ISSN 0135-3500. Зап. Ленингр. горного ин-та. 1990. Том 121.

УДК 548:550.8

В.Ю.ЭШКИН, Т.А.КАРЯКИНА, Г.П.ПАЦКЕВИЧ

МИНЕРАЛОГО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЛОКАЛЬНОГО ПРОГНОЗА И ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ГОРНОГО ХРУСТАЛЯ В КВАРЦИТАХ ВЕРХНЕАЛДАНСКОЙ ПРОВИНЦИИ

Проанализирована возможность выявления хрусталеконтролирующих структур с помощью метода исследования индуцированной термолюминесценции кварцитов, отобранных с поверхности или из керна буровых скважин.

Реконструированные на основе геолого-генетических взглядов модели минерало- и рудообразования дают возможность научно обосновать методику локального прогноза, поисков и разведки месторождений полезных ископаемых. Более того, именно генетические воззрения позволяют объективно оценить перспективы выявления рудных объектов на участках работ и избрать наиболее рациональный комплекс поисковых методов для месторождений одного вещественного состава в зависимости от конкретных геологических условий их образования. Среди этих методов не последнюю роль играют минералогические, представление о недостаточной эффективности которых возникает в некоторых случаях не столько из-за их ограниченных возможностей, сколько из-за формального применения без достаточного учета прогнозных изменений вещественно-генетических моделей рудообразования в зависимости от геологической обстановки. Наглядной иллюстрацией сказанного могут служить поисковые работы на месторождениях горного хрусталя, относящихся к гидротермальной и гидротермально-метаморфической формациям [1, 4].

Хрусталеносные тела гидротермально-метаморфической формации располагаются среди метаморфических и магматических пород различного состава и сопровождаются ореолом их метасоматического преобразования и выщелачивания, интенсивность которых возрастает по мере приближения к этим телам. Гнезда с кристаллами кварца наложены на ранее сформировавшиеся кварцевые жилы и сопровождаются метаморфизмом и переработкой жильного кварца, интенсивность которых также возрастает по направлению к гнездам. Критерии прогнозной оценки таких жил определены исходя из опыта поисков и разведки хрусталеносных жил и учитывают представления о трехстадийном характере хрусталеобразования с перерывами между стадиями и о пульсационном поступлении растворов со скачкообразным изменением их кислотности-щелочности [6].

Прекрасным примером гидротермального хрусталеобразования являются жильные тела Верхнеалданской провинции [2], которые располагаются среди кварцитов верхнеалданской свиты архея. Кварциты залегают среди гранитогнейсов, кристаллических сланцев и амфиболитов. Многочисленные попытки разработать

стройную стратиграфическую схему метаморфических пород района из-за отсутствия надежных маркирующих горизонтов и объективных критериев возрастного расчленения кварцитов пока не привели к желаемому результату. Изменчивость минерального состава кварцитов связана, скорее, с явлениями метаморфических и метасоматических преобразований пород и имеет порой отчетливый фациальный характер.

Так, наиболее распространенные полевошпатсодержащие кварциты наблюдаются в контактах с гранитогнейсами и гранитоидами, причем плагиоклаз и микроклин развиваются в кварцитах метасоматическим путем по трещинам, параллельным контактам пород. Помимо разрозненных метакристаллов полевого шпата могут встречаться сравнительно крупные (мощностью до 2 м) метасоматические полевошпатовые жилы. Около кварцевых жил иногда наблюдается микроклинизация пород, а кристаллы этого минерала в виде включений встречаются в кристаллах кварца.

Значительный интерес представляют силлиманитовые кварциты. С одной стороны, эти породы были отнесены к определенным стратиграфическим горизонтам; с другой – наиболее крупные игольчатые кристаллы силлиманита (10 мм и более по удлинению) образуются в кварцитах метасоматическим путем. При этом индивиды силлиманита „лежат" в субпараллельных плоскостях, ориентированных вдоль пологих (субгоризонтальных) или крутопадающих тектонических нарушений. Наблюдается замещение силлиманитом полевого шпата, а сам силлиманит иногда замещается серицитом.

Следует отметить, что в зонах силлиманитизации размеры зерен породообразующего кварца в 2–3 раза меньше, чем у кварцитов в промежутках между зонами. При этом кварц имеет нормальное или, местами, слабоволнистое погасание. При более интенсивном метаморфизме кварца (грануляция, блокование, трещиноватость с сопутствующим сложным волнистым погасанием) иголочки силлиманита изогнуты, разорваны.

В сравнительно редких случаях наблюдается мелкоигольчатый силлиманит (удлинение 0,05–0,1 мм), беспорядочно ориентированный в кварцитах. Если этот силлиманит еще можно отнести к первичным образованиям, связанным с процессами прогрессивного регионального метаморфизма, то ранее описанный имеет более позднее происхождение и развивается в тектонических зонах среди кварцитов при повышенной температуре пород, способствующей рекристаллизации породообразующего кварца в зонах.

Вдоль контакта с кристаллическими сланцами и амфиболитами в кварцитах метасоматическим путем развиваются роговая обманка и биотит. По мере приближения к контакту количество этих минералов постепенно возрастает, так что между кварцитами, сланцами и амфиболитами возникает постепенный переход. Этому способствует также окварцевание магнезиальных пород. По всей видимости, в контактовых зонах с согласным рассланцеванием имеют место биметасоматические процессы с встречным перемещением с одной стороны соединений магния, железа и щелочей, а с другой – кремнезема. Полевошпатизацию кварцитов в контакте с гранитогнейсами можно связывать с таким же процессом.

Остается пока неясной природа турмалиновых кварцитов, распространенных в некоторых районах Верхнеалданской провинции.

Процессы полевошпатизации, силлиманитизации, амфиболитизации и биотизации можно отнести к дожильным. Непосредственно с формированием кварцевых жил связано появление в кварцитах мусковита и хлорита, развивающихся по полевому шпату, силлиманиту, роговой обманке и биотиту.

Первостепенное значение в качестве поисковых и оценочных признаков имеют особенности породообразующего кварца, отражающие всю историю породо-минералообразования. Сами кварциты, как указывалось выше, являются практически единственными жиловмещающими породами и слагают пласты, заключенные между слоями кристаллических сланцев и амфибол-биотитовых гнейсов, или своеобразные штоки, расшифровке условий формирования которых не уделялось должного внимания, хотя с такими телами связаны крупные, протяженные на глубину хрусталеносные зоны с кристаллами кварца высокого качества. В слоистых толщах жильные тела переходят из хрупких кварцитов в более пластичные сланцы и гнейсы, при этом отдельные кварцевые жилы и прожилки уменьшаются по мощности или даже выклиниваются. Одновременно происходит загрязнение хрусталеобразующих растворов легко подвижными компонентами горных пород за счет контраста химизма рудовмещающей толщи вдоль жиловмещающих зон трещиноватости.

Штоки кварцитов в пределах Верхнеалданской хрусталеносной провинции представляют собою блоки пород I-I,5 км в поперечнике и прослеженной протяженностью на глубину 300 м и более, которые ограничены в плане тектоническими нарушениями субмеридионального и субширотного, северо-восточного северо-западного простирания. Как правило, такие штоки окружены гранито-гнейсами и прорваны различными по размерам дайками гранитов и гранит-аплитов. Протяженность штоков на глубину до конца не выяснена, но во всех случаях она превосходит их поперечные размеры.

Блоки кварцитов можно было бы рассматривать как будины мощного кварцитового горизонта, но этому противоречит их общая форма и постоянно наблюдаемые тектонические контакты, имеющие крутое, до вертикального, залегание. К этим взглядам близки представления о том, что штоки кварцитов - это части мощного горизонта, блоки которого перемещены вдоль тектонических нарушений. Изложенные представления не могут объяснить особенности горных пород - отсутствия сколь-нибудь существенных количеств минеральных примесей первичного метаморфического происхождения. Обычно широко распространены лишь вторичные минералы метасоматического образования, индивиды породообразующего кварца достигают значительных размеров (более 10 мм в поперечнике) и имеют изометрическую форму с относительно ровными гранями. В некоторых случаях в шлифах кварциты обнаруживают поразительное сходство с жильным кварцем, что вместе с морфологическими особенностями штоков вызывает представление о возможном перемещении кремнезема в начальной стадии его плавления из горизонтов метаморфических пород в камеры, образовавшиеся за счет раздвижения стенок сопряженных тектонических трещин при внедрении кремнезема. Высказанная позиция, понятно, уязвима для

критики. Можно высказать и иные гипотезы, но не вызывает сомнений, что природа таких своеобразных кварцитовых штоков заслуживает специального изучения.

Омолаживание тектонических нарушений вдоль контактов не только вызывает метасоматическое минералообразование в кварцитах, но и формирует структуру жильного поля, расположенного внутри штока. Несколько раньше по всей площади Верхнеалданской провинции развивались пологие системы тектонических нарушений, прослеживаемые в кварцитах в виде зон силлиманитизации и „исчезающие" в более пластичных гранитогнейсах и других породах обрамления штоков. Зоны силлиманитизаций представляют несомненный практический интерес для целей локального прогноза, так как под ними располагаются жильные тела, содержащие гнезда с кристаллами кварца. Эти зоны играют роль своеобразных структурных экранов.

На месторождениях гидротермально-метаморфической хрусталеносной формации экранирование представляет собой один из важнейших факторов хрусталеобразования и заключается в приостановлении восходящего движения минералообразующих растворов в лежачих боках кварцевых жил и даек магматических горных пород, тектонических трещин. Создание в этом случае относительно застойных условий обеспечивает длительное взаимодействие растворов с породами, которое благоприятствует формированию более крупных хрусталеносных полостей.

В пределах Верхнеалданской провинции жильные тела представляют собой жилы выполнения тектонических трещин, в связи с чем они могут иметь как простую плито- и линзообразную форму, так и более сложную, обусловленную заполнением нескольких систем сопряженных и пересекающихся трещин. Самостоятельные простые жильные тела и тела, составляющие жильные зоны, ориентированы согласно с главными тектоническими нарушениями, в связи с чем жилы и жильные зоны могут иметь и пологое, и крутое залегание, причем в последнем случае для них характерны большие размеры, они обладают значительной протяженностью на глубину и более интересны в промышленном отношении. Такие жилы и зоны преимущественно развиваются в кварцитовых штоках, в то время как в кварцитах слоистых толщ преобладают пологие жилы и зоны, субсогласные с залеганием окружающих пород.

Хрустальные гнезда располагаются в раздувах и на сопряжениях разноориентированных тектонических трещин. Полости растворения в доступных для прямого наблюдения объектах имели ограниченное развитие и существенной роли в формировании жильных зон не играли. Таким образом, приуроченность жильных тел к лежачим бокам даек гранитоидов, горизонтам кристаллических сланцев и амфиболитов представляет собой не экранирование в обычном понимании этого явления, а локальную модель структурного контроля. В пользу этого свидетельствует отсутствие признаков концентрации жильного материала под экранами, выход жильных тел в висячий бок экранирующих даек и горизонтов [3]. В то же время приуроченность жильных зон к лежачим бокам пологих тектонических нарушений при наличии нескольких горизонтов таких нарушений приводит к размещению месторождений горного хрусталя и хрусталепроявлений

на разных гипсометрических уровнях или к нескольким продуктивным горизонтам на наиболее крупных месторождениях. Более того, в протяженных на глубину жильных зонах повышенная продуктивность может быть приурочена к участкам, расположенным под пологими зонами силлиманитизации.

По латерали жильные зоны тяготеют к местам пересечения субширотных и иных по ориентировке крутопадающих тектонических нарушений с пологими, причем вдоль одиночных нарушений развиваются линейные жильные системы, а при наличии сопряжения разноориентированных нарушений – изометрические в плане жильные поля. Все эти закономерности могут быть установлены в реальных геологических условиях только в случае комплексных структурных и минералогических исследований. Это обусловлено тем, что жильные зоны формируются не во всяких узлах сопряжений и не под каждой пологой тектонической зоной. Для решения поставленной задачи необходимо рассмотреть особенности формирования жильных тел и хрустальных гнезд в них, а также типоморфные особенности породообразующего и жильного кварца, характер околожильных изменений кварцитов.

Заполнение трещин кварцем происходит путем зарождения индивидов на зернах породообразующего кварца при последующем их росте по закону геометрического отбора. В результате формируются структуры разной степени упорядоченности взаимной ориентировки растущих кристаллов: в ранние периоды роста при небольших размерах (мощности) трещин они выполнены друзовым агрегатом тесно сросшихся индивидов. В более крупных трещинах можно наблюдать постепенный переход от друзовых к параллельно-шестоватым агрегатам с некоторым повышением прозрачности кварца. В наиболее крупных полостях трещин сохраняется свободное пространство, выступающие внутрь его кристаллы и их части прозрачны и пригодны для промышленного использования.

Таким образом, формирование хрустального гнезда является естественным продолжением и завершением образования жильного тела в целом. Эволюционное повышение степени индивидуализации кристаллов связано с понижением содержания кремнезема в минералообразующих растворах, а большая прозрачность кристаллов – с меньшей скоростью их роста. За счет внутриминерализационных тектонических подвижек возникают трещины, заполняемые более поздним кварцем, вплоть до возникновения трещин с прозрачными кристалликами кварца на стенках (минерализованные трещины). Рассмотренные закономерности формирования кварцевых жил находят отражение в изменениях параметров индуцированной термолюминесценции (ИТЛ) кварца, которая зависит от содержания примесных центров, ответственных за радиационную цитриновую или дымчатую окраску. В первом случае наблюдаются два максимума свечения при температуре 100–200 и 200–250 °С, во втором – один при 250–320 °С [5]. Интенсивность ИТЛ прямо пропорциональна содержанию соответствующих примесных центров.

Наиболее ранний жильный кварц обнаруживает интенсивность ИТЛ, не превышающую первых десятков условных единиц, а кривая свечения свидетельствует о цитриновом типе кварца. В более позднем кварце интенсивность ИТЛ возрастает от нескольких десятков до первых сотен условных единиц. Цитриновый характер кварца сохраняется, хотя в некоторых пробах обнаруживается небольшой

высокотемпературный максимум, свидетельствующий о появлении отдельных зон роста дымчатого кварца. Немногие индивиды жильного кварца несут следы регенерации, особенно распространенные около хрустальных гнезд. Такой кварц, как правило, обладает повышенной интенсивностью высокотемпературного максимума.

При переходе от молочно-белого кварца к прозрачным или слабозамутненным кристаллам цитриновый характер кварца по-прежнему сохраняется, но в нем постепенно возрастает количество зон роста, сложенных дымчатым кварцем. За счет этого интенсивность ИТЛ возрастает по высокотемпературному максимуму до нескольких сотен условных единиц. Смешанный кварц сменяется светло-дымчатым, интенсивность ИТЛ которого увеличивается до $(1-3)10^3$ условных единиц. Внешние зоны кристаллов сложены темно-дымчатым кварцем, интенсивность ИТЛ $(3-5)10^3$ условных единиц и более.

Как показали исследования кристаллов, цитриновый кварц из-за многочисленных трещин гетерометрии, ростовых дислокаций и двойников по бразильскому закону не может использоваться как пьезооптическое сырье; кондиционный кварц содержат области кристаллов со смешанной и дымчатой окраской, если в них отсутствуют посткристаллизационные трещины, твердые минеральные и газово-жидкие включения.

Около гидротермально-метаморфических хрусталеносных жил в кварцитах развиваются ореолы интенсивного выщелачивания вплоть до превращения пород в рыхлую, сыпучую массу [4]. Отдельные зерна породообразующего кварца генерируются до образования мелких кристалликов, по полевым шпатам развивается мусковит или диккит, по темноцветным – хлорит. В кварцитах Верхнеалданской провинции проявляются иные околожильные изменения. Их специфика определяется привносом кремнезема минералообразующими растворами, благодаря чему количество его возрастает по мере приближения к жилам. Это происходит за счет перекристаллизации метаморфизованных зерен первичных пород, их разрастания с заполнением межзерновых пор и замещения зерен полевого шпата. Благодаря этим процессам околожильные кварциты становятся более крупнозернистыми и чистыми по составу. В ряде случаев на некотором удалении от жил (2-3 м) наблюдается замещение полевых шпатов мусковитом, темноцветных минералов хлоритом. Мусковит и хлорит встречаются и непосредственно около жил, если в кристаллах кварца этих жил заметно преобладает дымчатая разновидность, что указывает на относительно более высокую щелочность растворов по сравнению с растворами, образующими цитрин. Тенденция к переходу от кислых растворов начального периода жило- и хрусталеобразования к щелочным заключительного периода минералообразования, столь характерная для Верхнеалданских месторождений горного хрусталя, связана с понижением содержания конденсированных кислот и повышением содержания щелочей за счет извлечения их из боковых пород или повышением активности щелочей и снижением активности кислот в ходе общей эволюции растворов.

В околожильном пространстве изменения кварцитов наглядно фиксируются по ИТЛ кварца. Так, непосредственно около жил изменения кварцитов синхронны начальному периоду кристаллизации кварца в трещинах, поэтому интенсив-

ность свечения имеет минимальное значение. По мере удаления от жил возрастает активность растворов, что связано с выделением из них кремнезема и некоторым повышением щелочности при изменении полевых шпатов. В этом случае вначале повышается интенсивность цитриновых максимумов, затем дымчатого. После достижения наибольших значений (в 5–10 м от жилы) интенсивность ИТЛ снижается практически до минимального, фонового, значения, для кварцитов – менее 10 условных единиц.

Несколько иную картину можно наблюдать около жил под пологими тектоническими зонами. Здесь также около жил наблюдается область минимальных значений ИТЛ, однако повышение параметров ИТЛ распространяется на сотни метров за счет растекания минералообразующих растворов под экранами и практически может повсеместно улавливаться в пределах кварцитового штока.

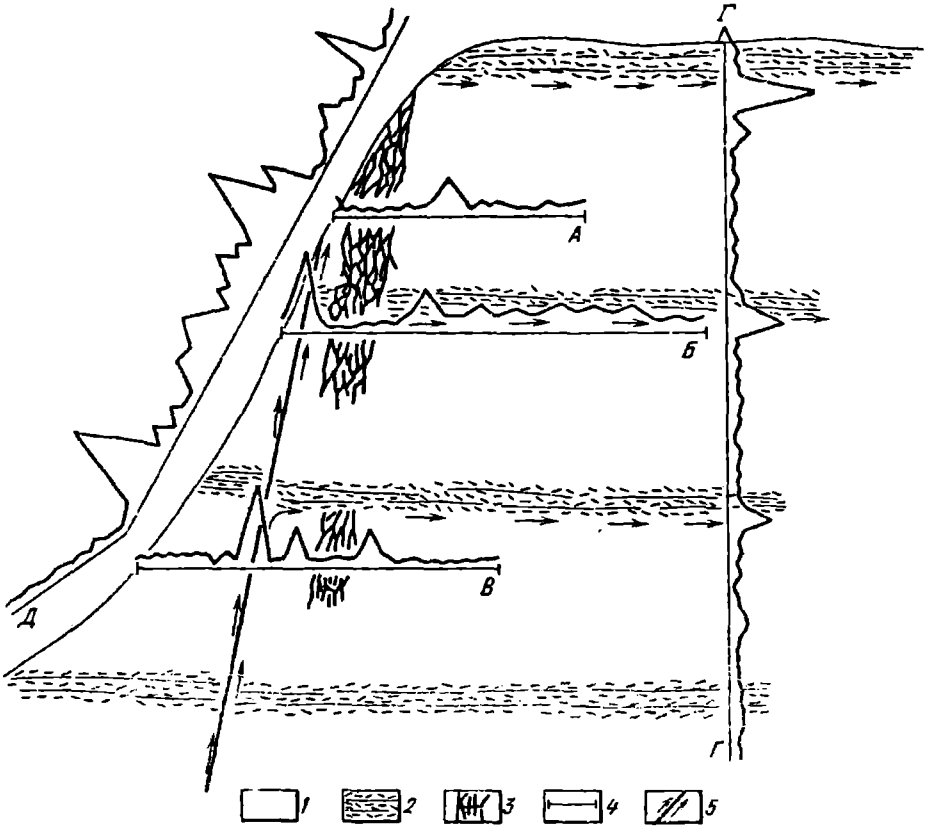
Интересным элементом локального прогноза, критерием оценки продуктивности протяженных на глубину жильных зон может служить прямая или обратная вертикальная зональность в распространении различных по качеству кристаллов кварца. В первом случае на нижних горизонтах жильной зоны в кристаллах кварца преобладает цитрин, выше возрастает доля смешанного кварца, а затем дымчатого. При обратной зональности на глубоких горизонтах преобладает дымчатый кварц, выше – смешанный, а за ним цитрин. Прямая зональность имеет место при сквозном просачивании растворов, обратная – при наличии над жильной зоной тектонического или породного экрана. Последнее может устанавливаться по геологическим данным, поэтому тип зональности можно определить прогнозно-теоретическим путем без прямого исследования кристаллов из жильной зоны.

Рассмотренные структурные и минералогические особенности формирования месторождений и хрусталепроявлений позволяют наметить ряд последовательных этапов локального прогноза.

Первый этап прогнозирования – выявление мощных горизонтов кварцитов в слоистых толщах или кварцитовых штоков.

Второй этап – установление по геолого-геофизическим данным крутопадающих тектонических нарушений и их оценка как рудоподводящих структур. В зоне таких нарушений кварциты обнаруживают повышенные значения ИТЛ, встречаются мелкие кварцевые прожилки.

Третий этап – выявление гидротермальных изменений кварцитов под пологими тектоническими зонами, под пологими дайками гранитоидов, под телами амфиболитов и горизонтами кристаллических сланцев. Для этих целей вне жильных зон или узлов сопряжений разноориентированных тектонических нарушений проходят колонковые скважины с обязательным изучением ИТЛ кварца в пробах кварцитов, отобранных из керна через 3–5 м, так как визуально зоны изменений кварцитов достоверно не выявляются. В некоторых случаях вместо бурения скважин можно отобрать для исследования пробы кварцитов с поверхности по склонам. При этом следует избегать опробования крутых склонов, поскольку они могут совпадать с тектоническими нарушениями, которые на всем протяжении по простиранию и падению могут сопровождаться зонами измененных пород, на фоне которых теряются выходы пологих зон изменений (см. рисунок).



Обобщенные графики изменения интенсивности индуцированной термолюминесценции кварцитов по разрезам через жильную зону (А, Б, В), по керну скважины (Г) и по поверхности (Д)
1 – кварциты; 2 – пологие тектонические зоны с силлиманитизацией; 3 – жильные зоны; 4 – положение разрезов и их обозначение; 5 – растворопроводящие тектонические нарушения

Четвертый этап прогнозирования – исследование возможной вертикальной зональности (прямой или обратной) в размещении различных типов кристаллов кварца.

Прогнозные исследования могут проводиться и после обнаружения жильной зоны. Их главная цель – установление уровня эрозионного среза (или подсечения) жильной зоны и перспективная оценка качества кристаллов на глубоких горизонтах зоны. Помимо реконструкции общей модели вертикальной зональности здесь могут использоваться данные ИТЛ жильного кварца: появление на кривых высокотемпературного максимума используется как показатель степени развития в кристаллах дымчатого кварца.

Рассмотренный случай локального прогноза на месторождениях горного хрусталя может служить наглядным примером, подтверждающим целесообразность и необходимость сочетания при таких работах структурных и минералогических исследований.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Е.М. Хрустал ие кварцевые жилы и их генезис. Львов: Изд-во Львовск, 1957. 205 с.

Лазько Е.М. О генезисе хрусталеносных образований и промышленных типах месторождений кварца // Тр. Всесоюзн. НИИ пьезооптического сырья. 1958. Т. 2, вып. 1. С. 13–24.

3. Туринге А.П. О роли экранов при формировании месторождений горного хрусталя // Сов. 1974. 8. С. 123–126.

4. В.Ю. Формационны хрусталеносных месторож // Зап. Ленингр. 1983. Т. 95. С. 80–88.

В.Ю., Богданова Г.Н., А.А. омолюминесценция кварца ение // Физика ералов и проблемы типоморфизма / Ленингр. горн. 1976. С. 16–30.

В.Ю., Карякин Т.А., Бог Г.Н. Эво кристаллов кварца леобразования // Но ералогии. Л.: Наук