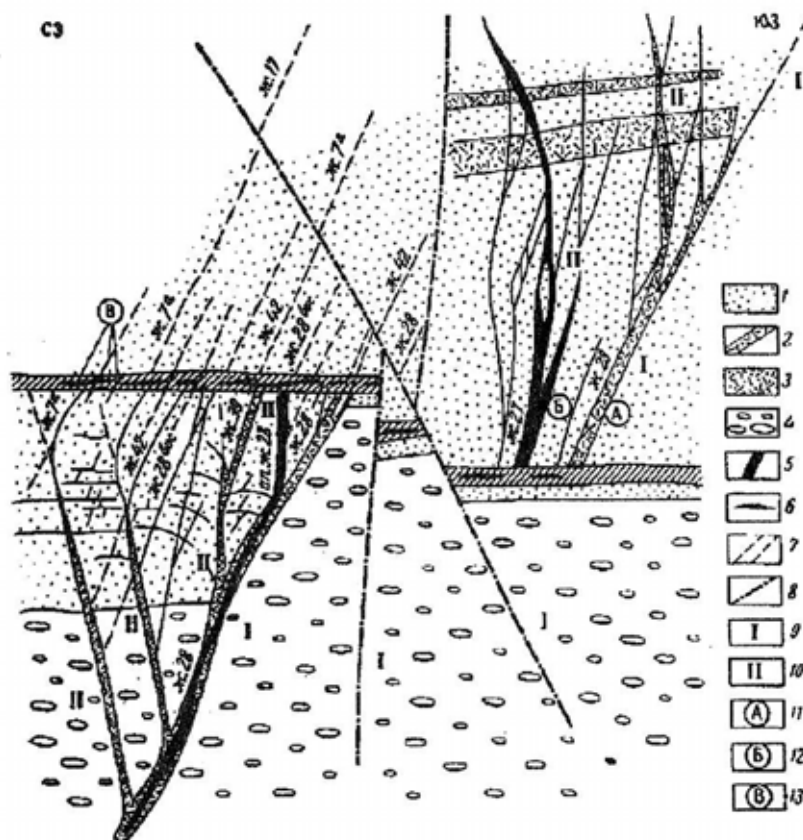


Рис. 4. Взаимоотношение трещин скола и отрыва (по Лозовскому В.И., 1967):

1 — песчаник балейской свиты; 2 — массивный кварц; 3 — кремневидный кварц; 4 — конгломерат тергенской свиты; 5 — полосчатый кварц; 6 — зона дробления с линзовидными прожилками кварца; 7 — предполагаемое продолжение жил; 8 — сбросы; 9 — трещины скола; 10 — трещины отрыва; 11 — первый этап формирования жил; 12 — второй этап формирования жил; 13 — поздний этап минерализации

редственной близости от жил окварцованы, пиритизированы, аргиллизированы. Характерно, что песчаники окварцованы и аргиллизированы на расстоянии не более 100 м от стволовых жил, конгломераты – 2-3 м, и с глубиной ширина зоны уменьшается. В гранодиоритах Северо-Балейского карьера, по В.И.Лозовскому (1967), околорудные изменения наблюдаются до глубины 40-50 м, глубже гранодиориты на контактах с жилами практически не изменены. Последнее обстоятельство может свидетельствовать о достаточно высоких (400-500 °С) температурах рудообразующих флюидов на этой части месторождения. В связи с новыми фактами, появившимися в результате отработки I рудной зоны Опытным карьером, вновь стал дискуссионным вопрос о происхождении пологих тел существенно опал-халцедоновых пород, содержащих примеси ширита, мельниковита, антимонита, реалгара, аурипигмента. В соответствии с современными представлениями эти тела залегают между верхней границей верхнебалейской свиты и нижней – нижненовотроицкой, приурочены к подцвету вулканомиктовых конгломератов и верхней части конгломератов (см. рис.2). Поверхность гидротермально измененных пород под вулканомиктовыми отложениями нижненовотроицкой свиты имеет форму чаши, вытянутой в северо-восточном направлении, с двумя грядовыми выпуклостями северо-восточного простирания, соответствующими верхним частям I и III рудных зон.

Палеорекострукции Балейской впадины, выполненные Ю.И.Симоновым и В.Г.Хомичем (Балейское..., 1984) для начала нижненовотроицкого времени убеждают, что именно к этому отрезку геологической истории приурочено функционирование рудно-магматической системы, породившей весь сложный комплекс золоторудных жил, гидротермально измененных и кремнистых 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 вулканотектонической активизации с образованием трубчатых приповерхностных тел взрывно-инжекционных брекчий, с размещением которых связаны предрудные метасоматиты, в том числе существенно кварцевые (опал-халцедоновые) породы (Максимов, Юргенсон, 1969).

В юго-западной части Опытного карьера присутствуют полосчатые породы, представляющие собою переслаивания опаловидного кварца и песчано-глинистого материала, содержащего пепловые частицы. 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 грязелавового потока на поверхности, частью – продукт осаждения его в водоеме, образованном деятельностью изливавшихся на днев-

ную поверхность гидротерм, обогащенных кремнеземом и рудными элементами. Наличие пустот-отстойников в массе кремнистых пород, а также специфических существенно опал-халцедоновых минералов, поверхностей раздела кремнезема различной степени раскристаллизации, похожих на ониксы в агатовых миндалинах и являющихся своеобразными индикаторами уровней палеоповерхности, свидетельствует о раскристаллизации больших неоднородных густых кремнеземных масс и не может быть объяснено процессами замещения. Скорее всего, они представляют собою своеобразные продукты существенно кремнеземных потоков из грязевого вулкана.

В северо-восточной стенке карьера обнажены самые верхние фрагменты ветвящейся стволовой жилы I рудной зоны (рис.5). Содержание меньше среднего по зоне: золота в 16 раз, серебра – в 2,5, меди – в 2,2, свинца – в 3,1, цинка – в 3,7, лития – в 2,7 раза; больше: мышьяка – в 9,5, сурьмы – в 9,6, натрия – в 1,3 раза. Здесь вскрыто две разновидности секущих существенно кварцевых тел. Одна из них представляет собою кавернозные полосы бурого (в шлифе) и прозрачного халцедона, переходящего в кварц. Кварц – мелкие радиально-лучистые агрегаты, обрастающие голубой опал. В опале – участки раскристаллизации силикатного стекла. Полосчатость обусловлена различной степенью раскристаллизации силикатного стекла, в котором по тонким трещинкам усыхания развиты гетерокристаллические до тонкозернистых кварцевые сферолиты и относительно крупные (0,1 мм) кристаллы кварца. Другая группа полосчатости обусловлена чередованием слоев, сложенных сферолитами двух видов – радиально-лучистыми (0,06-0,07 мм) и скорлуповатыми концентрически зональными с толщиной скорлуп-чешуй 0,02-0,03 мм. Описанные слои образуют симметрично-зональные постройки встречного роста, в которых ранние части представлены опаловыми слоями радиально-лучистых сферолитов толщиной в один сферолит, обрастающих скорлуповатым опалом. Промежуток выполнен пластинчатым и гребенчатым кварцем. Длина индивидов – 0,08-0,12 мм. Эти постройки являются аналогами таковых на всех более глубоких горизонтах. Отличие заключается в том, что в приповерхностных условиях вместо кварца образуется опал. Содержания золота, серебра, калия, лития в жилах находятся в пределах, типичных для месторождения в целом. Другой тип крутопадающих жил не имеет строгой упорядоченности в распределении слагающих их элементов.

В составе жильного материала – обломки турмалиново-кварцевых с пиритом агрегатов, находящихся во взвешенном состоянии, что свидетельствует об их выносе с глубоких горизонтов в потоке загрязненного боковыми породами относительно густого флюида, который в близповерхностных условиях быстро затвердевал, претерпевая лишь очень незначительную дифференциацию. Вертикальная полосчатость в этих условиях отражает ламинарно-турбулентное движение в грязевулканической системе. Тела кремневидного

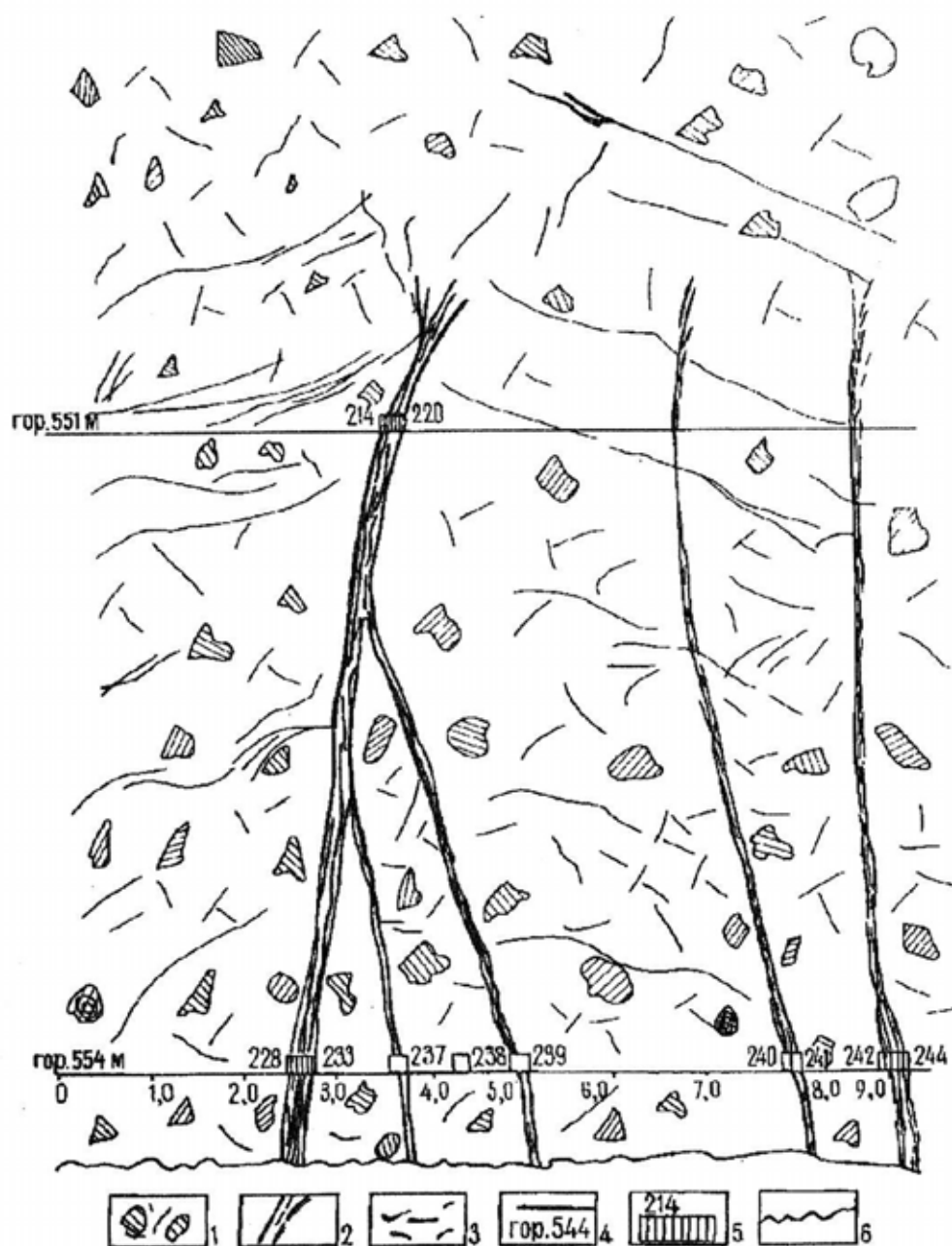


Рис. 5. Разрез по жиле № 1 Тасеевского месторождения с точками отбора проб.

Опытный карьер, СВ стенка. Масштаб 1:20:

1 – опал-халцедоновые грязевулканобрекчии; 2 – опал-халцедоновая жила; 3 – флюидальность; 4 – отметка горизонтов; 5 – место и номер пробы; 6 – рельеф полотно

кварца являются, вероятно, аналогами допродуктивного кварца.

Первичные геохимические ореолы, сопровождающие рудные зоны Тасеевского месторождения, характеризуются следующим рядом зональности: Au-Ag-As-Sb-Pb-Cu-Hg.

Для Балецкого месторождения выявлено концентрически зональное распределение зон концентрации каждого из элементов при сохранении указанного ряда для ореолов в целом (рис.6).

Минеральный состав рудных объектов и закономерности распределения основных минеральных парагенезисов

Данные о минеральном составе рудных тел на месторождениях балецкого типа показывают, что основную долю объема жильного выполнения составляет кварц (50-99%), постоянно в разном количестве встречаются карбонаты (0,1-20%) (кальцит,

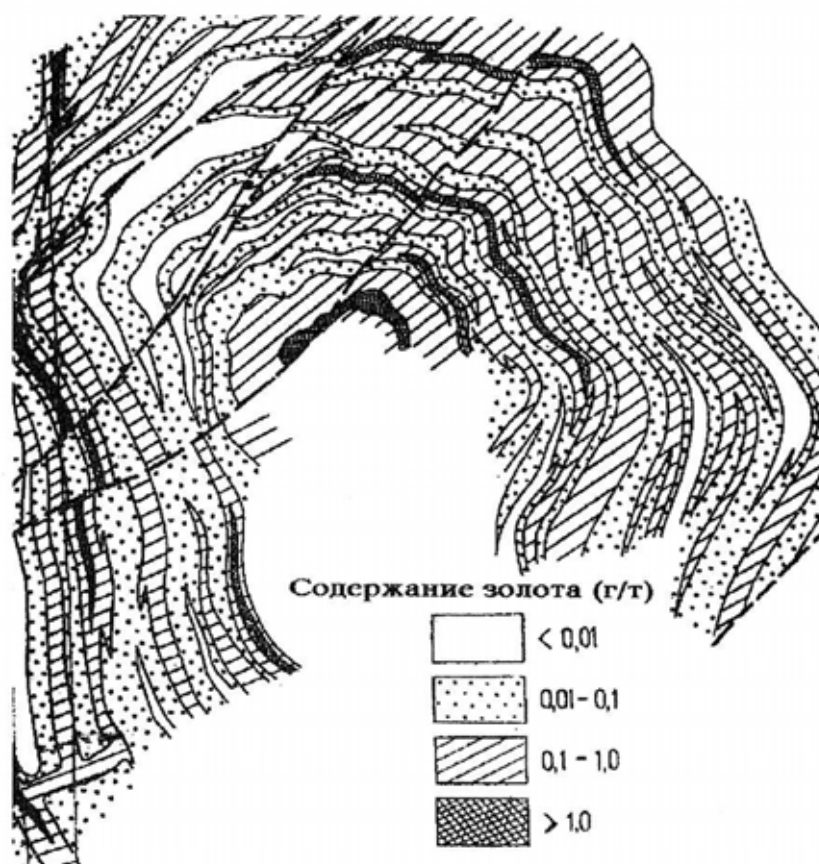


Рис. 6. Золото в коренных породах Балейского месторождения (Северный карьер)

доломит, анкерит), глинистые минералы (0,1-20%) (каолинит, диккит), преимущественно в промышленных участках жил изредка присутствует адуляр (0,1-20%). Рудные минералы наряду с золотом представлены сульфидами и сульфосолями железа (пирит, марказит, бертьерит), мышьяка (арсенопирит), меди (халькопирит, бурнонит), серебра (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 балейских рудах в среднем равно 0,5-1,5%, лишь изредка достигает 3-5%.

Золото наиболее часто ассоциирует с блеклой рудой (главным образом серебряной) и сульфосолями серебра и меди. Из числа 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. Содержание золота варьирует в широких пределах, достигая сотен килограммов на 1 т руды.

Перечисленные выше рудообразующие минералы являются главными, и их составом в основном и определяется элементный состав руд. Всего же на Балейском рудном поле известно более пятидесяти

рудообразующих минералов. Но остальные наблюдаются в виде мельчайших включений в главных. Главная масса золота находится в тонкодисперсном состоянии, и для его извлечения требуется измельчение до 325 меш.

На площади рудного поля наиболее широко распространены допродуктивные минеральные ассоциации (темный кварц + пирит + марказит + арсенопирит, светлый кварц + пирит). Продуктивные ранние (адуляр + кварц, каолинит-гидрослюда + кварц, золото + блеклые руды + миаргирит, золото + теллуриды) и межпродуктивные (карбонат + кварц, сульфиды + кварц) ассоциации развиты только в контурах Балейского и Тасеевского месторождений, продуктивные поздние (золото + пираргирит + миаргирит-кварц) – и в пределах месторождений, и вне их, главным образом по разломам 1-й и 3-й систем, послепродуктивные – частью тяготеют к месторождениям и разломам 3-й системы (арсенопирит + кварц), частью вообще не обнаруживают связи с рудным полем (антимонит + кварц), хотя влияние его структур в какой-то мере чувствуют. Последнее проявляется в том, что они чаще встречаются на основной рудоносной площади рудного поля, образуя достаточно хорошо выраженный ареал, как бы объединяющий Балейскую, Тасеевскую и Новотроицкую структуры. Весьма вероятно, что он свидетельствует о наличии соразмерной с ним объединяющей концентрической структуры, возникшей на заклю-

чительных стадиях формирования Балейского рудного поля.

По латерали к флангам жил количественно убывают до полного исчезновения золотоносные (продуктивные) и поздние минеральные ассоциации. Соответственно роль ранних допродуктивных минеральных ассоциаций в этом направлении возрастает.

По вертикали допродуктивные ассоциации распространены в наиболее широком интервале. Зона максимального развития продуктивных ассоциаций охватывает средние и верхние (но не до выклинивания) части рудных тел. В нижних частях рудных тел наряду с допродуктивными наблюдаются поздние минеральные ассоциации (преимущественно арсенипирит-кварцевая) и участками слабо проявленные продуктивные ассоциации в несколько измененном составе: резко уменьшается количество сульфоселей серебра, адуляра, золота, появляется галенит, возрастает роль пирита, марказита, арсенипирита, почти исчезают основные спутники золота — миаргирит и пираргирит, и золото наблюдается преимущественно в ассоциации с блеклой рудой, пиритом, халькопиритом, при этом роль блеклой руды с глубиной тоже убывает.

При всей схематичности имеющихся данных о распределении минеральных парагенезисов и отдельных минералов они, несомненно, свидетельствуют, во-первых, о наличии на Балейском рудном поле минеральной зональности разных порядков: рудное поле, месторождения, рудные тела; во-вторых, о том, что каждая из этих зональностей имеет специфические особенности и обусловлена "своими" факторами.

Структуры и текстуры руд

Важнейшее значение для понимания процессов и условий формирования руд имеют их структурно-текстурные особенности.

По времени образования и особенностям сложения и состава выделяются: массивные, пятнистые или брекчиевидные допродуктивные существенно кварцевые агрегаты; полосчатые, массивные, пластинчатые и гребенчатые продуктивные, содержащие золото в различных количествах; непродуктивные массивные и полосчато-массивные халцедоновые кварцы. Брекчированность может проявляться на всех этапах становления жил. Зернистые агрегаты характеризуются множеством последовательных генераций кварца. В общем случае устанавливается такая последовательность образования агрегатов различного сложения: 1) пятнистые, брекчиевидные или полосчатые допродуктивные; 2) полосчатые (фестончатые), ритмично-полосчатые продуктивные; 3) массивные с микросферолитовым или скелетным строением продуктивные; 4) макро- и микропластинчатые продуктивные; 5) шестоватые, макросферолитовые, гребенчатые продуктивные, но без существенных количеств золота; 6) массивные, пятнистые, грубополосчатые, кавернозные, друзовидно-гребенчатые послепродуктивные.

Последовательно сменяющиеся разности 2, 3, 4 и 5 чаще всего образуют полосчатые, ритмично сложенные агрегаты. Соотношение мощностей полос (ширины ритмов) различно в начале и конце формирования агрегата. Ритмичность имеет периодический характер, и в более поздних периодах в случае отсутствия побочных явлений (внутриминерализационные подвижки, внутриагрегатные прожилки, мелкодрузовидные агрегаты, мельчайшие полости, трещины усыхания и т.д.) увеличиваются степень кристалличности и совершенства индивидов в каждом из текстурных видов агрегатов и общее число пластинчатых и шестовато-гребенчатых агрегатов. Чередование текстур и структур наблюдается как в фестончатых тонкослоистых агрегатах, так и в последовательно сменяющихся пачках, сложенных фестончатыми, массивными, пластинчатыми и шестовато-гребенчатыми образованиями, в которых фестончатые и фестончато-массивные занимают вполне определенное место. Именно с массивных тонкозернистых и фестончатых агрегатов начинаются, как правило, ритмично сложенные постройки. При этом их характернейшей чертой являются определенная последовательность расположения от тонкозернистых к мелко-, средне- или крупнозернистым, далее к пластинчатым, затем шестоватым. Следует подчеркнуть, что тонкозернистые агрегаты в свою очередь состоят из ритмично построенных микросферолитов, в которых чередуются слойки кварца и слоистых силикатов.

Описанная последовательность универсальна и присуща в равной мере и отдельным слойкам в фестончато-слоистых агрегатах, и пачкам слоистых агрегатов, и крупно- и грубозернистым постройкам, представляющим собой законченный ритм, слагающий нередко одну из половин симметричной жилы.

Как правило, наиболее мощные и правильно построенные периодические группы слоев наблюдаются у лежащих боков жил. Соотношение мощностей агрегатов, характеризующихся определенным типом структур и текстур, в апофизах и ответвлениях зависит от того, на какой стадии кристаллизации происходило внедрение флюида в боковую трещину: если на ранних стадиях, то в апофизах проявляется вся гамма текстур и структур с преобладанием фестончатых, если на заключительных, то доминируют массивно-шестоватые, крупнопластинчатые или друзовидные.

Достаточно отчетливо изменение минеральных парагенезисов — от гидрослюдисто-монтмориллонит-каолинит-кварцевых или адуляр-кварцевых и хлорит-кварцевых в начале ритмов и периодов к мономинеральным кварцевым агрегатам в их конце.

Золото, серебро, сульфиды и сульфосоли образуют ритмично повторяющиеся скопления. Максимальные их концентрации отмечаются на переходах от существенно алюмосиликатных (гидрослюда, монтмориллонит, каолинит, дикиит, очень редко — адуляр) слоев к кварцевым.

Указанные закономерности являются общими и мо-

гут проявляться в иной последовательности в зависимости от условий формирования конкретных частей жил.

В общем случае (см. рис.3) на верхних и средних горизонтах среди продуктивных кварцев преобладают полосчатые, тонкополосчатые, фестончатые агрегаты. Массивные и в меньшей мере пластинчатые менее развиты. Часто это мелкопластинчатые агрегаты с небольшими пустотами, выполненными реликтами адуляра, замещенного гидрослюдой или монтмориллонитом, а также содержащими мелкие (не более 1,0-1,5 мм) кристаллики кварца. С глубиной увеличивается число массивных и пластинчатых текстур, а также относительно крупных друзовых полостей, в которых обнаруживаются щетки кристаллов кварца и карбонаты. Пластинчатый кварц здесь чаще представлен крупнопластинчатыми каркасными постройками, а в массивном кварце обильны пустоты с мелкими кристаллами этого минерала. Полосчатые агрегаты развиты менее; полосы не столь контрастны, содержат меньше слоистых силикатов и состоят из кварца гранобластовой, реже типично сферолитовой структуры. Следует отметить, что в приповерхностных участках наблюдаются также отдельные маломощные жилы пластинчатого кварца, в которых роль фестончатых агрегатов кварц-гидрослюдистого состава выполняют тонкорадиально-лучистые полосчатые фестончатые агрегаты пирита, локализованные в приконтактных частях этих жил.

Описанные структурно-текстурные разности кварца Балейского рудного поля составляют единый ряд последовательно образующихся существенно кварцевых агрегатов. Главную массу составляют те, в которых золото и сопутствующие ему компоненты отлагались в процессе их формирования в моменты относительно резких изменений pH, давлений и относительных концентраций компонентов, входивших в состав рудообразующего флюида. До изучения физических свойств кварцевых агрегатов главным типоморфным признаком их для месторождений малоглубинной формации был внешний облик. К продуктивным относились полосчатые и каркасные, реже гребенчатые. Гребенчатый и пластинчатый кварц, с которым ассоциирует крупное "позднее" золото, получил название второй продуктивной ассоциации из-за того, что нередко наблюдались пересечения жил ранних продуктивных и непродуктивных ассоциаций "поздними" жилами, сложенными массивным, полосчатым, пластинчатым или гребенчатым кварцем (Балейское..., 1984). Нам представляется отнесение последних в отдельную стадию недостаточно обоснованным. "Поздние" жилы и прожилки, секущие по трещинам усыхания и контракции ранние генерации кварца, представляют собой, по сути дела, продукт тех же флюидов, из которых формировалась и основная масса продуктивного кварца, а структура, состав, золотоносность и свойства их зависят от того, на какой стадии кристаллизации первичного флюида они были от него отторгнуты и в каких условиях кристаллизова-

лись. Как правило, секущие жилы сложены более крупнозернистыми агрегатами. Крупное золото в пустотах и трещинах могло расти в спокойных условиях из остаточных или перемещенных растворов.

Появление сложных текстур жильного кварца, включающих взаимопересечения агрегатов с близкими свойствами и составом, обусловлено особенностями условий его кристаллизации (скорость охлаждения и кристаллизации, процессы взламывания, особенности распределения примесей и т.д.). В изменении структурно-текстурного облика кварцевых агрегатов намечаются закономерности, отражающие уменьшение скорости кристаллизации вещества с глубиной.

В пространстве жил существует симметрично-асимметрично-зональное распределение преобладающих структурно-текстурных разностей кварца по латерали и асимметричное — по вертикали (см.рис.3). В целом последовательность смены структур и текстур от ранних (ритмично-слоистых) к поздним (преимущественно массивным, шестоватым, гребенчатым) проявлена от флангов к центру и сверху вниз. Наиболее четко контуры границ распространности определенных структурно-текстурных разностей существенно кварцевых агрегатов подчеркивают контуры рудных столбов и их склонение. В пространственном изменении структурно-текстурного облика кварцевых агрегатов намечается вертикальная макрозональность, которой соответствует горизонтальная микрозональность, выражающаяся во всех частных поперечных разрезах в ритмично-периодической направленности изменения структур и текстур кварцевых агрегатов от начала процесса формирования жил к концу. В этом проявлена общая закономерность процесса кристаллизации флюида в близповерхностных условиях, наблюдаемая на разных уровнях организации вещества.

Картирование изменений минеральных парагенезисов показало, что с глубиной и от краевых частей жил (их флангов) к срединным, от контактов к осевым частям происходит уменьшение концентраций карбонатов, алюмосиликатов и сульфидов, сокращение числа минералов в парагенезисах, увеличение доли кварца. Наиболее четко закономерности в распределении структур и текстур, а также минеральных парагенезисов проявлены в наиболее мощных частях жил, к которым приурочена главная масса промышленного орудуения.

Пространственное распределение петрогенных элементов по вертикали отражает распределение главных минеральных парагенезисов, соотношение структурных и неструктурных примесей в кварце. С глубиной в кварце уменьшаются содержания алюминия, калия, натрия; возрастает содержание кремнезема, указывая на очищение кварца от неструктурных примесей. В распределении калия существует общая тенденция к уменьшению концентраций его с глубиной от 1,0 до 0,2% K₂O, на фоне которой намечается асимметричная концентрическая зональность. Вблизи рудных столбов концентрация

K_2O 0,6-0,4%. В частных разрезах жил устанавливается ритмичное уменьшение концентрации K_2O от контакта жилы к ее осевой части. Такая же закономерность наблюдается в распределении алюминия и железа, тогда как содержание кремния возрастает в кварце заключительных генераций. При этом на фоне общего уменьшения концентрации примесей увеличивается доля структурных примесей.

Содержания примесей рудных элементов в общем случае уменьшаются с глубиной, образуя ряд максимумов на уровнях богатого оруденения, в надрудных и подрудных зонах.

В частных разрезах при послойном изучении ритмично-слоистых агрегатов установлено ритмично-направленное изменение концентраций рудных элементов от контактов жил к их срединным частям в направлении смещения фронта нарастания слоев. На рис. 7 приведен пример распределения золота и серебра в агрегате, состоящем из 21 слоя.

Установлено, что генерации раннего ритмично-полосчатого кварца характеризуются минимальными значениями индекса совершенства кристаллического строения (СКС), а позднего – шестоватого и гребенчатого – максимальными для данного разреза или жилы. Значение индекса СКС возрастает с глубиной, что согласуется с распределением по вертикали структурно-текстурных разностей жильного кварца. Эта генеральная закономерность, выявленная на десятках жил различных месторождений, осложнена в срединных частях жил – здесь наблюдается локальное возрастание СКС. В связи с тем, что значение индекса СКС находится в обратной зависимости от скорости кристаллизации, можно сделать вывод о том, что кристаллизация шла от периферии жилы (сверху и с флангов) к центру и на глубину. Высокие значения СКС характерны для более мощных срединных частей жил, где длительное время были реализованы условия термостатирования.

Таким образом, с глубиной увеличивается доля жильного кварца массивной и шестовато-гребенчатой текстуры, а доля продуктивных существенно кварцевых агрегатов ритмично-полосчатого сложения уменьшается. С глубиной возрастает индекс СКС, что свидетельствует о более спокойных условиях кристаллизации; в этом же направлении в кварце уменьшаются концентрации золота и серебра, калия, OH_x -группировок, хлора в водных вытяжках и др. Наряду с общей однонаправленной изменчивостью состава и свойств кварца выявляется асимметричная концентричность: на уровне рудных столбов возрастают концентрации Au , Ag , Sn , Pb , Cu (а в некоторых случаях Sb , As), K , Na , OH_x -группировок, индекс СКС и др.

Генеральная последовательность в изменении типоморфных признаков кварца с глубиной отражается в аналогичной, но ритмично-периодической изменчивости их в каждом конкретном сечении жилы от ранних генераций к поздним. Это является следствием центростремительной кристаллизации при движении ее фронта сверху вниз, от флангов к центру и от контактов к срединным, осевым частям жил.

Стадийность и физико-химические условия рудообразования

Проблема условий образования так называемых эпитеpmальных месторождений золота, к которым практически все исследователи относили и Балейско-Тассеевское месторождение, считая его эталоном этой формации, была в центре внимания при изучении месторождения (Петровская и др., 1961; Лозовский, 1967 и др.). В частности, Ю.В.Ляхов получил данные о температурном диапазоне минералообразования 300-100 °C, что вывело месторождение из группы эпитеpmальных. Однако верхний предел, полученный Ю.В.Ляховым, также не отвечает дей-

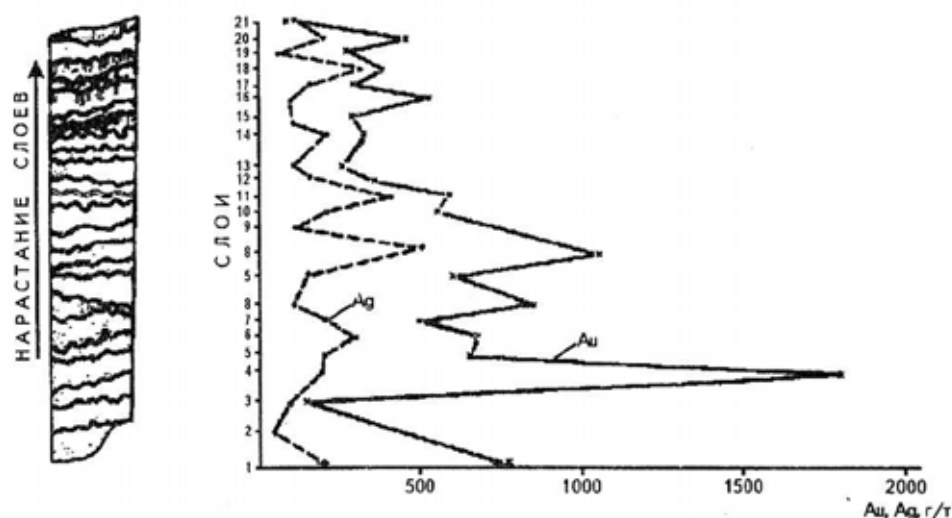


Рис. 7. Ритмичное изменение содержаний золота и серебра в последовательно образованных слоях агрегата жильного кварца

ствительности, так как получен на основании изучения ГЖВ в кристаллах кварца, которые всегда завершают, а не начинают процесс минералообразования. На основе изучения динамики выхода H_2O , CO_2 , N_2 из кварца ранних генераций по специальной методике (Юргенсон, 1984) установлено, что разрыв мельчайших ГЖВ в кварце с выделением указанных компонентов происходит начиная с 500-600 °С. Данные по составу ГЖВ Ю.В.Ляхова (Балейское..., 1984), который дает максимальные концентрации растворов 4-8%, хотя не анализировалось количество $HSiO_3^-$, основного компонента минералообразующей системы, представляются заниженными и отражающими состав остаточных растворов. По нашим данным, концентрации растворов могли достигать 51%, доля кремнезема при этом варьировала от 23 до 37% (таблица). Растворы были обогащены $NaCl$, KCl , алюминием.

Физико-химическое моделирование рудного процесса на ЭВМ, выполненное В.А.Скворцовым, показало, что процесс минералообразования в жилах Балейского рудного поля происходил в температурном диапазоне примерно 500-100 °С. При этом устойчивость твердой фазы монтмориллонита фиксируется при снижении температуры начиная с 400 °С. Растворы были щелочными, что способствовало нахождению кремнезема в форме гидрооксисилико-комплексов, с которыми была связана и значительная часть рудных компонентов. К концу процесса возрастала кислотность остаточных растворов, обогащенных CO_2 , Cl , не связывавшихся в главном временном интервале процесса минералообразования. О высоких концентрациях эволюционирующего минералообразующего флюида свидетельствуют структурно-текстурные особенности жильного выполнения, рассмотренные выше. Давления в системах находились в пределах от 1-10 МПа для приповерхностных зон кремневидных кварцев (Юргенсон, 1991) до 30-40 МПа при формировании рудных жил (Балейское..., 1984).

Большинство исследователей считает, что коллоидное состояние минералообразующих растворов

Балейского месторождения бесспорно. Формирование ритмично-слоистых жил, в которых происходит направленное от контактов к осевым частям жил ритмичное изменение структурно-текстурных особенностей, состава и свойств минеральных индивидов и их сообществ, может являться следствием эволюционной самоорганизации существенно силикатного высококонцентрированного флюида.

Стадийность минералообразования Балейского месторождения в настоящее время (Балейское..., 1984) представляется таким образом. Выделяются 2 этапа и 4 стадии. К первому этапу отнесены все процессы золотокварцевой минерализации, к второму – антимонит-кварцевой минерализации. Разрыв этот условен, так как в надрудных кремневидных телах, образование которых соответствует началу формирования месторождения, антимонит присутствует постоянно, в том числе и как результат раскристаллизации геля в опал.

Первый этап подразделен на допродуктивную, первую продуктивную, вторую продуктивную и послепродуктивную стадии. С продуктивными стадиями связано золотосеребряное оруденение во фрейбергите, самородном золоте, миаргирите, пираргирите, тетраэдрите, теллуридах. Приведенная стадийность имеет определенную меру условности. Дело в том, что ранние допродуктивные существенно кварцевые образования развиты как в виде самостоятельных жил, так и как приконтактовые зоны в мощных промышленных жилах или составляют основу их маломощных непромышленных частей. Но в большинстве случаев они связаны с продуктивными полосчатыми и массивными разностями жильного кварца постепенными переходами, являясь неотъемлемым ранним элементом формирования промышленных жил. Поэтому вряд ли они представляют собою самостоятельную стадию, для выделения которой необходима структурная перестройка рудного поля, вероятность которой не вытекает из фактического материала. Поскольку в мощных жилах или в раздувах проявлены все выделяемые разности продуктивного кварца, всегда располагающиеся в

Изменение с глубиной содержания кремнезема в водных вытяжках из кварца Балейского рудного поля

Горизонт опробования, м	Содержание $HSiO_3^-$, г/кг H_2O	Доля $HSiO_3^-$, %
166	52	23
216	117	27
266	80	29
316	90	32
Северный карьер	132	37

единой последовательности, подразделение их на стадии вряд ли целесообразно. Закономерное изменение состава и строения жильного выполнения, сложенного преимущественно кварцем, свидетельствует об едином полигенерационном одностадийном процессе.

Балейско-Тасеевское месторождение в основном отработано за период с 1929 по 1995 г. Здесь добыто более 1000 т металла. В 70-х гг. была определена целесообразность разведки его глубоких горизонтов в связи с имеющимися объективными предпосылками наличия оруденения в породах фундамента. Эта проблема, как и многие другие, в частности источника рудного вещества, процесса переноса и рудоотложения, еще не решена.

Литература

- Балейское рудное поле. — М., — 1984. — 271 с.
- Лозовский В.И. Некоторые данные к поискам слепых рудных тел эпitherмальных золоторудных месторождений / Вопросы рудоносности Восточного Забайкалья. — М.: Недра, 1967. — С. 7-20.
- Ляхов Ю.В. О горизонтальной и вертикальной температурной зональности в пределах Балейского рудного поля (Восточное Забайкалье). Минералогическая термометрия и барометрия. — М.: Наука, 1968. — Т.1. — С. 240-247.
- Максимов С.С., Юргенсон Г.А., Бородин В.П. Новые данные о геологии и рудоносности фундамента Балейского грабена. — Чита, Зап. Забайкальск. филиал Геогр. об-ва СССР, 1969. — Вып. 36. — С. 66-70.
- Максимов С.С., Юргенсон Г.А. Пропилиты и вторичные кварциты Балейского рудного поля (Восточное Забайкалье) / Критерии рудоносности метасоматитов. — Алма-Ата, 1969. — С. 203-204.
- Петровская Н.В. Самородное золото. — М.: Наука, 1973. — 347 с.
- Петровская Н.В., Бернштейн П.С., Мирчинк С.Г., Андреева М.Г. Геологическое строение, минералогия и особенности генезиса золоторудных месторождений Балейского рудного поля (Восточное Забайкалье) / Тр. ЦНИГРИ. — 1961. — Вып. 45. — Ч. I-II. — 98 с.
- Хомич В.Г., Чеглоков С.В. О верхней границе оруденения близ-поверхностных месторождений золота (Балейское рудное поле) / Вопросы региональной геологии и металлогении Забайкалья. — Чита, 1966. — Вып.2. — С. 77-86.
- Хомич В.Г., Чеглоков С.В. О возможной глубине формирования эпitherмального золотого оруденения (Балейское рудное поле) / Вопросы геологии Прибайкалья и Забайкалья. — Чита: Забайкальск. отд-ние. Геогр. об-ва СССР, 1966. — Вып. 1(3). — С. 89-91.
- Юргенсон Г.А. Типоморфизм и рудоносность жильного кварца. — М.: Недра, 1984. — 149 с.
- Юргенсон Г.А. Направленная изменчивость строения агрегатов жильного кварца малоглубинных месторождений как критерий эволюции минералообразующего флюида / Минералы, горные породы и месторождения полезных ископаемых в геологической истории. — Л.: Наука, 1981. — С. 57-58.
- Юргенсон Г.А. Зависимость концентрации воды и углекислоты в кварце от давления в минералообразующих системах / Докл. АН СССР. — 1991. — Т. 318, № 3. — С. 721-723.

* * *