

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 – флюиальность; 4 – отметка горизонтов; 5 – место и номер пробы; 6 – рельеф полотна

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 Балейского 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 балейского типа показывают, что основную долю объема жильного выполнения составляет кварц (50-99%), постоянно в разном количестве встречаются карбонаты (0,1-20%) (кальцит,

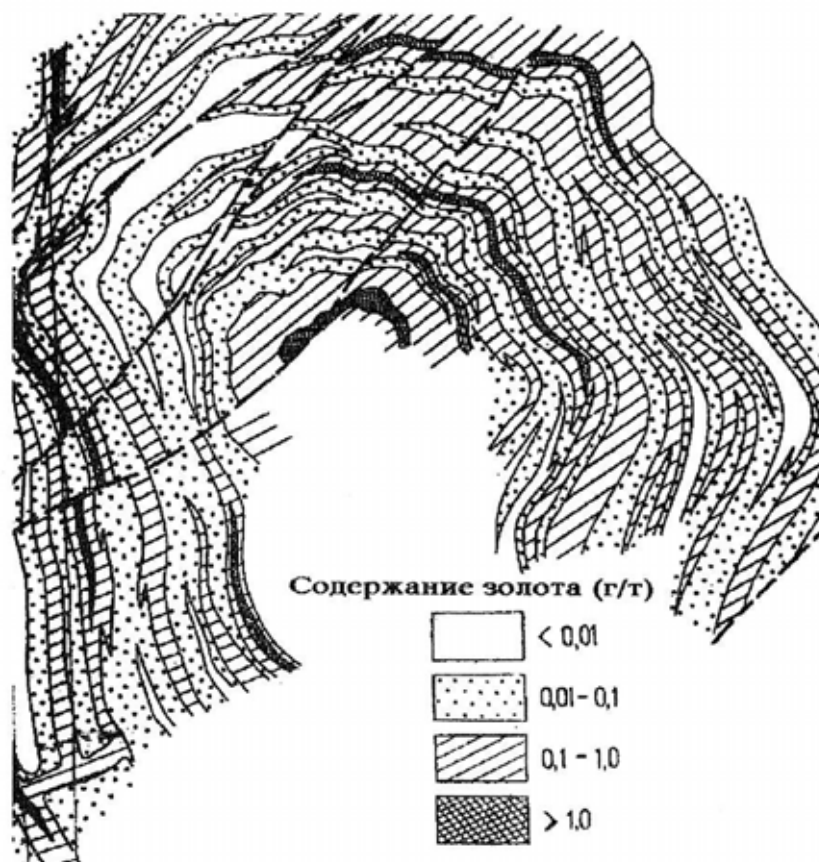


Рис. 6. Золото в коренных породах Балейского месторождения (Северный карьер)

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-гидрослюды + 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, макроферолитовые, 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.) увеличивается 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 лежачих 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, диккит, 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 различия кварца Балецкого 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 (Балецкое..., 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, золотонность 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 различий кварца по латерали и асимметрично — 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 различий 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 оруденения.

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-Тасеевское 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 °С, что вывело месторождение из группы эпитеpmальных. Однако верхний предел, полученный Ю.В.Ляховым, также не отвечает дей-

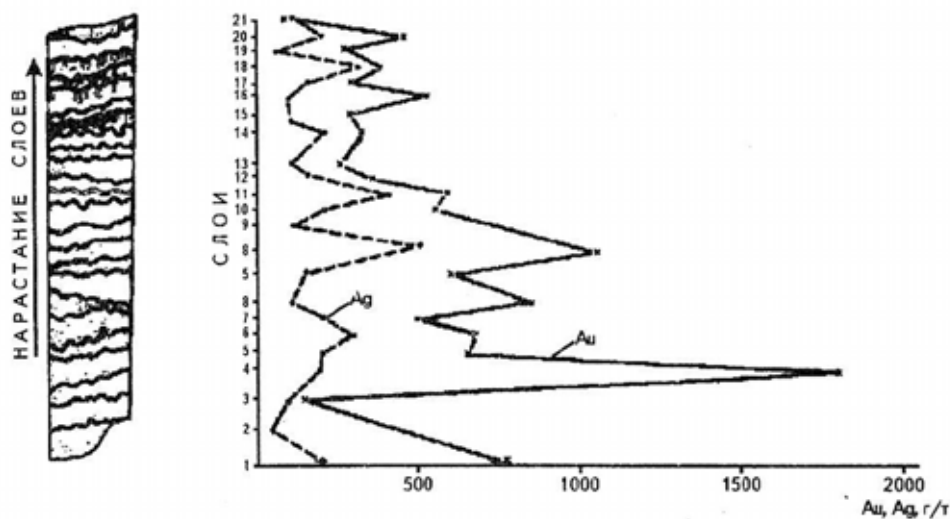


Рис.7. Ритмичное изменение содержаний золота и серебра в последовательно образованных слоях агрегата жильного кварца

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 приконтактные 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 близповерхностных 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.

* * *