

**ТЕРМОБАРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КВАРЦА
ЗОЛОТОРУДНЫХ ОБЪЕКТОВ ВОСТОЧНОГО СКЛОНА ЕНИСЕЙСКОГО
КРЯЖА**

Фисенко В.Г.

Научный руководитель д-р геол.-минерал. наук Макаров В.А.

Сибирский федеральный университет

Перспективы Восточного склона Енисейского кряжа на обнаружении промышленно значимых золоторудных объектов в настоящее время оцениваются неоднозначно. По результатам множества обобщающих металлогенических исследований практически все золотое оруденение контролируется долгоживущими системами Ишимбинского, Татарского, Усть-Ангарского и Приенисейского разломов, расположенным в центральной части кряжа. К этим же структурам в свою очередь тяготеет рифейский гранитоидный магматизм, ответственный за процессы тепло-массопереноса при метасоматозе и формировании оруденения. Отсутствие гранитных интрузий в пределах Восточного склона этой региональной структуры, рядом исследователей рассматривается в качестве неблагоприятного для формирования оруденения фактора и является причиной слабых оценок золоторудного потенциала этой территории. Вместе с тем, выявленные в результате геолого-поисковых работ прямые признаки золоторудной минерализации (россыпи и рудопроявления золота, литогеохимические аномалии золота и его элементов спутников) свидетельствуют о необходимости более тщательного изучения этой части региона. Одной из ключевых задач является установления физико-химических условий формирования золоторудной минерализации и установление ее взаимосвязи с рудогенерирующими процессами в центральной части Енисейского кряжа. Для выяснения обстановок протекания рудогенерирующих процессов автором проведены термобарогеохимические исследования индивидуальных флюидных включений, а также изучение состава газов валовых проб методом газовой хроматографии. Материалом для проведенных исследований, послужили образцы кварца с трех участков с установленной золоторудной минерализацией (уч. Марокский, Иочиминский и рудопроявление Борковское) что дает возможность проследить эволюцию состава и изменение физико-химических параметров рудоносных растворов по мере удаленности оруденения от рудоконтролирующих структур центральной части Енисейского кряжа.

Участок Марокский входит в число объектов Нижне-Чиримбинского золоторудно-россыпного узла. Среди анализируемых участков, он наиболее близко расположен к гранитным интрузиям, расстояние до которых не превышает 12-13 км. В геологическом строении участка принимают участие отложения кординской горбилкокской и удерейской свит. Породы кординской свиты распространены преимущественно в западной части участка и представлены метапесчаниками и сланцами кварц-карбонат-альбит-биотитового и кварц-мусковит-биотитового, кварц-альбит-серицит-биотитового состава. Отложения горбилкокской и удерейской свит слагают восточную часть участка и представлены сланцами кварц-серицит-хлоритового, кварц-серицит-биотит-хлоритового состава. Золотоносные зоны представляют собой окварцованные сульфидизированные, метасоматически измененные сланцы с прослоями метапесчаников, насыщенные в разной степени маломощными (0,1-0,5 см) прожилками и единичными линзами кварца мощностью до 0,1 м. В этих зонах выделяются отдельные интервалы мощностью от 1-3 до 15-25 м с промышленными содержаниями золота от 0,5 до 23,89 г/т, и в отдельных случаях до

240 г/т. Кварц в составе прожилков образует мелко-, средне- и крупнокристаллические полупрозрачные агрегаты, серого и буровато-серого цвета за счет включений мелких гнезд и пленок лимонита, пирита и арсенопирита.

В результате изучения флюидных включений в кварцево-жильных образованиях участка, были выявлены первичные и первично вторичные группы включений. По химическому составу они подразделяются на водно-солевые, водно-углекислотные и углекислотные. Водно-солевые первичные и первично-вторичные включения, как правило, имеют в составе две фазы ($\text{Ж}_{\text{H}_2\text{O}}+\Gamma$) преимущественно с преобладанием жидкости над газом. Криометрическими исследованиями установлено, что оттаивание жидкой фазы этих включений происходит в диапазоне температур от $-7,8$ до $+24,5^\circ\text{C}$. Подобные вариации свидетельствуют об изменении степени солености в процессе эволюции минерализованных растворов. В соответствии с фазовой диаграммы системы $\text{NaCl} - \text{H}_2\text{O}$, показатель солености слабосоленых включений в основном колеблется в интервале от 0,2 до 11,5 мас.%, NaCl -экв, достигая у более соленых включений 26,5 мас.%, NaCl -экв. В составе флюида, вероятно, преобладает хлорит натрия, поскольку мелкий размер включений не позволил надежно диагностировать наступление эвтектики, и тем самым более достоверно определить состав раствора. Гомогенизация слабосоленых включений по данным термометрии происходит в широком интервале температур и варьируется в пределах $150-430^\circ\text{C}$. У более соленых включений интервал температур существенно ниже и не превышает $120-150^\circ\text{C}$. Для водно-углекислотных включений участка характерен двухфазный ($\text{Ж}_{\text{CO}_2\pm\text{CH}_4\pm\text{N}_2}+\text{Ж}_{\text{H}_2\text{O}}$) и реже трехфазный ($\text{Ж}_{\text{CO}_2\pm\text{CH}_4\pm\text{N}_2}+\text{Ж}_{\text{H}_2\text{O}}+\Gamma$) состав с температурой плавления $-56,6\div-58,4^\circ\text{C}$, что указывает незначительное количество либо на полное отсутствие азота и метана. В составе однофазных углекислотных включений ($\text{Ж}_{\text{CO}_2\pm\text{CH}_4\pm\text{N}_2}$) жидкая CO_2 вероятно, также является главным компонентом, поскольку температура плавления этих включений также близка к температуре плавления чистой CO_2 и варьирует в интервале $56,6\div-57,5^\circ\text{C}$. Частичная гомогенизация водно-углекислотных и углекислотных включений проходила в жидкую фазу в температурном интервале от $-23,9$ до $+28,2^\circ\text{C}$, что является показателем изменения плотности углекислоты в составе раствора, которая по сопоставлению с экспериментальными данными соответствовала $0,65-1,05\text{ г/см}^3$. Вариации плотности CO_2 , очевидно, является результатом изменением давления в процессе эволюции рудоносного раствора, которое согласно проведенным расчетам могло колебаться в диапазоне $-0,6-3,8\text{ кБар}$. Результаты газовой хроматографии в целом подтверждают данные полученные при анализе индивидуальных включений. Суммарная флюидонасыщенность рудоносных растворов колеблется в интервале от $772-1377,4\text{ мг/кг}$. Основными компонентами растворов являются, вода, углекислота, азот и в меньшей степени метан и углеводороды. Количество CO_2 в составе включений изменчиво, что, вероятно, связано с разделением раствора на обедненную и обогащенную углекислотой фазы. В обедненной углекислотой фазе раствора доля CO_2 , как правило, не превышает 4,0% от суммы всех газов при соотношении CO_2 к сумме CO_2 и H_2O – 0,01-0,04 и коэффициенте восстановленности ($K_{\text{восст}}$) – 0,004-0,01. У обогащенных углекислотой фаз раствора соотношение CO_2 к сумме CO_2 и H_2O немного выше (0,12-0,19), как и коэффициент восстановленности ($K_{\text{восст}}=0,004-0,01$), при доле CO_2 достигающей 18,88%.

Рудопроявление Борковское (Вангашская поисковая площадь) локализовано в интенсивно трещиноватых и смятых в многочисленные микроскладки породах серицит-хлорит-кварцевого состава удерейской свиты на существенном удалении (18-20 км) гранитных от интрузий Татарско-Аяхтинского комплекса. Оруденение тяготеет к зонам интенсивного расщепления СЗ простирания с мелкими разноориентированными прожилками кварца, пронизанными гидроокислами железа и

тонкой рассеянной вкрапленностью арсенопирита. Мощность прожилков, при общей насыщенности кварцем 1-20% от объема породы, в целом варьирует в пределах 0,1 мм – 1-5 см, редко достигая 0,1-0,5 м. Содержание золота в пределах зоны колеблется от 0,1 до 1,7 г/т, достигая в одной пробе 10 г/т. Многочисленные мелкозернистые полупрозрачные серые и непрозрачные серовато-белые кварцевые образования, как правило, имеют секущее положение, как по отношению друг к другу, так и к вмещающим породам.

Изучение флюидных включений в кварцевых образованиях показало схожесть состава рудогенерирующих растворов рудопроявления и раствора участка Марокский. Среди первичных и первично-вторичных включений отмечены двухфазные ($\text{Ж}_{\text{H}_2\text{O}}+\Gamma$) водно-солевые, однофазные ($\text{Ж}_{\text{CO}_2\pm\text{CH}_4\pm\text{N}_2}$) и двухжидкие ($\text{Ж}_{\text{CO}_2\pm\text{CH}_4\pm\text{N}_2}+\text{Ж}_{\text{H}_2\text{O}}$) включения. Температура оттаивания жидкой фазы водно-солевых включений в основном варьируется в диапазоне от -14,1 до +10,8°C, что соответствует степени солёности 0,9-26,3 мас.%, NaCl-экв. Гомогенизация слабо- и среднесоленых включений проходила в жидкую фазу при температурах 150-405°C. Более солёные включения (солёностью $\leq 26,3$ мас.%, NaCl-экв), как и на участке Марокском, гомогенизировались при более низких температурах в интервале 160-190 °C. Двужидкие водно-углекислотные и однофазные углекислотные включения получили меньшее распространение по сравнению с водно-солевыми. Для них характерно отсутствие газовой фазы при комнатной температуре и плавление углекислоты при -56,6÷-58,8°C, что свидетельствует об схожести их состава с аналогичными включениями участка Марокский и незначительное присутствие метана в составе включений. Плотность углекислоты в составе растворов изменяется менее значительно, чем на участке Марокский и приблизительно составляет 0,86-1,06 г/см³, что соответствует давлению – 1,5-3,4 кБар. Согласно данным газовой хроматографии во всех исследованных образцах кварца отмечается сходный количественный и качественный состав флюидных компонентов. Суммарная флюидонасыщенность кварца большинства исследованных проб изменяется незначительно и варьируется в пределах 1044-1200 мг/кг. Основными компонентами рудоносных растворов являются, вода, углекислота, азот, метан и в гораздо меньшей степени и углеводороды. Следует отметить, что доля метана, в результате валового анализа оказалась заметно выше чем то, что было установлено при анализе индивидуальных включений, что может быть связано, как с недостаточной представительностью исследуемых препаратов при оптических наблюдениях, так и с недостаточной очисткой пробы от органического материала при производстве хроматографического анализа. Количество углекислоты в составе раствора, как и других компонентов, изменяется незначительно и варьируется в диапазоне от 5,00 до 7,66%, от суммы всех газов. Согласно проведенным расчетам коэффициент восстановленности ($K_{\text{восст}}$) рудоносных растворов также изменяется незначительно и приблизительно составляет 0,02-0,03 при соотношении CO_2 к сумме CO_2 и H_2O – 0,05-0,08.

Выявленное в пределах участка Иочиминский золотое оруденение, отдаленное от выходящих на поверхность гранитных комплексов на расстояние более 35 км, является одним из самых восточных отголосков рудных процессов на Енисейском кряже. Рудная минерализация тяготеет к маломощным (10-12 м) зонам рассланцевания, дробления и тонкого нитевидного кварц-карбонатного прожилкования в светло-серых серицит-кварцевых сланцах средней пачки удерейской свиты. Содержание золота в пределах этих зон колеблется от 0,2 до 0,7 г/т. Внутри этих зон на интервалах где отмечается наличие тонких серых, буровато-серых и серовато-белых кварц-лимонитовых прожилков мощность которых не превышает 0,2-0,4 м, содержание золота достигает 1,1-5,6 г/т.

В составе первичных и первично-вторичных флюидных включений участка двухфазные водно-солевые включения (Рис.1а) занимают доминирующее положение. Показатель солёности этих включений согласно фазовой диаграмме системы NaCl – H₂O находится в интервале 0,2-26,2 мас.%, NaCl-экв. Температура общей гомогенизации по данным термометрии заметно ниже чем на рудопроявлении Борковское и на участке Марокском и варьирует в интервале 120-320°C у слабосоленых включений (солёностью 0,2-13,8 мас.%, NaCl-экв) и 100-230°C у более солёных (солёностью ≤26,2 мас.%, NaCl-экв). Водно-углекислотные включения (Рис. 1б) встречаются эпизодически и характеризуются двухфазным (ЖCO₂±CH₄±N₂+ЖH₂O) и реже трехфазным (ЖCO₂±CH₄±N₂+ЖH₂O+Г) составом с температурой плавления -56,6÷-57,2 °С. В составе однофазных углекислотных включений (ЖCO₂±CH₄±N₂) жидкая CO₂ вероятно также доминирует, и часто единственным компонентом, поскольку температура плавления этих включений близка к температуре плавления чистой CO₂ и варьирует в интервале 56,6÷-57,3 °С. Плотность углекислоты в составе растворов, согласно замерам частичной гомогенизации, варьируется достаточно существенно (0,47-1,00г/см³) что говорит об изменении величины давления раствора по мере его эволюции в целом не превышающем 0,2-2,2 кБар.

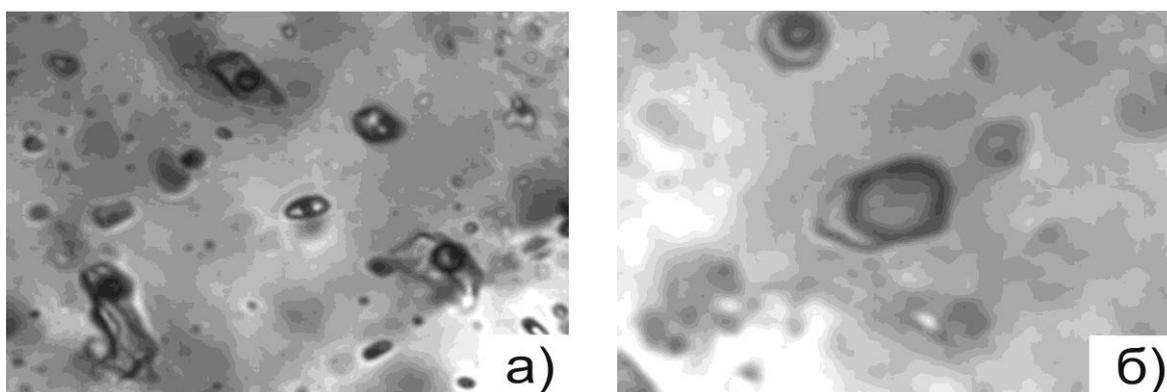


Рис 1. Первичные флюидные включения в кварце: а) двухфазные водносолевые (ЖH₂O+Г); б) двуфазные (ЖCO₂±CH₄±N₂+ЖH₂O)

По результатам хроматографического анализа, основными компонентами рудоносных растворов являются вода и углекислота при незначительном количестве азота, метана и углеводородов. Кварц участка Иочиминский характеризуются повышенной флюидонасыщенностью по сравнению с образцами с участка Марокский и рудопроявления Борковское (1221-2036 мг/кг), а рудоносные растворы пониженной восстановленностью ($K_{восст}=0,001-0,01$), что связано с увеличением количества H₂O и уменьшением доли CO₂ (0,82-6,40%) в составе раствора при соотношении CO₂ к сумме CO₂ и H₂O – 0,01-0,06.

Таким образом, в результате изучения флюидных включений автором установлено, что по мере удаления от интрузивных комплексов гранитного состава происходило уменьшение температуры и давления рудоносных растворов, сопровождающееся уменьшением количества углекислоты, наличие которой, как правило, играет существенную роль в локализации золотого оруденения. Вместе с тем установленные термодинамические параметры рудоносных растворов в сочетании с насыщенностью флюидов солями, присутствием углекислоты в составе включений могут рассматриваться в качестве одного из благоприятных критериев на возможность обнаружения золоторудной минерализации на значительном удалении от общепринятых рудоконтролирующих структур центральной части Енисейского кряжа.