

УДК 548.4

В. А. Буряк, И. С. Неменман, Н. В. Бердников,
А. В. Кожин, Ю. И. Демихов

**ФЛЮИДНЫЙ РЕЖИМ ФОРМИРОВАНИЯ И ИСТОЧНИК РУДООБРАЗУЮЩИХ РАСТВОРОВ
ЗОЛОТОКВАРЦЕВЫХ ЖИЛ АЛЛАХ-ЮНЬСКОЙ ЗОНЫ**

Методами термобарогеохимии и изотопной геохимии изучено золотое оруденение юга Аллах-Юньской зоны. Показан метаморфогенный характер оруденения, образовавшегося в два этапа. На первом этапе формировались жилы альпийского типа, рудный компонент в которых отлагался на участках с наибольшими гра-

диентами условий метагенеза первично-осадочных пород. Второй этап связан с оживлением гидротермальной деятельности за счет термального воздействия нескрытых интрузий. Источником гидротермальных растворов и рудного компонента явились вмещающие жильный комплекс метаморфизуемые породы.

Аллах-Юньская структурно-металлогеническая зона, расположенная на западе присеттедабанской части Южно-Верхоянского синклиория, несет оруденение золото-кварцевой мало-сульфидной формации. Условия формирования оруденения изучены недостаточно, что затрудняет разработку критериев его поисков и оценки. В настоящей статье приведены результаты геологических и петрологических исследований ряда рудопоявлений и вмещающих пород, методами термобарогеохимии и изотопной геохимии изучены жильный кварц и самородное золото. Материал для исследований собран на юге Аллах-Юньской зоны, главным образом в пределах Юрско-Бриндакитской площади (ЮБП). С целью сравнительного анализа изучен жильный кварц из расположенных севернее ЮБП Маринской площади и бассейна р. Кулаха (рис. 1).

Геолого-петрографический очерк. Геология и золотоносность ЮБП ранее рассматривались в работах П. А. Строны, В. А. Слезко, М. К. Силычева и других геологов. В районе развиты литологически контрастные терригенные флишеидные отложения нижнепермско-верхнекаменноугольного возраста, представленные алевропелитами при подчиненной роли метапесчаников, туфодиамиктитов и гравелитов. Пласты осадочных пород смяты в крутые линейные складки близмеридионального простирания и прорваны единичными дайками мезозойских лампрофиров среднего состава. Кластогенные образования в терригенных породах представлены обломками кварца, полевых шпатов, слюд, турмалина, сфена, апатита, углестолу-

дистого филлита, эффузивов кислого и среднего состава, известняков. Новообразования представлены в основном серицитом, гидрослюдой, шлоритом, альбитом и кварцем. Характерно широкое развитие крутопадающего на запад

близмеридионального кливажа сланцеватости, секущего слоистость. Минеральный состав новообразований и текстурные особенности пород свидетельствуют об их слабом метаморфизме в условиях начальных стадий метагенеза [7]. Интенсивность метаморфических преобразований возрастает к северу. По степени перекристаллизации исходного субстрата алевропелитов, количеству и размерам порфиروбласт новообразованного мусковита, достигающих 0,5 м в попереч-

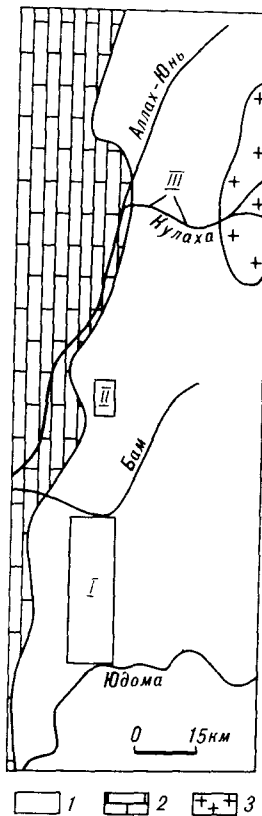


Рис. 1. Районы исследований: I — Юрско-Бриндакитская площадь; II — Маринская площадь; III — район нижнего течения р. Кулаха.

1 — терригенные верхнепалеозойские отложения Южно-Верхоянской структурно-формационной зоны; 2 — карбонатные нижнесреднепалеозойские отложения Сетте-Дабанской структурно-формационной зоны; 3 — позднемеловые гранитоиды.

Рис. 2. Зональность метagenетических преобразований пород ЮБП.

1 — метаалевропелиты с матовой поверхностью кливажа сланцеватости (зона I); 2 — метаалевропелиты с шелковистым блеском поверхности кливажа сланцеватости (зона II); 3 — метаалевропелиты с шелковистым блеском поверхностей кливажа сланцеватости, на которых ясно различимы редкие порфириобласты светлой слюды (зона III); 4 — метаалевропелиты с многочисленными выделениями порфириобласт светлой слюды на поверхности кливажа сланцеватости, имеющей шелковистый блеск (зона IV); 5 — поля ороговиченных (биотитизированных) пород; 6 — разрывные нарушения; 7 — рудные участки.

нике, откартированы четыре сопряженные зоны метagenетических преобразований (рис. 2). Зона IV отвечает наибольшей степени метаморфизма.

Для преобразованных первично-осадочных пород характерно также наличие вторичного биотита, мелкие чешуйки и агрегаты которого располагаются дискордантно по отношению к направлению метаснетической сланцеватости. Сонахождение биотита с гидрослюдой и отсутствие закономерной ориентировки его чешуек говорят об образовании биотита после метанеза. По-видимому, биотитизация явилась следствием повторного прогрева, обусловленного термическим воздействием нескрытых интрузий, которые предполагаются в данном районе по геофизическим данным и по наличию даек лампрофиров. Биотитизация (ороговичивание) пород неравномерна по площади, ее интенсивность в целом увеличивается к северным и южным частям ЮБП.

В пределах ЮБП широко развиты согласные с напластованием и внутрипластовые лестничные кварцевые жилы. Протяженность их по простиранию достигает первых километров. Кварц жил обычно белый, реже серый из-за наличия включений алевросланцев и (или) рассеянного углистого вещества. В согласных жилах установлены рассланцевание и брекчирование серого кварца с последующей его цементацией белым кварцем. Лестничные жилы в пластах песчаников сложены в основном белым кварцем, а серый встречается здесь как правило вблизи окончания жил по восстанию, под перекрывающими пластами алевролитов, образуя иногда собственные маломощные жилы. Серый и белый кварцы пересекаются тонкими прожилками водно-прозрачного кварца, часто с кристалликами горного хрусталя. В небольшом количестве в жилах присутствуют магнезиально-железистые карбонаты, альбит, реже хлорит. Севернее, на Маринской площади и в бассейне р. Кулаха, в толщах биотитовой и ставролитовой ступени метаморфизма встречаются мусковитсодержащие кварцевые жилы. С породами третьей и четвертой зон (см. рис. 2) часто ассоциируют альбитсодержащие жилы кварца, в то время как в первой и второй зонах развиты главным образом карбонатсодержащие жилы.



Жильный кварц имеет массивную, полосчатую, реже брекчиевидную и блоковую структуру, обусловленную наличием полигональных обособлений до 3—5 см в поперечнике. Размер блоков уменьшается с увеличением степени метаморфизма и дислоцированности вмещающих пород. Однотипность минерального состава кварцевых жил и вмещающих пород, зависимость структуры кварца от степени метаморфизма указывают на принадлежность жильного комплекса к альпийскому типу, что подтверждается также уменьшением содержания кремнезема в породах приазальбандовой части жил [5].

Альпийские жилы на территории ЮБП обычно не рудоносны. Однако некоторые из них, а также участки жил, совпадающие с зонами интенсивной складчатости и разрывных нарушений, содержат рудную минерализацию ($\leq 1\%$), представленную арсенопиритом, галенитом, сфалеритом, пиритом и самородным золотом. Такие участки повышенной минерализации, образующие рудопроявления и месторождения, тяготеют к местам наиболее контрастного проявления метагенетической зональности и к ореолам биотитизации. В ряде случаев на них установлена околожильная альбитизация [5].

Гомогенизация и криометрия включений в жильном кварце. Методами гомогенизации и криометрии исследован кварц из безрудных и рудоносных жил.

Безрудный кварц отображен в зонах метатенеза I—IV (см. рис. 2) на значительном удалении от известных рудоносных объектов и не несет признаков золотого оруденения. Для него характерны три генерации кварца. Ранняя генерация (серый кварц) обычно гранулирована, содержит большое количество твердых включений, в том числе метаморфизованного углеродистого вещества. Более поздняя генерация (белый кварц) относительно чистая, развивается в ранней в виде пятен, иногда нацело замещая ее. Позднейшая генерация в виде тонких хрусталеносных прожилков сечет обе первые. Распространенность различных генераций включений в кварце безрудных жил показана в таблице (номера 7—10).

В жильном кварце из зоны I к серому кварцу тяготеют зоны и группы полностью разгерметизированных включений. В белом, реже в сером кварце встречены газиво-жидкие включения низкоконцентрированных водных растворов, начало и конец плавления фазы льда в которых отмечены при $-5,5$ и -2°C соответственно. Полная гомогенизация включений наблюдалась при $150-155^\circ\text{C}$.

В жильном кварце зоны II ранняя генерация включений, тяготеющая к серому кварцу, большей частью разгерметизирована. Невзор-

Распространенность включений различных генераций в жильном кварце ЮБП

Участки, площади, зоны метатенеза	Генерации включений				
	Первичные существенно углекислотные	Первичные водно-углекислотные	Первичные водно-солевые	Вторичные водно-солевые	Водно-солевые в непосредственном контакте с золотом
1. Дуэтский	—	Разгерметизированы	+	—	—
2. Юрский	—	»	+	+	+
3. Финский	—	»	+	—	+
4. Некурский	—	+	+	+	—
5. Маринский	+	+	+	+	—
6. Р. Кулаха	—	+	+	+	—
7. Зона I	—	Разгерметизированы	+	+	—
8. Зона II	—	+	+	+	—
9. Зона III	—	Разгерметизированы	+	+	—
10. Зона IV	—	»	+	+	—

ванные включения имеют водно-углекислотный состав с выдержанным соотношением фаз $\text{Ж}_{\text{H}_2\text{O}} = 60-70\%$. Водная составляющая включений бедна растворимыми солями, так как температура ее оттаивания близка к 0°C , а при охлаждении легко образуются газогидраты, разлагающиеся при $+6-+9,5^\circ\text{C}$. Углекислота во включениях довольно чистая с температурой тройной точки, близкой к -58°C , и гомогенизацией в жидкую фазу при $+20 \div +23,5^\circ\text{C}$. Температура полной гомогенизации таких включений составляет $230-280^\circ\text{C}$.

Поздние генерации флюидных включений содержат водно-солевой раствор, иногда с небольшой визуальной недиагностируемой примесью CO_2 , возможно, других инертных газов, наличие которой предполагается по образованию газогидратов с температурой разложения $+5,5^\circ\text{C}$. Начало плавления фазы льда отмечено в интервале от -21 до $-7,5^\circ\text{C}$, что указывает на присутствие в растворе хлоридов Na (возможно, K) [1]. Судя по температурам окончания плавления фазы льда ($-5,5 \div -2^\circ\text{C}$), концентрация NaCl не превышает 8 мас. %. Гомогенизация водно-солевых включений происходит при $200-230^\circ\text{C}$.

В зоне III изучены кварцевые жилы, генерации кварца в которых однозначно выделить не удалось. Ранние генерации включений в кварце разгерметизированы, а поздние содержат водно-солевой раствор с температурой начала плавления фазы льда $-19,5^\circ\text{C}$, а конца плавления -2°C . Температура полной гомогенизации включений в образцах зоны III измерить не удалось.

В зоне IV, как и в зоне I, ранние генерации включений в сером кварце полностью разгер-

метизированы, а включения в белом кварце наполнены низкоконцентрированным водно-солевым раствором. Температуры начала плавления фазы льда составляют $-9,5 \div -10^\circ\text{C}$ (близко к $T_{\text{эвт}} \text{КСI}$), конца плавления $-3,5^\circ\text{C}$. Полная гомогенизация наблюдалась вблизи 170°C .

Таким образом, как показало изучение включений, формирование безрудных жил началось с кристаллизации серого кварца при участии водно-углекислотных гомогенных растворов с незначительной концентрацией солей. Из-за отсутствия других температурных реперов за нижний температурный предел процесса можно ориентировочно принять значение 280°C . При такой температуре водно-углекислотные включения становятся гомогенными [9]. По данным [9], в растворе с $X_{\text{CO}_2} = 0,3-0,4$ без примесей солей гомогенность при 280°C достигается в интервале давлений $1-1,5$ кбар. Видимо, эти значения можно принять за верхний предел давления образования кварцевых жил, так как при большем давлении гомогенность водно-углекислотных растворов достигается при более низких температурах*.

При наложенном контактовом метаморфизме имел место повторный прогрев, который привел к разгерметизации водно-углекислотных включений и грануляции раннего кварца. Повторный прогрев происходил, по-видимому, без повышения давления, что привело к гетерогенизации водно-углекислотного флюида и удалению большей части углекислоты из флюидной системы, о чем говорит водно-солевой (редко со следами углекислоты) состав поздних генераций включений. Такой прогрев вполне могли обеспечить нескрытые интрузии гранитоидов, обусловившие, как указывалось выше, слабое ороговикование (биотитизацию) вмещающих пород.

Золотоносный кварц изучен в жилах дуэтского (согласные) и финского (внутрипластовые лестничные) структурно-морфологических типов. Заключение о золотоносности этого кварца основано на его положении в пределах рудных столбов и на наличии в нем видимого самородного золота. Последнее ассоциирует с белым кварцем, реже — с поздними хрусталеносными прожилками. Как и безрудный, золотоносный кварц представлен тремя генерациями. Серый кварц фрагментарно гранулирован, белый развивается по нему, иногда замещая нацело, а хрусталеносные прожилки являются самыми поздними. Практически все

изученные образцы содержат ранние генерации водно-углекислотных включений, тяготеющих к серому кварцу и большей частью частично или полностью разгерметизированных. Поздние генерации включений присутствуют как в серой, так и в белой генерации кварца и заполнены водно-солевым раствором с пузырьком газа. Распространение различных генераций включений в изученном материале показано в таблице (см. номера 1—4).

В сером кварце рудоносных жил участка Дуэт ранняя генерация включений декрепитирована. Поздняя генерация включений в сером и белом кварце также частично разгерметизирована. Невзорванные включения заполнены водно-солевыми растворами с первыми признаками плавления фазы льда при $-7,5^\circ\text{C}$, а окончания плавления при $-5,5^\circ\text{C}$. Газоидраты при охлаждении не образуются, гомогенизация в жидкую фазу наступает при $230-260^\circ\text{C}$.

На участке Юр ранние генерации включений, тяготеющие к гранулированному кварцу, полностью декрепитированы. Газово-жидкие первичные и вторичные включения в сером и белом кварце содержат водно-солевой раствор. Начало плавления фазы льда в них наблюдается при $-8 \div 0^\circ\text{C}$, а полное ее исчезновение при $-5 \div 0^\circ\text{C}$. Эти данные говорят о довольно низких концентрациях растворов во включениях (не более $3-5\%$ экв. NaCl). Полная гомогенизация достигается при $170-230^\circ\text{C}$ (первичные) и $160-190^\circ\text{C}$ (вторичные).

Наиболее детально изучены включения в зернах белого кварца, непосредственно контактирующих с выделениями золота. Среди них преобладают газово-жидкие включения водных растворов повышенной концентрации. Начало плавления фазы льда отмечено при $-31,3^\circ\text{C}$, окончание — при -17°C , что, по данным А. С. Борисенко [1], свидетельствует в пользу присутствия во включениях растворов группы хлоридов Ca, Mg и Fe. Анализом водных вытяжек установлено отсутствие в растворах ионов железа и подтверждено преобладание катионов Ca^{+2} и Mg^{+2} . В этом случае концентрация растворов во включениях из кварца, ассоциирующего с золотом, будет порядка $16-19$ мас. % $\text{Ca}(\text{Mg})\text{Cl}_2$. Гомогенизация таких включений в жидкую фазу происходит при 310°C .

В жильном кварце участка Фин ранние генерации включений в сером кварце полностью разгерметизированы. По-видимому, эти включения содержали в качестве одного из компонентов углекислоту, так как небольшие количества CO_2 обнаружены в ореолах дочерних включений вокруг крупных декрепитированных вакуолей. Поздние генерации включений содержат водно-солевой раствор. В основном

* Авторы отдают себе отчет в том, что приведенные оценки T и P более чем приближительны. Однако на имеющемся материале более точные определения произвести невозможно.

объеме белого кварца начало плавления фазы льда наблюдалось при -29°C , полное исчезновение кристаллика льда — при $-2,2 \div -3^{\circ}\text{C}$. Гомогенизация в жидкую фазу нормальных включений наступала при $225-150^{\circ}\text{C}$, частично разгерметизированных — при $260-270^{\circ}\text{C}$. В зернах белого кварца, непосредственно контактирующих с выделениями золота, включения обладают повышенной соленостью. Начало плавления фазы льда наблюдалось при $-31 \div -27,5^{\circ}\text{C}$, окончание — при $-16,5 \div -2^{\circ}\text{C}$. Полная гомогенизация отмечена при температурах $150-180^{\circ}\text{C}$.

Данные криометрии и контрольные анализы водных вытяжек показали преобладание в составе включений катионов Ca^{+2} и (или) Mg^{+2} . Судя по температурам полного растворения фазы льда, в газово-жидких включениях из основного объема кварца концентрации растворов не превышали 5 мас. % $\text{Ca}(\text{Mg})\text{Cl}_2$, а во включениях из кварца, контактирующего с выделениями золота, достигали 18 мас. %.

Серый и белый кварц участка Некур отличается хорошей сохранностью ранних генераций водно-углекислотных включений. Среди них выделяются первичные (первично-вторичные) и вторичные, термобарогеохимические характеристики которых сходны. Близость температуры тройной точки CO_2 во включениях к $-56,6^{\circ}\text{C}$ говорит о чистоте углекислоты, а легкое образование газогидратов, разлагающихся при $+7 \div +10^{\circ}\text{C}$, свидетельствует о низкой концентрации солей в водной фазе, которая занимает 60—70 % объема вакуоли. Частичная гомогенизация (гомогенизация углекислоты в жидкую фазу) первичных включений происходит при $+5 \div +19^{\circ}\text{C}$, а вторичных — при $+22,5^{\circ}\text{C}$. Полная гомогенизация всех водно-углекислотных включений наблюдается при $280-300^{\circ}\text{C}$.

Более поздние генерации включений заполнены водно-солевым раствором. В первичных температуры начала плавления фазы льда составляют $-12 \div -22^{\circ}\text{C}$, а температуры окончания плавления $-3,5 \div -6,5^{\circ}\text{C}$. Этим параметрам, по данным А. С. Борисенко [1], соответствует группа растворов, содержащих NaCl ($T_{\text{эвт.}} = 21,2 \div -23,5^{\circ}\text{C}$) в количестве 5—10 мас. %. Температура полной гомогенизации первичных включений водных растворов лежит в интервале $210-240^{\circ}\text{C}$.

Начало плавления фазы льда во вторичных включениях отмечено при $-8,5^{\circ}\text{C}$, окончание плавления — при -1°C , что говорит о еще более низких концентрациях наполняющих их растворов. Температура полной гомогенизации колеблется около значения 170°C .

С целью сравнительного анализа изучена также термобарогеохимия жильного кварца Маринской площади и нижнего течения р. Кула-

ха — объектов, расположенных севернее ЮБП в породах, претерпевших более интенсивный метаморфизм (номера 5, 6).

В жильном кварце Маринской площади серый кварц замещается белым, в котором преобладают водно-углекислотные включения с различными соотношениями H_2O и CO_2 вплоть до полного визуального исчезновения одного из компонентов. Такое нестабильное наполнение свидетельствует о первичной гетерогенности водно-углекислотного флюида. Значительная часть таких включений разгерметизирована. Соленость водно-углекислотных включений также различна. В некоторых из них при низкой температуре образуются газогидраты CO_2 с температурой разложения $+6,5^{\circ}\text{C}$, что свидетельствует о низкой концентрации солей. В то же время изучены включения с началом плавления фазы льда при $-26,5^{\circ}\text{C}$ и окончанием при $-7,5^{\circ}\text{C}$. Можно предположить, что такие включения помимо углекислоты содержат 10%-й водный раствор хлоридов Ca и (или) Mg или смесь хлоридов Ca , Mg , Na . Температура тройной точки углекислоты во включениях равна $-57,5^{\circ}\text{C}$, а ее гомогенизация в жидкую фазу происходит в широком интервале температур от -5 до $+23,5^{\circ}\text{C}$. При этом низкотемпературная часть интервала ($-5 \div +9,5^{\circ}\text{C}$) характерна для существенно углекислотных включений, а высокотемпературная ($+18 \div +23^{\circ}\text{C}$) — для включения с $X_{\text{CO}_2} \leq 0,5$.

Полная гомогенизация водно-углекислотных включений наблюдалась редко из-за большой склонности к декрепитации. Замеренные значения $230-250^{\circ}\text{C}$ относятся к включениям с $X_{\text{CO}_2} = 0,5$, однако гетерогенная природа захваченного флюида делает эти данные неинформативными.

Если предположить по аналогии с приведенными выше данными по участку Некур, что формирование кварцевых жил происходило при температуре порядка 300°C , то по существенно углекислотным включениям можно оценить давление их захвата [2, 8]. Для наиболее плотных включений чистой углекислоты с температурой гомогенизации -5°C оно составит порядка 2,3 кбар. Косвенным свидетельством в пользу правдоподобности таких оценок является то, что, по данным [9], водно-углекислотно-солевой флюид с соленостью 6—12 % экв. NaCl при $T = 300^{\circ}\text{C}$ и $P = 2$ кбар является гетерогенным.

Более поздние генерации водных газово-жидких включений также имеют невыдержанное наполнение, так как часто расщипрованы. Судя по температурам окончания плавления фазы льда ($-6,5^{\circ}\text{C}$ в первичных и $-2 \div 0^{\circ}\text{C}$ во вторичных), концентрации солей в них невелики (8 мас. % и 0 мас. % эквиваленты NaCl для первичных и вторичных включений соответственно).

В жильном кварце, отобранном в нижнем течении р. Кулаха, установлена лишь его белая генерация. В нем преобладают мелкие газо-жидкие включения водных растворов. В первичных при замораживании образуются газогидраты, разлагающиеся при $+6^{\circ}\text{C}$, что, по-видимому, говорит о присутствии в них небольшого количества CO_2 или других неполярных газов. Полная гомогенизация таких включений происходит при 275°C . Во вторичных включениях начало плавления фазы льда отмечалось при -22°C , а окончание при $-6 \div 3,5^{\circ}\text{C}$, что соответствует растворам, содержащим 5—10 % NaCl . Температуры гомогенизации вторичных включений варьируют в пределах 220°C , в ряде случаев достигая 330°C .

Таким образом, общая картина формирования рудоносных жил совпадает с таковой для жил безрудных. Их образование также началось с отложения ранней генерации серого кварца при участии водно-углекислотного флюида, соленость которого в основном была низка, что обеспечивало его гомогенность. Лишь на Маринской площади водно-углекислотный флюид имел повышенную соленость, и, как следствие, был гетерогенным. Следует отметить, что на этой площади углекислота встречается и во включениях из белого кварца. Как показывают предварительные оценки, параметры «водно-углекислотного» этапа формирования рудоносных и безрудных жил также близки: $T \approx 300\text{—}330^{\circ}\text{C}$, $P \approx 2$ кбар*. Как и в безрудных жилах, водно-углекислотные включения в сером кварце рудоносных жил в основном разгерметизированы, что можно объяснить повторным прогревом при контактовом метаморфизме.

По-видимому, прогрев вызвал дегазацию углекислоты из флюида, после чего началось образование второй (белой) генерации кварца и газо-жидких существенно водных (без CO_2) включений флюида. При этом в рудогенерирующем флюиде существенно возросло содержание $\text{Ca}(\text{Mg})$, в чем состоит главное термобарогехимическое отличие рудоносного кварца от безрудного.

Декрептометрический анализ кварца золотоносных жил и самородного золота. Термовакuumная декрепитация проводилась на установке ВД-3 по стандартной методике (В. Н. Труфанов и др., 1982 г.) с целью оценки суммарной флюидонасыщенности пород, определения температурных интервалов газовыделения, сопоставления с результатами гомогенизации включений и отбора проб для газовой хроматографических исследований.

* Реальные температуры образования жил с учетом поправок на давление могут быть выше на $100\text{—}150^{\circ}\text{C}$.

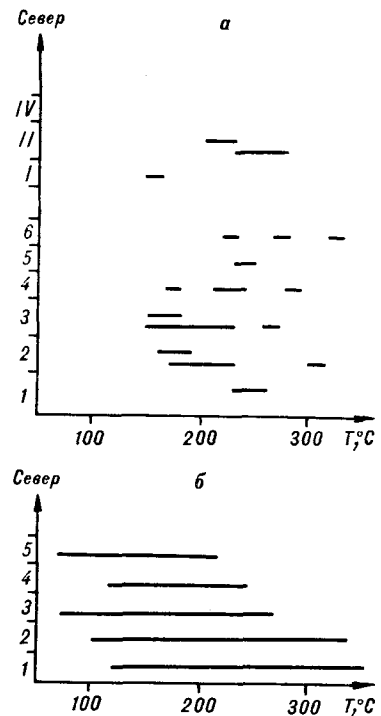


Рис. 3. Температурные интервалы гомогенизации включений в кварце золотоносных и безрудных жил (а), и декрепитационной активности кварца золотоносных жил (б).

1 — Дуэт; 2 — Юр; 3 — Фин; 4 — Некур; 5 — Маринская площадь; 6 — район нижнего течения р. Кулаха; I — IV — безрудные жилы в зонах постдиagenетических преобразований в соответствии с рис. 2.

Изучен рудоносный кварц без разделения на генерации. Нагрев производился до получения эффекта $\alpha - \beta$ -перехода. Установлено, что декрепитационная активность проб значительно варьирует в координатах $T - \Delta P$. Полное отсутствие флюидовыделения в части проб с участков Дуэт, Юр и в меньшей мере Фин объясняется, по-видимому, естественной декрепитацией включений.

Информативные декрептограммы были проанализированы в сравнительном плане. На рис. 3 видно сужение температурных интервалов декрепитационной активности кварца в северном направлении и смещение их в область более низких температур, что противоречит результатам гомогенизации включений. В данной ситуации, с учетом сведений о составе флюида включений, это противоречие вполне объяснимо, так как с юга на север в рудоносном кварце увеличивается сохранность водно-углекислотных включений. Последние чрезвычайно склонны к декрепитации, которая часто наступает еще до их гомогенизации. Этот факт еще раз подтверждает положение о том, что по декрептограммам без изучения состава индивидуальных флюидных включений невозможно корректно оценить условия образования пород.

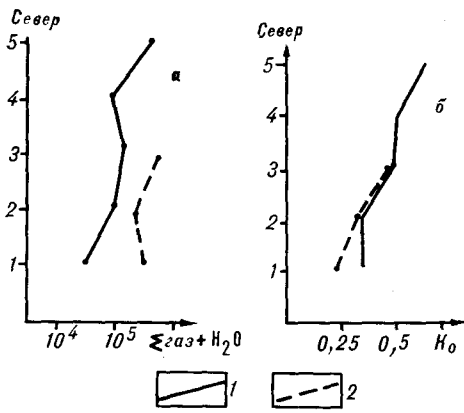


Рис. 4. График изменения общей флюидонасыщенности (а) и коэффициента окисленности флюида (б) в рудносном кварце (1) и в самородном золоте (2). Объекты исследования (1—5) — аналогично рис. 3.

Растяннутость пиков газовой выделению по шкале температур ранее объяснялась полигенностью жильного кварца (С. А. Куршев и др., 1984 г.), что подтверждается нашими данными по изучению индивидуальных включений.

Максимальной флюидонасыщенностью характеризуется температурный интервал 150—400, а для большинства проб — 150—250 °С. Общая флюидонасыщенность кварца возрастает к северу (рис. 4, а), а температурный интервал максимального газовой выделения сужается к северу и к югу от участка Юр.

Самородное золото методом декрепитации проанализировано в шести пробах. Нагрев производился до 800 °С. Сравнительный анализ декрепитограмм проведен на диаграмме $T - \Delta P$ по методике А. В. Кокина [4]. Установлено, что флюидонасыщенность золота, аналогично кварцу, повышается от Дуэта через Юр, к Фиву, т. е. на север (см. рис. 4, а).

Хроматографическое изучение состава флюида. Методом газовой хроматографии на установке ЛХМ-8МД с извлечением газов термовскрытием изучен состав флюидной фазы кварца рудных жил (без разделения на генерации), а также самородного золота. В составе флюида определялись содержания H_2O , CO_2 , CH_4 , C_2H_2 , CO , N_2 , NH_3 , H_2S и H_2 . Как и исследования индивидуальных включений, хроматографический анализ показал увеличение доли CO_2 во флюиде при движении от южного фланга ЮБП к северному. В этом же направлении повышается рассчитанный по методике В. А. Гуменюка [3] коэффициент окисленности флюида (см. рис. 4, б), понижаются отношения CO/CO_2 , суммы восстановленных газов к сумме H_2O и CO_2 . В то же время в южном направлении растет роль восстановленных газов и воды во флюиде.

Аналогичные закономерности выявляются и при анализе данных хроматографии самород-

ного золота. Важно подчеркнуть, что отдельные температурные интервалы газовой выделения из самородного золота характеризуются как существенно водным, так и водно-углекислотным составом. Данное обстоятельство может, по-видимому, интерпретироваться как признак отложения золота, аналогично кварцу, в ходе двух этапов минералообразования.

Региональные вариации состава флюида, выявленные хроматографическим анализом, можно, по-видимому, объяснить влиянием повторного прогрева. Доля углекислоты увеличивается в кварце и самородном золоте участков, расположенных на северном фланге узла, где интенсивность прогрева была менее значительна и сохранились первичные водно-углекислотные включения. В то же время в кварце центральных и южных участков флюид обогащен водой и восстановленными газами, т. е. компонентами, оставшимися после дегазации CO_2 . Кроме того, на юге ЮБП — там, где интенсивность повторного прогрева была максимальной — увеличению доли восстановленных компонентов во флюиде могли способствовать процессы термического преобразования метаморфизованного рассеянного органического вещества.

Изотопно-геохимические исследования.

С целью выяснения природы рудообразующего флюида определен состав изотопов кислорода и водорода воды, выделенной из рудного кварца. Анализ проб выполнен в ИГиФМ АН УССР по разработанной в этом институте методике.

Установлены значительные вариации изотопного состава кислорода ($\delta^{18}O$ (-4,6 ÷ 9,0 ‰) и водорода (δD (-85 ÷ 142 ‰)). В целом изотопные отношения сдвинуты в область низких значений, что существенно отличает их от изотопных характеристик стандартной средней океанической воды (SMOW), а также от первично-магматических и собственно метаморфических высокотемпературных вод, выделяющихся в процессе метаморфической дегидратации при температурах 300—600 °С и выше (рис. 5).

Как можно заключить из анализа литературных источников [6 и др.], полученные изотопные характеристики отвечают метаморфизованной метеорной воде северных и умеренных широт Северного полушария, вовлеченной в глубинные гидротермальные системы. В частности, они близки к изотопным соотношениям, установленным для стратиформных месторождений полиметаллов и в рассолах нефтяных месторождений Северной Америки (бассейн Альберта). Не исключено, что рудообразующие растворы были в определенной мере полигенными, представляя собой смесь амагматических вод различного генезиса, прежде всего катагенетических, метаморфических и метеорных при резко преобладающей роли последних.

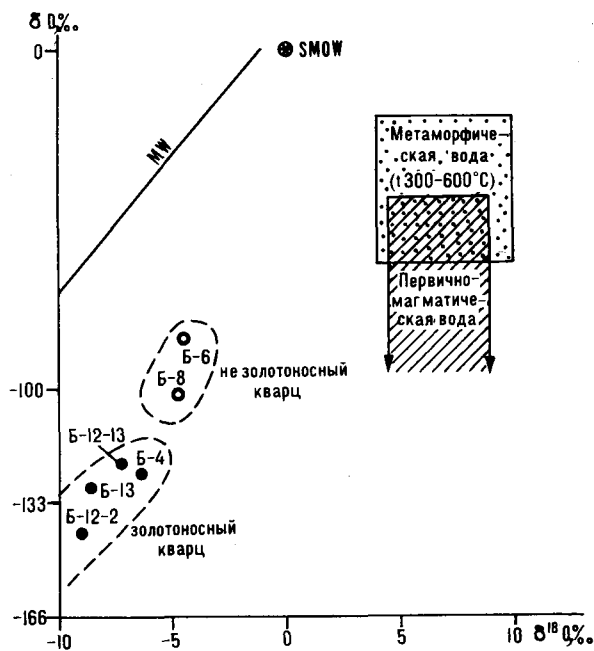


Рис. 5. Изотопные характеристики водорода и кислорода в воде флюида газово-жидких включений из жильного кварца ЮБП. SMOW — стандарт средней океанической воды; MW — линия метеорной воды.

Рудные кварцы в сравнении с безрудными имеют существенно более низкие значения изотопного состава кислорода $\delta^{18}\text{O}$ (соответственно $-4,6 \div 4,8$ и $-6,4 \div 9,0\text{‰}$) и водорода δD (соответственно $-121 \div -142$ и $-85 \div -102\text{‰}$). Рудный кварц более значительно отличается от SMOW, по-видимому, вследствие трансформации первичного флюида под влиянием метаморфизирующего воздействия предполагаемых нескрытых массивов гранитоидов.

Обсуждение результатов. Приведенные результаты исследований позволяют реконструировать этапность и флюидный режим формирования оруденения, связать рудный процесс с основными геологическими событиями на территории ЮБП.

Выше мы показали, что вмещающий оруденение жильный комплекс имеет альпийскую природу, т. е. как безрудные жилы, так и их рудоносные участки начали формироваться во время метабенетических преобразований вмещающих пород. Образование жильного комплекса происходило при участии водно-углекислотного флюида, источником которого, по данным изотопной геохимии, были сами метаморфизирующиеся толщи. Катионная специализация флюида была преимущественно натриевая (возможно, с калием), анионная, вероятнее всего, хлоридная. Водно-углекислотный состав флюида установлен в ряде проб самородного золота. Следовательно, отложение золота из гидротермальных растворов шло еще во время первого («альпийского») этапа образования

жил. Как показали полевые исследования, рудообразование наиболее интенсивно шло на участках с максимальными градиентами условий метабенеза. И это вполне понятно, так как именно здесь параметры растворов (в первую очередь температура) существенно менялись, что приводило к их дестабилизации и выпадению рудного компонента. Таким образом, первый этап рудообразования в пределах ЮБП непосредственно связан с региональным метаморфизмом осадочных толщ.

Второй этап рудообразования выделяется на основании анализа отличий жильного кварца рудоносных жил от безрудного, которые состоят в следующем. Во-первых, флюидные включения второго этапа в рудоносном кварце характеризуются водно-солевым составом при повышенном содержании солей $\text{Ca}(\text{Mg})$. Во-вторых, в их составе содержится флюид с другими изотопными характеристиками. Эти различия достаточно логично объясняются термальным воздействием нескрытых интрузий на функционирующую гидротермальную систему. Повторный прогрев привел к трансформации изотопного состава гидротермальных растворов, активизировал их восходящее движение по зонам разрыва. Следствием этого явилось проникновение в верхние горизонты гидротермальной системы глубинных растворов, несущих тепло и обогащенных щелочно-земельными катионами (Ca , Mg). Последнее можно объяснить дегазацией самих нескрытых интрузий или, что более вероятно, кальциево-магниевого специализацией подстилающих терригенно-карбонатных толщ нижнего — среднего палеозоя. Привнос в зону рудоотложения глубинных горячих растворов иной катионной специализации обусловил термическую и химическую дестабилизацию рудоносного раствора, выпадение из него рудного компонента. Поэтому руды второго этапа локализованы преимущественно в зонах наиболее интенсивных разрывных нарушений, а флюид в них обогащен изотопами кислорода и водорода глубинного амагматического происхождения.

В заключение следует отметить, что предложенная двухэтапная модель формирования оруденения, включающая в себя последовательное развитие двух геологических процессов — регионального и контактового метаморфизма, реализуется при недостатке флюида во время последнего. На территории ЮБП контактовый метаморфизм (повторный прогрев) в региональном плане был достаточно «сухим», что выразилось в отсутствии здесь обширных полей метасоматитов и новообразованного жильного комплекса. Проникновение в зону рудоотложения глубинных растворов по зонам разрывов обусловило локальный характер оруденения.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Борисенко А. С.* Изучение солевого состава растворов газово-жидких включений в минералах методом криометрии // Геология и геофизика.— 1977.— № 8.— С. 16—27.
2. *Варгафтик Н. Б.* Справочник по физическим свойствам газов и жидкостей.— М.: Наука, 1972.
3. *Гуменюк В. А.* Коэффициент окисленности газовой составляющей включений и возможности его использования // Термобарогеохимия эндогенных процессов: Тез. Всесоюз. совещания.— Благовещенск, 1984.— С. 177—179.
4. *Кокин А. В.* Термобарометрия самородного золота и его минералов-спутников из месторождений Юго-Восточной Якутии // Геология и геофизика.— 1981.— № 5.— С. 74—79.
5. *Мельцер М. Л., Назаров И. И.* Гидротермально измененные породы как показатель условий рудообразования на месторождениях золота Южного Верхоянья // Тектономагматические и металлогенические проблемы геологии Якутии/ЯГУ.— Якутск, 1987.— С. 90—98.
6. *Тейлор Х. П.* Изотопы кислорода и водорода в гидротермальных рудных месторождениях // Геохимия гидротермальных рудных месторождений.— М.: Мир, 1982.— С. 200—233.
7. *Шванов В. Н.* Литоформационные корреляции терригенных и метаморфических толщ: Южный Тянь-Шань.— Л.: Изд-во ЛГУ, 1983.
8. *Шмулович К. И., Шмонов В. М.* Таблицы термодинамических свойств газов и жидкостей: Двуокись углерода.— М.: Изд-во стандартов, 1978.
9. *Bowers T. S., Helgeson H. C.* Calculation of the thermodynamic and geochemical consequences of non-ideal mixing in the system H_2O-CO_2-NaCl on phase relations in geologic systems: Equation of State for H_2O-CO_2-NaCl fluids at high pressures and temperatures // *Geochim. et Cosmochim. Acta.*— 1983.— V. 47.— P. 1247—1275.

ДВИМС, ИГиГ ДВО АН СССР
Хабаровск

Поступила в редакцию
10 апреля 1989 г.