

Г.С. Мирзеханов, И.С. Неменман, Н.В. Бердников

## РУДНО-МЕТАСОМАТИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ И ФЛЮИДНЫЙ РЕЖИМ ФОРМИРОВАНИЯ ЗОЛОТОКВАРЦЕВОГО ОРУДЕНЕНИЯ ХУДЖАХ-БЕРЕЛАХСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ (Северо-Восток России)

На ряде типоморфных участков с оруденением золотокварцевой малосульфидной формации юго-восточного фланга Яно-Колымского золотоносного пояса изучен минеральный состав руд и сопутствующих метасоматитов во вмещающих углеродисто-терригенных толщах. Методами термобарогеохимии исследован кварц золотоносных и безрудных жил. Установлено, что основными типами метасоматических преобразований являются карбонатизация, шунгитизация и сульфидизация при подчиненной роли серицитизации, которые в разных соотношениях проявляются на всех золотоносных участках. Доказывается принадлежность перечисленных типов метасоматитов к генетически единой вертикальной колонне метасоматической зональности окислительно-восстановительного типа. С этих позиций обсуждаются минералогия и продуктивность золотого оруденения, а также состав флюида во включениях из кварцевых жил. Предлагается использовать выявленные закономерности для поисков, прогнозирования и предварительной оценки рассматриваемого типа оруденения.

Исследованный район (рис. 1) включает контактирующие по Чай-Юрюинскому глубинному разлому структуры Иняли-Дебинского синклиория и Аян-Юряхского антиклиория. В металлогеническом плане он отвечает части юго-восточного фланга Яно-Колымского золотоносного пояса. Преимущественным развитием здесь пользуются углеродисто-терригенные отложения Верхоянского комплекса, вмещающие оруденение золотокварцевой формации, которое сопровождается многочисленными россыпями. Закономерности размещения и условия формирования этого оруденения в Яно-Колымском поясе являются предметом постоянных исследований и дискуссий.

В настоящей статье приводятся результаты геологических, минералогическо-петрографических и термобарогеохимических исследований типоморфных для района золотоносных объектов.

### Геолого-металлогенический очерк

Сведения о геологическом строении района базируются на данных геолого-съемочных работ. Исследования обобщающего характера проведены Н.А. Шилов, Г.А. Гринбергом, А.П. Соболевым, Н.А. Резановым, Л.И. Красным и другими геологами.

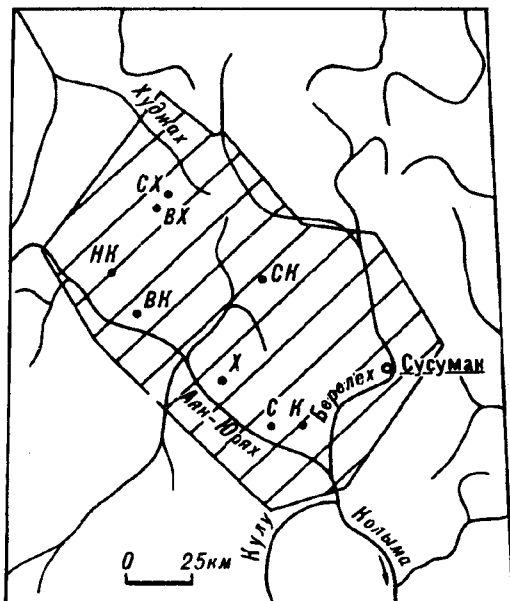
Развитые в районе углеродисто-терригенные толщи характеризуют временной интервал формирования миогеосинклинальных отложений от верхней перми до средней юры. В зоне Чай-Юрюинского глубинного разлома сформированы верхнемеловые впадины, выполненные вулканогенно-осадочными угленосными отложениями. В совокупном разрезе преобладают алевропелиты, мелкозернистые песчаники, алевролиты. В подчиненном количестве присутствуют среднезернистые песчаники, конгломераты и конглобрекции. Слоистая толща смята в линейные складки преимущественно северо-западного простирания, местами переходящего в северо-восточное в соответствии с развитыми здесь главными разрывными нарушениями.

Магматические образования представлены поясами и полями даек пестрого состава, внедрение которых происходило от поздней юры до позднего мела. Близкие дайкам по возрасту массивы гранитоидов, а также малые интрузии среднего, основного и субщелочного составов распространены ограничено.

Золотое оруденение чаще всего ассоциирует с дайками средне-основного состава, которые в одних случаях пересекают рудоносные жилы, а в других сами пересекаются ими. Для района характерна высокая экстенсивность

Рис. 1. Географическая схема района работ (заштриховано).

Точки — участки детальных наблюдений: НК — Новая Контрандя, Х — Хатынгнах, СХ — Средний Хакчан, ВХ — Верхний Хакчан, СК — Старая Контрандя, ВК — Виола-Кварцевый, С — Снежный, К — Кресты.



развития оруденения золото-кварцевой формации, представленного многочисленными участками минерализации, рудопроявлениями, редко месторождениями (Светлое, Мальдяк) при узловом характере их распределения.

Значительные линейные параметры имеет оруденение, развитое в углеродисто-терригенных отложениях\*. Оно представлено четырьмя основными структурно-морфологическими типами: субогласные и согласные жилы и их свиты; секущие жилы и их свиты; системы лестничных жил и прожилков; зоны сетчатого прожилкования. Кварцевые жилы и прожилки содержат переменное количество сульфидов, доля которых не превышает обычно 2—3 %, а также самородное золото. Породы, вмещающие оруденение, содержат полигенную сульфидную вкрапленность, представленную, в основном, пиритом.

В процессе исследований по оценке перспектив углеродисто-терригенных толщ района на различные морфогенетические типы золотого оруденения нами были исследованы участки развития золотой минерализации Хатынгнах, Средний и Верхний Хакчан, Виола-Кварцевый, Снежный, Кресты, Старая и Новая Контрандя и другие. При этом были обнаружены характерные для оруденения этого типа слабые окологорные (околожильные) метасоматические изменения. Отмечено также большое разнообразие региональных постдиагенетических преобразований пород осадочного комплекса, выражающихся в карбонатизации, сульфидизации, образовании прожилков и вкраплений углеродистого вещества (УВ), жильном и прожилковом окварцевании. Важное металлогеническое значение таких преобразований углеродисто-терригенных толщ ранее было доказано для золотоносных районов Восточной Сибири [11] и юго-западного Узбекистана [1]. Как показали наши исследования, юго-восточный фланг Яно-Колымского золотоносного пояса в этом смысле не является исключением.

Типы метасоматических изменений рассмотрим на примере ряда из трех эталонных золотоносных участков: Новая Контрандя — Средний Хакчан — Кресты. В структурном плане они располагаются в пределах Аян-Юряжского антиклинария.

Участок Новая Контрандя (рис. 2) характеризуется кварцево-жильным оруденением в сложнислоцированных породах среднего—верхнего триаса, которое сопровождается аллювиальной россыпью в одноименном ручье. Участок приурочен к юго-западному периклинальному замыканию крупной антиклинали северо-восточного простирания.

Разрез рудовмещающей толщи сложен преимущественно алевролитами с маломощными (1—10 мм) прослоями тонкозернистых песчаников. В меньшей мере распространены пачки неслоистых аргиллитов, алевролитов и ритмичного переслаивания алевропелитов и тонкозернистых песчаников. Встречаются редкие горизонты среднезернистых песчаников, а также линзы конгломератов, конглобрекчий и известковистых аргиллитов.

\* Слабая золотая минерализация, наложенная на дайки и штоки, здесь не рассматривается.

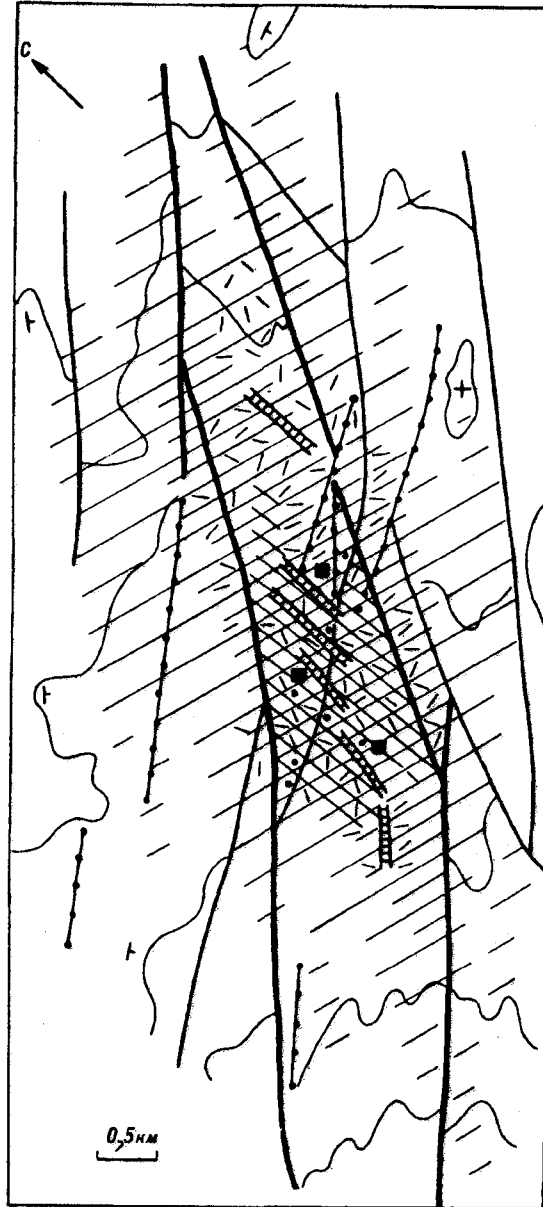


Рис. 2. Схема распространения гидротермалитов на участке Новая Контрандия.

1 — ниже-среднетриасовые кливажированные алевропелиты с подчиненным количеством песчаников; 2 — карбонатизированные дайки среднего и кислого составов; 3—5 — метасоматическая вкрапленность порфириобласт сидерита, размерами (в мм) от 0,5 до 1,5 (3), от 0,2 до 0,5 (4), меньше 0,2 (5); 6 — серицитизация; 7 — сульфидизация; а — мелкая (меньше 1 мм) вкрапленность пирита, арсенопирита, пирротина, б — крупные (до 10 мм, в среднем 3—5 мм) кристаллообласть пирита, редко арсенопирита; 8 — золотоносные жильные и жильно-прожилковые зоны вне масштаба; 9 — разрывные нарушения; а — главные, б — второстепенные; 10 — залегание слоев: а — наклонное, б — горизонтальное.

Породы осадочной толщи имеют общее пологое (10—20°) падение на юг и юго-восток, на фоне которого выделяется полоса интенсивных складчато-разрывных дислокаций северо-восточной ориентировки шириной около 3 км, отвечающая ранее выделенной В.И. Кудиным (1966 г.) Контрандинской зоне разломов. В ее пределах породы смяты в разнопорядковые складки с углами падения на крыльях до 70° и интенсивно кливажированы.

Магматизм на участке представлен дайками среднего и основного состава, возраст которых определен как позднеюрский. Они ориентированы под углом до 30° к Контрандинской зоне разломов и в ее пределах сильно осветлены в связи с метасоматической карбонатизацией.

Ведущим типом гидротермально-метасоматических преобразований углеродисто-терригенных толщ участка является карбонатизация при подчиненной роли серицитизации, сульфидизации и жильно-прожилкового окварцевания. Ореол метасоматических

изменений сопровождается широким развитием кварцево-жильных образований, в том числе за его пределами, где они содержат до 15 % хлорита, карбоната и альбита. По направлению к центру ореола метасоматитов установлена тенденция к уменьшению содержания этих минералов в жилах при возрастании (до 30 %) доли рудных, представленных пиритом, арсенопиритом, галенитом, сфалеритом, тетраэдритом, халькопиритом, пирротинитом, магнетитом, золотом.

Мощность рудных жил достигает первых метров, протяженность по простиранию — первых сотен метров. Падение их крутое, простирание близмеридиональное, северо-западное и северо-восточное. Морфология жил в основном простая, плито- и линзообразная. Близмеридиональные жилы

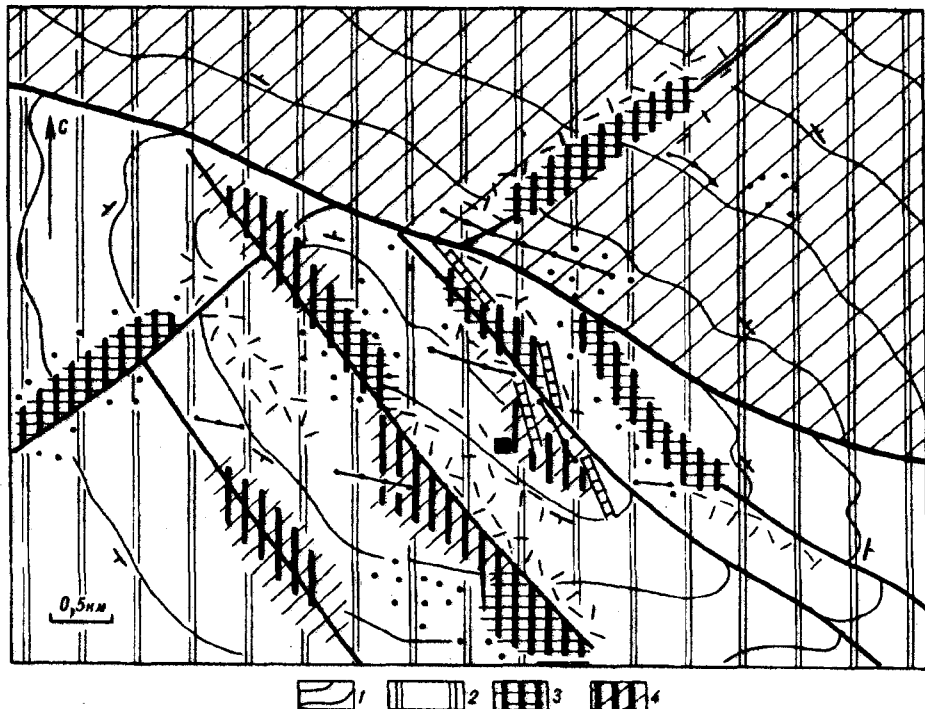


Рис. 3. Схема распространения гидротермалитов на участке Средний Хакчан.

1 — верхнепермские алевропелиты с горизонтами песчаников; 2 — повышенное содержание дисперсного углеродистого вещества в сочетании с редкими шунгитовыми микропрожилками; 3 — зоны интенсивного развития микропрожилков шунгита с хлоритом, серицитом и кварцем, а также прожилков (до 1 см) шунгита с кварцем, пиритом, анкеритом; 4 — то же, в сочетании с метасоматической вкрапленностью порфираобласт карбоната от 0.2 до 1.5 мм. Остальные условные обозначения см. на рис. 2.

часто образуют эшелонированные и кулисные системы. Содержание золота в них достигает 14, а серебро — 300 г/т.

На участке Средний Хакчан (рис. 3) проявлено кварцево-жильное оруденение в толще верхней перми (кулинская свита). Оно является источником питания россыпи в среднем течении руч. Хакчан и его притоков.

Участок приурочен к юго-восточному периклинальному замыканию антиклинали северо-западного простирания, в разрезе которой выделяются следующие литологические разновидности: песчаники, песчаные алевролиты, алевропелиты, аргиллиты, углистые аргиллиты и пелитоморфные углистые известняки. В составе слоистой толщи резко преобладают алевролитовые и пелитовые разности.

Рудоконтролирующая антиклиналь шириной около 5 км осложнена складками более высокого порядка с падением крыльев 30—60°. К таким складкам тяготеют отдельные рудопроявления участка. Широко развитые разрывные нарушения имеют в основном северо-западное и северо-восточное простирание. В алевропелитах проявлен крутопадающий кливаж запад-северо-западной ориентировки.

Проявленные на участке дайки диоритовых порфиринов и лампрофиров отнесены Я.А. Николаевой (1976 г.) к позднеюрскому интрузивному комплексу. Простираются они преимущественно в северо-западном направлении и обычно сильно осветлены в связи с метасоматическими изменениями, выражающимися в обильном развитии карбонатов, серицита, хлорита и прожилков кварца с пиритом, арсенопиритом, халькопиритом.

Ведущим типом метасоматических преобразований является шунгитизация. Исследованный участок представляет собой центральную часть обширного поля гидротермалитов с повышенным содержанием углеродистого вещества. Последнее в тонкодисперсном виде содержится в терригенных породах, образует редкие шунгитовые микропрожилки. Характерны также

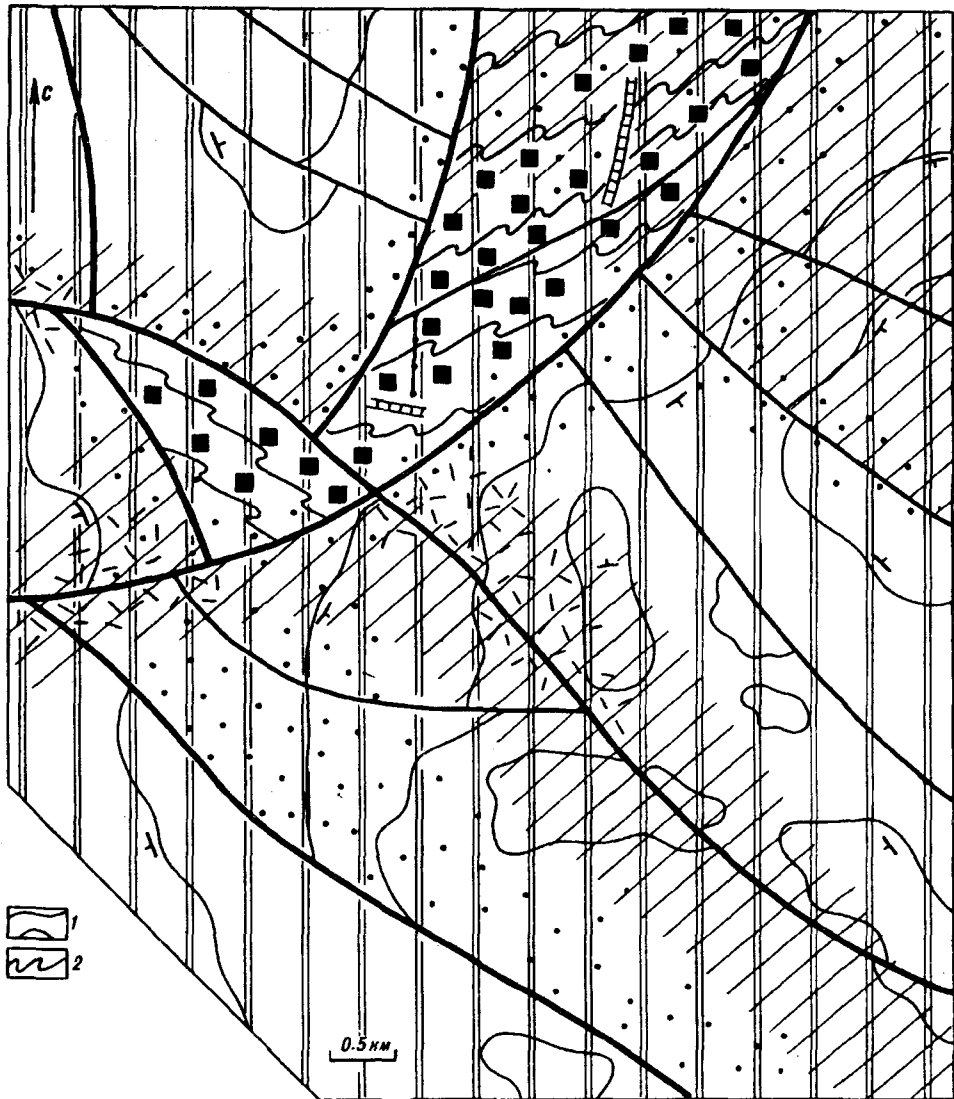


Рис. 4. Схема распространения гидротермалитов на участке Кресты.

1 — пермско-триасовые алевролиты с галькой магматических пород и горизонтами песчаников; 2 — зоны мелкой складчатости, милонитизации, прожилков кварца альпийского типа. Остальные условные обозначения см. на рис. 2, 3.

жилы и прожилки кварца альпийского типа. На этом фоне выделяется поле метасоматической вкрапленности мелких порфиробласт карбоната и линейные зоны шунгитизации, серицитизации, карбонатизации, тонкой вкрапленности сульфидов, которые контролируются разрывными нарушениями.

В составе кварцевых жил присутствует до 40 % хлорита, карбоната и альбита. Пирит, арсенопирит, тетраэдрит, халькопирит, сфалерит, галенит, пирротин, магнетит, золото в количестве до 3 % развиты в тех жилах, где хлорит, карбонат и альбит отсутствуют. Параметры золотоносных жил чрезвычайно изменчивы и достигают по мощности первых метров, а по простиранию — первых десятков метров. Их форма обычно сложная, что выражается в многочисленных апофизах, ветвлении, пережимах. Ориентировка золотоносных жил преимущественно северо-западная. Характерна группировка жил в кулисообразно построенные зоны северо-западного простирания шириной 20—30 м. Кулисные зоны обычно приключаются к рудо-

контролирующим разломам, которые на этих участках несут мелкопрожилковое окварцевание и сульфидную минерализацию.

По данным Д.П. Филиппова (1946 г.), содержание золота в отдельных бороздовых пробах из кварцевых жил достигало десятков грамм на тонну.

Участок Кресты (рис. 4) характеризуется проявлением золоторудной минерализации в кварцевых жилах и прожилках, залегающих в сложнодислоцированных пермско-триасовых терригенных отложениях. Она является источником аллювиальной россыпи в бассейне одноименного ручья. Участок приурочен к узлу пересечения разрывных структур северо-западного и северо-восточного простирания, входящих, по-видимому, в систему дислокаций, составляющих Чай-Юрюинский глубинный разлом. Его осевая часть проходит чуть севернее по долине одноименной речки, известной своей уникальной россыпью.

Осадочный комплекс, в составе которого выделяются алевропелиты, алевролиты, песчанистые и гравелитистые алевролиты, песчаники, подвергнут интенсивным складчатым и разрывным дислокациям. В результате здесь фиксируются фрагменты отдельных синклинальных и антиклинальных складок северо-восточного и северо-западного направлений. Широко развит кливаж. В узких отдельных блоках породы преобразованы в тонкосланцеватые милониты с характерной сланцеватой или микроплойчатой текстурой и лепидобластовой структурой. Широко развиты разнообразные по мощности жилы и прожилки кварца альпийского типа, имеющие линзовидную форму и образующие иногда ярусные залежи.

Исследованный участок является центральной частью крупного поля гидротермалитов с повышенным содержанием дисперсного углеродистого вещества в терригенных породах в сочетании с шунгитовыми микропрожилками, мелкой вкрапленностью сульфидов. Обычны жилы и прожилки кварца альпийского типа. На общем фоне наиболее ярко выделяются широкие линейные зоны развития кристаллобласт сульфидов, совпадающие с блоками милонитов, а также контролируемые разрывными нарушениями поля серицитизации и карбонатизации. В целом же ведущим типом преобразований на участке является сульфидизация.

На участке установлены единичные дайки кислого и среднего состава, измененные метасоматическими процессами, как и на Новой Контранде и Среднем Хакчане.

Кварцево-жильные образования на участке представлены зонами сетчатого прожилкования в песчаниках, отдельными субпластовыми жилами в пачках литологически контрастного строения и вышеупомянутыми линзовидными жилами и прожилками в блоках милонитов. Мощности отдельных жил достигают 1,5 м, протяженность их по простиранию не превышает 10—15 м. В блоках милонитов установлены отдельные зоны повышенной концентрации потенциально рудоносных жил, содержащих до 2 % сульфидов (пирит, тетраэдрит, галенит). Жильные минералы кроме кварца представлены иногда хлоритом и (или) карбонатом. Содержания золота в отдельных пробах достигают десятых долей грамм на тонну.

Приуроченные к разным стратиграфическим уровням единого разреза, три описанных участка характеризуют определенные уровни эрозионного среза однотипных рудоконтролирующих разрывных структур. Это подтверждается закономерным изменением характера проявленных в них дислокаций и дислокационного метаморфизма. Так, от Новой Контранды к Крестам возрастает роль пластического течения пород в зонах разрывов и преобразования их в тонкозернистые тектониты и милониты, которые сопровождаются выделением сегрегационных прожилков кварца. Справедливость такого расположения подтверждается также некоторыми минерало-геохимическими особенностями золотоносных жил, о чем речь пойдет ниже.

Возможность отнесения вышеназванных эталонных участков к формационно и генетически однородной группе определяется их принадлежностью к единой золотокварцевой формации малосульфидных руд золотожелезистого (пиритового), золотомышьяковистого и золотополиметаллического

геохимических типов [6], локализующихся в однотипных разрезах углеродисто-терригенных толщ. На генетическое родство этих участков указывает однотипный характер сопровождающего их метасоматоза, развитого на фоне региональных метаморфических преобразований.

### Постдиагенетические преобразования

Исследованиями М.Л. Гельмана и М.П. Крутоус (1975—1987 гг.) в северо-восточных регионах России показано большое значение постдиагенетических (метаморфических и метасоматических) преобразований углеродисто-терригенных толщ для размещения оруденения золотокварцевой формации, а также для его прогнозирования и оценки. Установлено, что оруденение отмечается в ареалах площадного железомagneзиально-кальцевого и сопряженного с ним щелочного метасоматоза, проявляющегося в связи с регрессивной стадией регионального плутонометаморфизма.

Нами установлены новые факты, позволяющие по-иному оценить геологическую сущность процессов площадного метасоматоза на золотоносных участках, а также практическое значение разных форм его проявления. Основные из них следующие:

нахождение продуктов метасоматоза вне связи с региональным плутонометаморфизмом, в породах, измененных на стадии катагенеза;

многообразие форм нахождения в метасоматитах самородного углеродистого вещества, связанное с его активным привнесом и (или) переотложением;

ведущая роль углерода в петрохимическом облике основных метасоматических преобразований;

существенное разделение по вертикали продуктов привноса и (или) переотложения УВ, серицитизации, новообразованных сульфидов и карбонатов, обуславливающее разнообразие их сочетания на уровнях разных эрозионных срезов рудовмещающих структур.

Специализированные исследования постдиагенетических изменений пород Верхоянского комплекса в рассматриваемом районе ранее не проводились. На основании результатов региональных геологических съездов авторы "Карты метаморфических поясов СССР" [3] выделяют здесь биотит-мусковитовую фацию регионального плутонометаморфизма, охватывающую терригенные отложения Иняли-Дебинского синклинория в бассейне р. Берелех. Остальная часть рассматриваемой территории (бассейны рек Худжах и Аян-Юрях) относится к полю развития преобразований пренил-пумпеллиитовой субфации начального метагенеза.

По нашим наблюдениям, терригенные отложения района характеризуются в целом невысокой степенью постдиагенетических преобразований, что выражается в повсеместной сохранности структур и текстур осадочного субстрата. Лишь в зоне Чай-Юрюинского разлома встречены парасланцы с вторичной полосчатой текстурой.

Кластогенная составленная метатерригенных пород состоит из обломков минералов, осадочных, магматических и метаморфических пород, растительного детрита. Показательным для диагностики степени метаморфизма является видовой состав обломков минералов, которые представлены (в порядке убывания) кварцем, плагиоклазом, мусковитом, биотитом, микроклином, хлоритом, а также пакетами мусковит-биотитового и мусковит-хлоритового состава.

К числу аутигенных минералов относится пирит, встречающийся в виде мелкозернистых конкреций, нередко преобразованных в агрегаты кристаллов кубического габитуса. Терригенные породы района содержат до 1 % симгенетического углеродистого вещества.

Минеральные новообразования этапа регионального складчатого метаморфизма проявлены слабо. Это прежде всего структурно связанные с региональным кливажем выделения мелкочешуйчатых хлорита и серицита, а также мелкозернистый серицит-альбит-хлорит-кварцевый агрегат, воз-

никший при перекристаллизации пелитового цемента песчаников и алевролитов. Количество новообразований прямо зависит от близости к крупным разрывным нарушениям.

Таким образом, региональный метаморфизм в целом по району не превышает уровня глубокого катагенеза по классификационной схеме [12]. Выполненные нами определения температур выгорания рассеянного органического вещества из метапелитов показали среднюю температуру начала экзоэффекта около 380 °С, что соответствует дозеленосланцевым изменениям в аналогичных золотоносных комплексах западного Узбекистана [10].

В приразломных зонах складчатых и разрывных дислокаций, в том числе на золотоносных участках, наблюдается массовое распространение синхронных региональному метаморфизму кварцевых жил альпийского типа. Эти жилы характеризуются отсутствием сульфидов или их незначительным количеством при однообразном видовом составе (главным образом пирит). Типичным для них является практически постоянное присутствие хлорита, карбонатов, альбита в количестве до 30 %. При значительных размерах полей и высокой интенсивности развития жил альпийского типа в пространственной связи с ними не устанавливается проявлений россыпной золотоносности.

Примером является кварцево-жильное поле размером около 3 км<sup>2</sup> на водоразделе ручьев Виола — Кварцевый. Развитые здесь прожилки, жилы приурочены к многочисленным трещинам в сложнислоцированном пласте песчаников, залегающем среди алевролитов.

Как показали проведенные исследования, постдиагенетические преобразования пород в пределах золотоносных участков более разнообразны. Они накладываются на породы, уже измененные в процессе регионального метаморфизма. Основные типы таких преобразований названы нами далее по характерным минералам новообразований, к которым относятся карбонат, шунгит, сульфиды, серицит и жильный кварц. Эти новообразования в основном фиксируются макроскопически и могут картироваться в поле. Размеры площадей их развития, судя по полностью оконтуренному ареалу карбонатизации на участке Новая Контрандя (см. рис. 2), достигают 50 км<sup>2</sup> и более.

Карбонатизация наблюдается на всех золотоносных участках при существенных вариантах интенсивности. Наиболее ярко она выражается в карбонатном бластезе по алевропелитам. В песчаниках отмечается замещение карбонатом отдельных обломков пород и минералов. Порфиробласты карбоната образуют овальные и субизометричные зерна, достигающие 8 мм (обычно 0,3—1 мм) в поперечном сечении. В неокисленном состоянии для них характерен темно-серый до черного цвет, обусловленный обильными включениями тонкодисперсного углеродистого вещества терригенных пород. Оптические исследования и окрашивания в шлифах по методике [14], а также рентгеноструктурный анализ показали, что порфиробласты карбоната сложены сидеритом, включающим иногда незначительные количества реликтовых или пойкилобластических выделений доломита и анкерита.

В частности, на участке Новая Контрандя (см. рис. 2) порфиробласты сидерита размером от первых долей миллиметра до 1,5 мм в поперечнике распространены в пределах овального ореола в отложениях триаса. Длинной осью ореол совпадает с Контрандинской зоной разломов. Размер и количество порфиробласт возрастают от периферии к центру ореола, где насыщенность ими образцов достигает в отдельных случаях 80 %.

На участке Средний Хакчан (см. рис. 3) сидеритовый бластез в отложениях верхней перми проявлен более локально и менее интенсивно. Так, порфиробласты сидерита, достигающие 1,5 мм в поперечнике, закартированы лишь в нескольких небольших ореолах площадью не более 1 км<sup>2</sup>, контролирующихся разрывными нарушениями. В то же время мелкие (до 0,2 мм) порфиробласты сидерита широко распространены в верхней части разреза. Количество сидерита в породах обычно не превышает 5 %, достигая в отдельных образцах 25 %.



На участке Кресты (см. рис. 4) сидеритовый бластез проявлен в толще верхней перми в виде двух разобщенных ореолов отчетливо приразломного характера. Размер порфиробласт здесь редко превышает 0,2 мм.

Шунгитизация в терригенных отложениях проявляется в увеличении количества тонкодисперсного УВ в сочетании с признаками его перемещения в связи с предполагаемыми процессами привноса и (или) переотложения. УВ слагает прожилки, стяжения, "прослой" совместно с новообразованиями кварца, хлорита, альбита, серицита, сульфидов, образует мелкозернистые агрегаты с кварцем и хлоритом, а также кварц-углеродистые радиально-лучистые сферолиты и стяжения неправильной формы. Анализ УВ из кварцевых прожилков участка Средний Хакчан показал, что это рентгеноаморфное вещество с температурой выгорания 560—565 °С, соответствующее шунгиту.

Миграционная форма нахождения УВ имеет широкое распространение на золотоносных участках при существенных колебаниях интенсивности ее развития. Так, на участке Новая Контрандя наблюдались лишь тонкие линзовидные скопления УВ по трещинкам кливажа. Количество его в алевропелитах участка составляет 0,5—1,8 %. На участке Средний Хакчан шунгитизация проявлена наиболее ярко. Содержание УВ в отдельных образцах алевропелитов достигает 5 %; наблюдается оно как в тонкодисперсной форме, так и по трещинам кливажа двух направлений. Но наиболее типичным выражением миграции УВ в алевропелитах являются линзообразные прожилки, содержащие кроме шунгита 50—60 % кварца. Такие прожилки мощностью до 2—3 см, имеющие птигматитовую форму, эпизодически встречаются по всему участку, образуя зоны повышенных концентраций, которые контролируются разрывными нарушениями. Кроме того, шунгитсодержащие прожилки также эпизодически встречаются в виде субмикроскопических (до 1 мм в длину) линзочек, ориентированных под острым углом к сланцеватости и имеющих микроптитовую форму. Осевую часть такой линзочки занимает шунгит, окруженный переменным количеством хлорита, кварца, иногда серицита, гидрослюды, карбоната. Реже встречаются выделения шунгита округлой, розетковидной и венкообразной формы, которые также сопровождаются оторочкой хлорита, серицита и стебельчатого кварца в радиально-лучистых агрегатах.

На участке Кресты шунгитизация проявлена в меньшей мере, чем на Новой Контранде. Содержание УВ составляет в алевропелитах 0,71—2,13 %. Оно тонко рассеяно в цементе песчаников и алевролитов, часто концентрируется в трещинках кливажа, образует причудливые прожилки линзовидной формы совместно с кварцем, иногда с хлоритом и серицитом. Реже встречаются мелкозернистые линзовидные агрегаты шунгита с кварцем до 0,5 мм по длинной оси. Количество перечисленных новообразований составляет в среднем 5 %, достигая в отдельных случаях 25 %. Повышенные содержания углеродистого вещества в перемещенной форме тяготеют к разрывным нарушениям.

Сульфидизация имеет площадной и (или) линейно-площадной характер проявления. Пространственно и структурно она сопряжена с шунгитизацией и карбонатизацией. В ореолах сульфидизации макроскопически устанавливаются пирит и пирротин. С широким распространением последнего, по данным Л.И. Измайлова, связаны известные в верховьях р. Колыма протяженные линейно-площадные магнитные аномалии, в пределах которых располагается подавляющее большинство россыпных и золоторудных объектов. Проведенное им минераграфическое изучение пород в зонах сульфидизации показало присутствие в них также халькопирита, арсенопирита, сфалерита, галенита и некоторых других более редких минералов [2].

На участке Новая Контрандя рудные минералы в пределах ореола сульфидизации представлены кристаллообластами призматических зерен арсенопирита до 0,5 см по грани призмы, а также метакристаллами пирита кубического и пентагондодекаэдрического габитуса, нередко с оторочкой из агрегата стебельчатого кварца и серицита. Здесь же широко распространены

сферолитовые выделения пирита до 2 мм в диаметре, имеющие скорлуповато-концентрическую и (или) радиально-лучистую структуру. Такие пириты образуют рассеянную вкрапленность и скопления, в том числе линзовидные (до 0,3 на 1,5 мм), нередко ориентированные вкрест слоистости пород. Сферолиты обычно сопровождаются небольшим количеством новообразований хлорита, серицита, карбоната и кварца, выполняющих интерстиции в сферолитовых агрегатах или образующих оторочки вокруг отдельных сферолитов.

На участке Средний Хакчан сульфидизация проявлена в основном в виде метакристаллически зернистого пирита и пиритовых сферолитов. Пирит кристаллический встречается в алевролитах и песчаниках в виде зерен кубического, реже пентагондодекаэдрического габитуса до 0,5 см в поперечнике. Кубический пирит в виде метакристаллов распространен в пластах песчаников, реже в алевролитах, где он обычно мельче и окаймляется оторочкой стебельчатого кварца, нередко с хлоритом. Пентагондодекаэдрический пирита обычно заключены в оторочку карбоната.

Пиритовые сферолиты на Среднем Хакчане представлены округлыми выделениями до 0,3 мм в диаметре, образующими единичные обособления или их скопления размером до 1×5 мм, вытянутые по сланцеватости. Наблюдались сферолиты пирита, заключенного в линзы шунгита, а также агрегаты сферолитов в кварц-шунгитовых прожилках. В последнем случае скопления сферолитов окружены радиально-лучистым агрегатом стебельчатого кварца. Рассеянная вкрапленность пирита развита в приразломных зонах преимущественно нижних частей разреза, где с ним ассоциирует пирротин.

На участке Кресты сульфидизация проявлена наиболее интенсивно. Она представлена гексаэдрическими и кубическими кристаллами пирита часто с оторочкой стебельчатого кварца, сферолитами и мелкозернистыми агрегатами неправильной формы. Крупные (до 0,5—1 см) метакристаллы развиты главным образом в пределах интенсивно дислоцированных в зонах разломов блоков алевролитов. За их пределами широко развита тонкая пиритовая вкрапленность.

Серицитизация, как сопутствующий метасоматический процесс, также интенсивно проявлена на золотоносных участках и структурно сопряжена с карбонатизацией и шунгитизацией. Она развита в виде линейно-площадных ареалов, контролируемых разрывными нарушениями. Здесь происходит замещение обломочного хлорита и микроклина мелкошуйчатым серицитом. Последний по результатам рентгеноструктурного анализа соответствует слабоупорядоченной слюде, отвечающей политипной модификации мусковита 1М. Такая слюда характерна для в общем относительно низкотемпературного (менее 300°C) типа метасоматического процесса минералообразования.

Так, на участке Новая Контрандя серицитизация усиливается пропорционально интенсивности карбонатного бластеза. При этом происходит постепенное замещение серицитом обломков хлорита, биотита и микроклина. Количество серицита достигает 20 %. Совместно с ним развивается мелкий (до 0,1 мм) игольчатый турмалин. Внешний контур ореола серицитизации совпадает с границей исчезновения в составе пород обломочного хлорита.

На Среднем Хакчане серицитизация наиболее развита в песчаниках верхней части разреза. Здесь серицит в количестве до 10 % развивается вдоль плоскостей кливажа, по алевропелитовому цементу и по обломкам полевых шпатов.

На участке Кресты серицитизации проявлена в линзовидных зонах, где мелкошуйчатый (0,5 мм) серицит подчинен сланцеватости пород или ориентирован хаотически. Количество серицита сильно варьирует, достигая 50 %.

Жильно-прожилковое окварцевание в пределах рассматриваемых метасоматических преобразований сопровождается сульфидной минерализацией и, нередко, самородным золотом, которые отсутствуют за пределами ореолов метасоматитов. Здесь в составе кварцевых жил обычно присутствует переменное количество альбита, хлорита и карбонатов. В изученном ряду эта-

лонных участков максимальная (до 30 %) сульфидность руд установлена на Новой Контранде, а минимальная — на Крестах (до 0,5 %). В составе золотосульфидных ассоциаций на Новой Контранде содержится максимальное количество галенита, сфалерита, тенантита. Их абсолютное и относительное количество значительно меньше на Среднем Хакчане и, особенно, на Крестах.

Показательно изменение пробы самородного золота, которая обычно варьирует в широких пределах: Новая Контранда — 690—940 (11 определений), Средний Хакчан — от 800 до 920 (15 определений), Кресты — от 840 до 900 ‰ (7 определений). Поскольку исследованные образцы с самородным золотом в разной степени подвержены гипергенным изменениям, ведущим к его облагораживанию, за первичные условно можно принять минимальные из приведенных значений. Последние, увеличиваясь с глубиной, характеризуют соответствующую гипогенную зональность. В рассматриваемом ряду содержание золота на Новой Контранде и Среднем Хакчане достигает, соответственно, первых десятков и многих десятков, а на Крестах не превышает одного грамма на тонну.

Из приведенных данных видно, что в рассматриваемом ряду золотоносных участков интенсивность и экстенсивность процессов карбонатного бласстеа и серицитизации постепенно снижаются при усилении сульфидизации. Шунгитизация максимально проявлена на Среднем Хакчане, в меньшей мере на Крестах при незначительном развитии на Новой Контранде.

Для всех описанных типов метасоматитов закартированы субконформность границ распространения и общность ориентировки складчатых и разрывных структур, контролирующих их размещение в виде телескопированных ареалов, в центральных частях которых расположены золотоносные кварцево-жильные образования. В переходных зонах макроскопически установлен равновесный характер взаимоотношений основных минералов новообразований — сидерита, шунгита, сульфидов и серицита. При постоянстве их состава изменяется лишь количество минералов и форма их выделения. Кварцевые жилы накладываются на уже сформированные метасоматиты, располагающиеся в структурах трещинного типа.

Приведенные данные свидетельствуют в пользу близодновременного формирования выделенных типов метасоматитов. Возникшая при этом совокупность зон характеризует метасоматическую колонку инфильтрационного типа, которую венчают золотоносные кварцево-жильные образования.

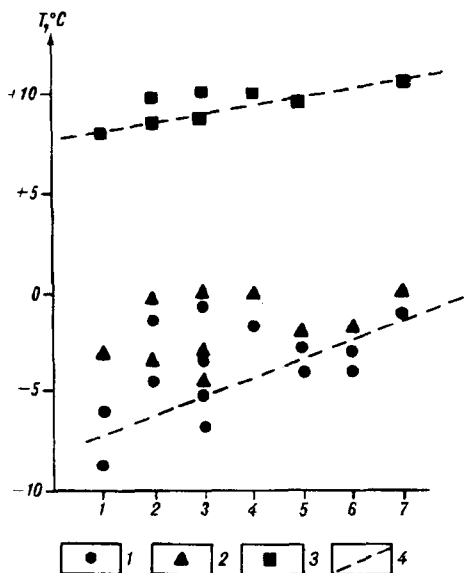
Широко развитые в районе жильные поля безрудного кварца альпийского типа по времени формирования соответствуют этапу регионального метаморфизма (катаклаза) углеродисто-терригенных толщ.

### Термобарогеохимия жильного кварца

Состав и состояние метасоматического флюида, участвующего в описанных выше преобразованиях и формировании рудоносного жильного комплекса, изучались с помощью методов термобарогеохимии. Материал (кварц), отобранный из кварцевых жил всех исследованных участков, содержит три типа включений — водные, водно-углекислотные и углекислотные. Первый тип включений водных растворов встречен во всех образцах. Это первичные и вторичные включения разной степени зрелости, их наполнение варьирует в пределах 70—100 % жидкой фазы. Водный раствор имеет крайне малую концентрацию от 0 до 7‰ NaCl экв. Концентрации водных растворов во включениях понижаются (температура плавления фазы льда приближается к 0 °C) от участка Новая Контранда к участкам Верхний Хакчан и Снежный (рис. 5). Судя по температуре начала плавления фазы льда, эти растворы имеют Na-K катионную специализацию. Этот вывод, однако, следует рассматривать как предварительный, поскольку момент протаивания эвтектики слабоконцентрированных растворов в мелких включениях устанавливается с трудом. Температуры гомогенизации водных газовой-жидких включений представлены в таблице. Из-за часто наблюдавшихся явлений частичной разгер-

Рис. 5. Криометрические характеристики флюидных включений в жильном кварце.

1, 2 — температура начала (1) и окончания (2) плавления фазы льда; 3 — температура разложения газогидратов; 4 — тенденция изменения характеристик. Цифры по оси абсцисс (1-7) — названия участков, в скобках — количество замеров: 1 — Новая Контрандя (125); 2 — Хытынггах (20); 3 — Средний Хакчан (55); 4 — Верхний Хакчан (23); 5 — Старая Контрандя (22); 6 — Виола-Кварцевый (10); 7 — Снежный (11).



метизации и расшнуривания включений термометрия проводилась лишь по группам и зонам включений с одинаковым соотношением фаз.

Водно-углекислотные включения встречаются не во всех образцах, даже если в них имеются сопоставимые по времени образования водные и углекислотные включения. Поэтому можно констатировать, что изученные флюидные системы  $H_2O-CO_2$  участвовали в образовании жильного кварца как в гомогенном, так и в гетерогенном состоянии. Об этом говорят и замеры температур гомогенизации включений, которые в большинстве своем ниже температур гомогенизации системы  $H_2O-CO_2$  (порядка  $300^\circ C$  при 1 кбар).

Криометрия водно-углекислотных включений показала, что тройная точка углекислоты в них понижена до  $-58 \div -59^\circ C$ , что говорит о наличии примеси низкокипящих газов ( $N_2$ ,  $CH_4$ ,  $CO$ ). Определить состав примеси криометрически не удалось, так как при низких температурах (до  $-190^\circ C$ ) выделение ее в качестве отдельной фазы не наблюдалось. Во всех водно-углекислотных включениях при охлаждении легко образовывались газогидраты  $CO_2$ , что подтверждает данные о низких концентрациях солей в водной фазе. Температуры разложения газогидратов представлены на рис. 5.

Однофазные включения углекислоты широко распространены в изученных образцах, иногда являясь в них преобладающими. Тройная точка  $CO_2$  варьирует от  $-56,6$  до  $-60^\circ C$  (наиболее частые значения  $-58 \div -59^\circ C$ ), что говорит об устойчивом наличии примесей низкокипящих газов. Гомогенизация углекислоты происходит в широком диапазоне температур от  $-30$  до  $+23^\circ C$ , распределение этого параметра по участкам показано на рис. 6. Наличие в углекислоте примесей низкокипящих газов не позволяет произвести по углекислотным включениям точных расчетов давления их образования. Грубые оценки возможны, по-видимому, лишь для кварца с участка Новая Контрандя, поскольку здесь смещение температуры тройной точки минимально, а замеры  $T_{гом}$  образуют достаточно компактный пик. Так, для изоденсы чистой  $CO_2$   $0,83 \text{ г/см}^3$  ( $T_{гом} = +15^\circ C$ ) и температуры  $200^\circ C$  (средняя  $T_{гом}$  водных газовой-жидких включений, зачастую соседствующих с углекислотными в одних группах и зонах) получаем давление 1 кбар.

Полученные термобарогеохимические данные позволяют высказать суждение об эволюции флюидного режима в ходе формирования кварцевых жил на изученных участках. Геологически установлено, что в формировании жильного комплекса участвовали как минимум три события: региональный метаморфизм, по отношению к которому жильный комплекс является альпийским; становление дайкового комплекса; и упомянутый выше карбонат-сульфидно-углеродистый метасоматоз. Эталонном флюидного режима формирования альпийских жил (и, по-видимому, всего регионального метаморфизма) может служить участок Виола-Кварцевый, поскольку здесь не отмечено флюидного и термического влияния даек на кварцевые жилы и не обнаружено признаков метасоматоза. В жильном кварце участка обнаружены

**Термобарогеохимические характеристики флюидных включений в жильном кварце изученных участков**

Участок	Тип кварца	Номер образца	Наличие CO <sub>2</sub> во включениях	T <sub>гом</sub> , °C		Максимальная концентрация солей, % NaCl экв.
				H <sub>2</sub> O + газ	H <sub>2</sub> O + CO <sub>2</sub> ± газ	
Новая Контрандя	Р	Н-95-7 Н-КОН	+ +	190		5
	Б	К-50-2 Г-131-1	— —	210—220		
Средний Хакчан	Р	Н-366 Н-45 Н-366-6 Н-444-2	+ + + +		290—330	7—8
	Б	Н-364-2 Н-444-6	— —	125—185 270—280		
Старая Контрандя	С	Г-37-3 Н-85	— +	205—215		5
	Б	Н-81-2	—	200		
Виола-Кварцевый	Б	Н-97-1 Н-97-2	— —	170		4
Хатынгнах	Р	Н-110-2 В-47-2 В-47-1	+ — +	180		
Верхний Хакчан	Р	Н-46-1	+	200—210		0
	Б	Н-39-2	+			
Снежный	С	М-89 К-Г-2/2	+ +		210—240 220—240	0
Всего по участкам	Р	14 обр.	+ 12/2-			
	Б	8 обр.	+ 1/7-			

Примечание. Р — рудный (золотоносный) кварц; Б — безрудный (незолотоносный) кварц; С — слабозолотоносный кварц;

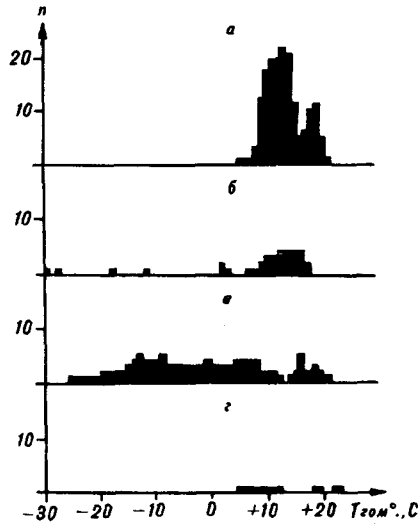
лишь водные газово-жидкие включения с относительно пониженной концентрацией солей (не более 4—5 % NaCl экв.). Углекислоты нет совсем. Очень низки и температуры гомогенизации. Учитывая тот факт, что кварц этого участка безрудный, результаты проведенных исследований можно считать подтверждением мнения М.П. Крутоус (1984 г.) о в целом безрудном характере регионального метаморфизма и сопряженного жилообразования в золотоносных районах Северо-Востока России.

Флюидный режим становления дайкового комплекса выяснить не удалось, так как на золотоносных участках его проявления проработаны последующим метасоматозом, который полностью затушеввал предыдущую термобарогеохимическую картину и очень сильно изменил сами дайки.

Развитие процессов метасоматоза привело к формированию в жильном кварце включений углеродсодержащего флюида, состав которого определялся состоянием в системе С—О—Н на каждом из участков. Так, на Новой Контранде потенциал кислорода был, по-видимому, достаточно высок, что привело к смещению реакций в сторону CO<sub>2</sub>. В результате на этом участке мы обнаруживаем относительно чистую углекислоту во включениях и широко проявленные процессы карбонатизации. На участках Хатынгнах и Средний Хакчан потенциал кислорода был ниже, поэтому здесь наблюдаются выделение углерода в виде шунгита-антраксолита, значительное понижение температуры тройной точки CO<sub>2</sub> во включениях, расширение интервала T<sub>гом</sub> CO<sub>2</sub> в низкотемпературную область. Это, вероятнее всего, является

Рис. 6. Гистограммы распределения температур гомогенизации углекислоты флюидных включений в жильном кварце

*a-z* — участки, в скобках количество замеров: *a* — Новая Контранда (164); *б* — Хатынгнах (40); *в* — Средний Хакчан (129); *г* — Верхний Хакчан (13).



следствием повышения в них доли примеси метана (возможно, его гомологов, а также CO, которые являются восстановленными продуктами реакций в системе C—O—H).

Установленный нами факт увеличения концентрации растворенных солей от нижних уровней рудоносных структур к верхним соответствует представлениям о повышении концентрации рудообразующих растворов на путях их движения от области генерации к области рудоотложения вследствие растворения веществ дренируемых пород и/или в результате расходования растворителя на образование водосодержащих минералов. Концентрация солей прямо коррелирует со степенью золотоносности жил, с их общей сульфидностью и относительным содержанием сульфидов поздней полиметаллической ассоциации. Обратная зависимость концентрации солей во флюиде отмечается по отношению к пробности самородного золота.

### Обсуждение и дискуссия

Аналогичная охарактеризованной метасоматическая зональность ранее была изучена на золоторудных объектах юго-западного Тянь-Шаня [1], в результате чего ее исследователи пришли к идее о карбонат-сульфидно-углеродистом метасоматозе. Он сопровождается гидролитическим разложением алюмосиликатов в форме серицитизации и щелочно-кремнистой флюидизацией в виде метасоматического и жильно-прожилкового окварцевания. Соответствующая процессу эволюция рудоносного флюида ведет к отложению на благоприятных уровнях, отвечающих физико-химическим барьерам, золоторудных, иногда с платиноидами, минеральных ассоциаций, степень продуктивности которых, как показывают наши исследования, максимальна в интервалах повышенной карбонатизации и (или) шунгитизации, что имеет важное значение для прогнозирования и оценки выявленного оруденения.

Попытка решения проблемы прогнозирования и оценки оруденения золотокварцевой формации в рассматриваемом регионе посредством составления обобщенной модели вертикальной зональности рудовмещающей структуры уже предпринималась В.А. Степановым [9]. Несмотря на разноплановость фактического материала, собранного на обширной территории, его концепция вызывает ряд возражений.

Во-первых, он объясняет все существующие в юго-восточной части Яно-Колымского пояса разнообразие минеральных и геохимических типов оруденения единой вертикальной зональностью, уходящей корнями в очаг гранитоидной магмы. Таким образом, в качестве единственной генетической модели для формирования оруденения признается ортомагматическая, универсальность которой для района давно подвергается аргументированной критике [8, 13, 15].

Во-вторых, из восьми выдвигаемых обобщенных параметров зональности оруденения четкой линейной изменчивостью характеризуются лишь три — пробность золота, понижающаяся с предполагаемой глубиной, комплекс содержащихся в нем элементов-примесей и возрастающая с глубиной температура гомогенизации газовой-жидких включений. Остальные показатели

либо не проявляют направленной изменчивости с глубиной, либо могут быть истолкованы в прямо противоположном смысле.

В-третьих, случаи уменьшения пробности золота с глубиной известны [4], но встречаются довольно редко. Доказательства их гипогенного происхождения часто отсутствуют или носят сложный малоубедительный характер. При этом такая зональность часто вполне объяснима гипергенными процессами [5]. Кроме того, изменение пробности золота с глубиной описано при изучении конкретных месторождений и рудных тел, в то время как региональные вариации пробности могут скорее всего характеризовать и рудно-формационную неоднородность крупных металлогенических подразделений, а не отдельных рудовмещающих структур в пределах рудного поля или месторождения.

Однако следует признать правомочность попытки [9] решить проблему выбора надежных реперов, позволяющих классифицировать золоторудные объекты с точки зрения их соответствия определенным уровням вертикальной зональности рудоносных структур. При реконструкции последней с использованием пространственно разобщенных объектов по мнению авторов необходимо по меньшей мере:

принадлежность эталонных объектов к единой рудной формации, а в ее рамках к одному генетическому типу;

использование только однозначно интерпретируемых признаков или их наборов в качестве реперов для установления положения вектора "глубина — поверхность";

учет искажающих первичную зональность процессов телескопирования гидротермального оруденения, гипергенного изменения руд и их метаморфизма.

С позиций изложенных принципов построения В.А. Степанова, несмотря на свою привлекательность, выглядят довольно искусственными.

Проведенное нами исследование позволяет по-новому представить особенности формирования и вертикальной зональности оруденения золотокварцевой формации, развитого в углеродисто-терригенных отложениях Верхоянского комплекса. Это оруденение сопровождается карбонат-сульфидно-углеродистым метасоматозом, для которого однозначно установлена [1] тенденция постепенной смены (снизу вверх) зоны сульфидизации зоной широкого развития миграционных форм углеродистого вещества и, наконец, зоной карбонатизации. Возникновение зоны сульфидизации объясняется более высокотемпературным, чем массовое восстановление углерода, условиями распада металл-сероорганических соединений с образованием сульфидов и сульфоарсенидов. Окисление углеводородов на более высоких горизонтах приводит к образованию  $H_2O$  и  $CO_2$ , которые фиксируются в сериците и сидерите зоны карбонатизации. Широкое развитие на изученных участках сферолитовых форм минеральных агрегатов свидетельствует, по-видимому, о высокоградиентном характере физико-химических параметров рудообразования во времени и вертикальном разрезе рудоносных структур.

Таким образом, приведенная комплексная характеристика зональности рудоносной структуры с оруденением золотокварцевой формации свидетельствует о проявлении фациальной зональности отложения [7] в ранге рудного поля. Важно подчеркнуть, что выявленная связь степени золотоносности жил с элементами рудно-метасоматической зональности и флюидной специализацией жильного кварца позволит в дальнейшем существенно уточнить комплекс используемых в практике геолого-разведочных работ поисковых признаков и оценочных критериев, а также использовать их при построении соответствующих моделей.

## Выводы

1. Оруденению золотокварцевой малосульфидной формации юго-восточного фланга Яно-Колымского пояса сопутствуют субрегиональные преобразования вмещающих углеродисто-терригенных толщ, выражающиеся в формировании колонны метасоматитов окислительно-восстановительного типа,

в которой сверху вниз выделяются зоны карбонатизации, шунгитизации и сульфидизации.

2. Метасоматические преобразования накладываются на углеродисто-терригенные толщи, измененные до этого в процессе регионального метаморфизма стадии глубинного катагенеза, сопровождавшегося в участках интенсивных дислокаций образованием кварцевых жил альпийского типа.

3. Золотое оруденение жильно-прожилкового типа приурочено к центральным частям ореолов метасоматитов и образуется, по-видимому, на завершающей стадии гидротермально-метасоматического процесса в структурах хрупких деформаций.

4. Золотое оруденение и предшествующие ему метасоматиты формировались при участии водно-углекислотных флюидов с примесью низкокипящих газов, а характер продуктов реакций с их участием определялся понижавшимся с глубиной потенциалом кислорода. При этом концентрация солей во флюиде достигала 5—8 % экв. NaCl. Метаморфизм (катагенез) и образование кварцевых жил альпийского типа происходили под воздействием существенно водных растворов, с относительно низкими концентрациями солей (4—5 % экв. NaCl).

5. Оруденение обладает отчетливой вертикальной зональностью, коррелирующей с зональностью метасоматитов и выражающейся (с увеличением глубины) в уменьшении сульфидности золотоносности кварца (от 30 до 0,5 %), содержания золота (от десятков до десятых долей грамма на тонну) и концентрации солей во включениях флюидов (от 5—8 до 0 % экв. NaCl) при соответствующем увеличении пробности золота (от 690 до 840 ‰). Максимальные содержания золота отвечают зонам метасоматоза, где ведущими типами замещения являются карбонатизация и (или) шунгитизация.

6. Картирование проявлений карбонат-углеродисто-сульфидного метасоматоза в углеродисто-терригенных комплексах изученного района и его аналогов позволит повысить качество и эффективность геолого-разведочных работ, связанных с поисками и оценкой золотого оруденения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Иванкин П.Ф., Назарова Н.И. Метордика изучения рудоносных структур в терригенных толщах. — М.: Недра, 1988.
2. Измайлов Л.И. Пирротиновая минерализация металлоносных зон бассейна р. Колымы. — Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1976.
3. Карта метаморфических поясов СССР. М-б 1:5 000 000 / Под ред. К.О. Кратц, 1974.
4. Нарсеев В.А. Эндеогенная зональность золоторудных месторождений Казахстана / Каз ИМС. — Алма-Ата, 1973.
5. Нестеров Н.В. Гипергенное обогащение золоторудных месторождений Северо-Востока Азии. — Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1985.
6. Петровская Н.В., Сафонов Ю.Г., Шер С.Д. Формации золоторудных месторождений // Рудные формации эндогенных месторождений. — М.: Наука, 1976. — С. 3—110.
7. Смирнов В.И. Региональная и локальная эндогенная рудная зональность // Проблемы постмагматического рудообразования. Т. 2. — Прага, 1965.
8. Соболев А.П. Мезозойские гранитоиды Северо-Востока СССР и проблемы их рудоносности. — М.: Наука, 1989.
9. Степанов В.А. Некоторые черты зональности золото-кварцевой формации Северо-Востока СССР // Колыма. — 1986. — № 9. — С. 25—29.
10. Термический анализ минералов и горных пород / Иванова В.П., Касатов Б.К., Касавина Т.Н. и др. — Л.: Недра, 1974.
11. Шаров В.Н., Шмотов А.П., Коновалов И.В. Метасоматическая зональность и связь с ней оруденения. — Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1978.
12. Шванов В.П. Литоформационные корреляции терригенных и метаморфических толщ. Южный Тянь-Шань. — Л.: Изд-во ЛГУ, 1983.
13. Шило Н.А. Золоторудные месторождения метаморфогенной, плутоногенной и вулканогенной формаций // Тр. СВКНИИ. — 1976. — Вып. 69. — С. 3—41.
14. Штеренберг Л.Е., Гречин В.И., Соловьев А.А. и др. К методике окрашивания карбонатных пород // Литология и полезн. ископаемые. — 1972. — № 5. — С. 127—132.
15. Фирсов Л.В. Золото-кварцевая формация Яно-Колымского пояса: Автореф. докт. дисс. — Новосибирск, 1974.