

УДК 553.07(470.5)

## КВАРЦ ЖИЛ ВЫПОЛНЕНИЯ УРАЛА

**Поленов Ю. А., Огородников В. Н., Савичев А. Н.**

В статье приведено описание кварцевых жил выполнения, которые являются рудными телами месторождений кварцево-жильного типа. По структурно-текстурным критериям жильный кварц подразделен на гигантозернистый молочно-белый с участками прозрачного шестоватой текстуры, крупно-гигантозернистый молочно-белый массивной текстуры, массивный крупно-гигантозернистый прозрачный (стекловидный), шестоватый крупнозернистый полупрозрачный (окологнездовый), средне-крупнозернистый молочно-белый (фарфоровидный) кварц. Показано, что эти типы кварца относятся к первичным (первичноростовым) образованиям и являются продуктом плутоногенных гидротермальных процессов.

*Ключевые слова:* кварц; структурно-текстурные критерии; жилы выполнения; Урал.

Кварц – основной минерал кварцево-жильных образований, которые являются объектами добычи рудных и нерудных полезных ископаемых. Обычные парагенезисы минералов золота, олова, вольфрама, многих сульфидов с кварцем не случайны и определяются особыми свойствами кремнезема, являющегося главной средой, в которой переносятся рудные компоненты и с которой они кристаллизуются в кварцевых жилах или существенно кварцевых телах [1]. Многочисленными исследователями [2–7 и др.] показано, что кварц по своему химическому составу, форме кристаллов, парагенезисам с другими минералами содержит информацию об условиях формирования самого кварца, кварцевых тел и связи рудной минерализации с жильным кварцем.

Изучение онтогении кварцево-жильных образований Кочкарского, Теренсайского, Березовского, Уфалейского и других кварцево-жильных и рудных полей позволило выделить среди кварцевых жил несколько обособленных групп, которые рассматриваются авторами как самостоятельные формации и субформации кварцево-жильных образований, каждая из которых имеет свой механизм образования и занимает вполне определенную геологическую позицию [7, 8]. По онтогеническим признакам они подразделяются на две формации: кварцево-жильные образования, сложенные первично зернистым квар-

цем, и кварцево-жильные образования, представленные вторично зернистым кварцем.

Исключительно широкое распространение и большое практическое значение имеют кварцевые жилы выполнения. Для таких жил общепринятым считается практически полный привнос кремнезёма гидротермальными растворами с последующим отложением его в полых трещинах. Неоспоримым доказательством этого служат отсутствие реакционных взаимодействий жилы с вмещающими породами и прямые признаки свободной кристаллизации кварца, к которым, в первую очередь, следует отнести наличие геометрического отбора.

На Урале жилы этого типа приурочены к трещинам отрыва и сколовым, что впервые на примере золоторудных месторождений Урала показал А. А. Иванов [9]. Размеры и форма этих жил полностью обусловлены системой трещин. Детальное исследование кварцевых жил выполнения на золоторудных месторождениях и объектах кварцево-жильного сырья показало, что эти геологические тела первоначально были сложены жильным кварцем одного из четырех минералого-технологических типов:

- гигантозернистый, молочно-белый, с участками прозрачного;
- крупно-гигантозернистый молочно-белый;
- крупно-гигантозернистый прозрачный (стекловидный);

– средне-крупнозернистый молочно-белый (фарфоровидный).

Выделение этих типов кварца относительно просто проводится визуально в полевых условиях и находит научное обоснование их выделения в силу разных физико-химических условий образования.

Для очень крупных кварцевых тел (месторождения Гора Хрустальная, Светлореченское, Желанное), а также нередко для жил средних размеров типичен первичный жильный кварц крупно-гигантозернистый, молочно-белый, с участками прозрачного, шестоватой текстуры.

Большинство жил выполнения самых разных размеров сложены первичным массивным, редко шестоватым крупно-гигантозернистым молочно-белым кварцем (месторождения Нелобское, Караяновское, Нурбайское, Айдырлинское).

В участках, характеризующихся повышенным избыточным давлением, наблюдается концентрация жил, сложенных первичным массивным крупнозернистым прозрачным (стекловидным) жильным кварцем (месторождения Новотроицкое, Пугачевское, Додо).

В зонах интенсивного развития тектонических нарушений широкое распространение

имеют прожилки и маломощные жилы, сложенные первичным средне-крупнозернистым непрозрачным молочно-белым (фарфоровидным) кварцем.

*Жильный кварц гигантозернистый, молочно-белый, с участками прозрачного шестоватой текстуры* слагает кварцевые жилы выполнения, в том числе и очень крупных размеров. Это кристаллически-зернистая массивная разновидность кварца от крупной (10–100 мм) до гигантозернистой структуры (более 100 мм), зерна которого содержат большое количество мелких и мельчайших газово-жидких включений. Для такого кварца характерны молочно-белый, белый, светло-серый цвета. В участках с прозрачным кварцем реликты шестов практически не различимы, но в той же самой жиле встречаются участки с отчетливыми индукционными гранями непрозрачных шестов, и можно наблюдать увеличение размеров индивидов от зальбандов к центру жилы. Отдельные блоки жильного кварца отделяются друг от друга индукционными гранями и достигают по удлинению 30–40 см (рис. 1), причем оси третьего порядка индивидов кварца ориентированы перпендикулярно или под достаточно большим углом к зальбандам. В жилах

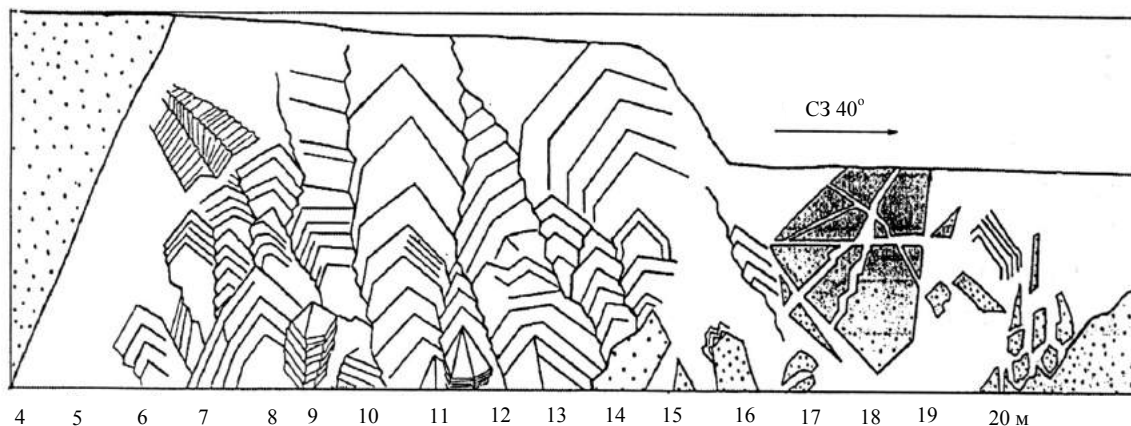


Рис. 1. Фрагмент строения гигантозернистой молочно-белой, с участками прозрачного шестоватой текстуры кварцевой жилы; месторождение Желанное [10]. В лежачем контакте жилы видно обилие остроугольных ксенолитов кварцитопесчаников

с отчетливым шестоватым сложением прозрачный кварц приурочен к центральным частям. Светопропускание такого кварца 23–55 %.

Этот тип кварца является первичноростовым (первичным). В зависимости от *PT*-условий тектоническая полость выполняется жильным кварцем либо молочно-белого

цвета, либо стекловидным. Стекловидная и молочно-белая разновидности кварца могут сменять одна другую в одной жиле многократно. Как правило, в этом случае границы между разновидностями постепенные. Крупно-гигантозернистый молочно-белый кварц с участками прозрачного образуется при больших и надкритических температурах и высоком давлении из флюида, представляющего собой жидкость, нагретую выше ее критической точки. Пример – месторождение Гора Хрустальная ( $T = 560\text{--}430$  °С,  $P = 2,9\text{--}2,0$  кбар [11]). Сопоставимые данные получены по кварцевым жилам выполнения, локализованным в гумбеитах Балканского и Кедровского месторождений [12, 13].

Большинство жил выполнения сложены *крупнозернистым молочно-белым кварцем*. Это кристаллически-зернистая массивная разновидность кварца от крупной до гигантозернистой структуры, зерна которого содержат большое количество преимущественно первичных мелких и мельчайших газовой-жидких включений, что определяет низкое светопропускание этого кварца (обычно до 15–30 %). Существует множество механизмов консервации растущим кристаллом флюидной фазы, но в своей преобладающей массе эти компоненты захватываются на молекулярном уровне [14]. Морфология кварцевых жил, сложенных крупнозернистым кварцем (2–10 см), отличается лишь меньшими размерами. Микроскопически кварц в большинстве случаев имеет неровный матовый излом. Там, где устанавливается крупнозернистая или гигантозернистая структура, поверхность скола ровная, блестящая. Под микроскопом наблюдается волнистое угасание, фрагментарная структура и грануляция по границам субблоков и вдоль полос деформации.

Этот тип кварца также является первичноростовым (первичным), но  $PT$ -условия его образования являются более низкими по сравнению с  $PT$ -условиями кварца молочно-белого с участками прозрачного. Температура кристаллизации молочно-белого жильного кварца (на примере ранних жил Березовского золоторудного месторождения) по данным из-

учения газовой-жидких включений соответствует 360–290 °С при давлении 3,4–1,9 кбар; соленость флюида 15,3–9,2 мас. % NaCl экв [15].

На некоторых кварценозных площадях встречаются кварцевые жилы, сложенные до 15–40 об. % *прозрачным (стекловидным) жильным кварцем*. Кварцевые жилы, на 100 % сложенные прозрачным кварцем, на практике не встречались. Этот кварц гигантозернистой структуры и массивной текстуры. Отдельные индивиды его ограничены псевдогранями и псевдоребрами, имеют величину от 10–15 см до 1 м в поперечнике. Весь массивный агрегат кварца в той или иной степени замутнен включениями газов и жидкостей. Последние находятся в микропорах и микротрещинах, составляющих довольно прямолинейные зоны. В разных частях жилы замутненные зоны в кварце располагаются по-разному, и густота их различна (рис. 2). Замутнение кварца сравнительно небольшое, прозрачный незамутненный кварц составляет от 5 до 40 %. Цвет его – водянисто-прозрачный, сероватый. Дымчатые разновидности кварца находятся преимущественно около зальбандов жилы.

Электронно-микроскопические исследования свежесколотых поверхностей кварца жилы № 2376 Новотроицкого месторождения показали, что как в прозрачном, так и в зернистом беловатом кварце конкретных минеральных включений, относимых к элементам неструктурной примеси, практически нет. Этот кварц не обладает опалесценцией, что обусловлено редкой встречаемостью и малыми размерами газовой-жидких включений (ГЖВ). Для кварца месторождения Гора Хрустальная характерен слабый голубоватый оттенок, что создает эффект опалесценции, обусловленный наличием в кварце каналов как дефектов роста минерального индивида. Во многих жилах кварц разлистован, что объясняется скольжением по плоскостям срастания пластинчатых индивидов левого и правого кварца в бразильских полисинтетических двойниках в направлении ребер основного положительного ромбоэдра [2].

Описанная разновидность прозрачного кварца относится к первичному кварцу, а физико-химические параметры его образования аналогичны условиям формирования крупногигантозернистого полупрозрачного молоч-

но-белого кварца, но отличаются более высоким парциальным давлением флюида.

Нередко на уральских полихронных месторождениях кварцево-жильного типа встречается *вторичный прозрачный кварц*,

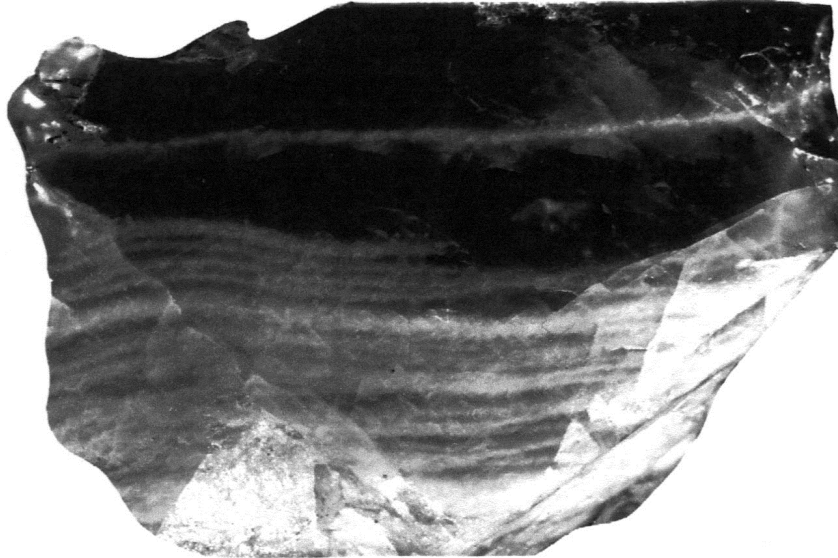


Рис. 2. Стекловидный жильный кварц, замутненный по системе параллельных трещин. Светлинское месторождение горного хрусталя, участок 2-й Косаревский

образующийся по молочно-белому крупногигантозернистому кварцу. Эта разновидность прозрачного кварца находится в жилах с признаками наложенных интенсивных деформаций, и области прозрачного кварца располагаются вблизи наиболее дислоцированного контакта. Так, на месторождении Додо установлено, что довольно часто реализуется механизм образования прозрачного кварца за счет молочно-белого. Наблюдается хорошо выраженная зональность в распределении разных видов кварца относительно одного из контактов. При этом наибольшее количество шпиров прозрачного кварца тяготеет к зоне блокованного кварца, в то время как в жилах молочно-белого кварца подобные выделения фиксируются в наиболее крупных индивидах жильного кварца и в наименее метаморфизованных участках жилы [16]. Наряду с увеличением прозрачности кварца происходит изменение его примесного состава за счет уменьшения структурных и неструктурных примесей, входящих как в каналы, так и в узлы кристаллической решетки. Это обстоятельство

во свидетельствует о развитии прозрачных разновидностей по первично непрозрачным за счет очищения от ГЖВ. Этот кварц сингенетичен высокотемпературному прозрачному кварцу жил выполнения, генетически связанных с гранитами гранитной формации, и образуется в интервале температур 430–250 °С при давлении 1,2–0,5 кбар при высоком содержании в растворе NaCl [17]. Двухэтапное формирование кварцевой жилы зафиксировано авторами на Пугачевском месторождении прозрачного жильного кварца.

Еще одна разновидность прозрачного кварца известна как *окологнездовый кварц*, который почти всегда присутствует в ореоле хрусталеносных гнезд, где наблюдается переход замутненных индивидов кварца шестоватого сложения в прозрачные при приближении к гнездовой полости с кристаллами горного хрусталя. Для него является характерным отсутствие деформационных структур, высокая прозрачность, крупные ГЖВ неправильной формы, наличие на декрептограммах низкотемпературного максимума в

области 150–180 °С, повышенное содержание структурного алюминия. По этим характеристикам *перекристаллизованный кварц* достаточно уверенно отличается от других природных разновидностей кварца, а по целому комплексу свойств (внутреннему строению индивидов, характеру минеральных и химических примесей) приближается к горному хрусталу. Визуально это равномерно замутненный, полупрозрачный, слабо дымчатый или бесцветный кварц с восковым или жирным блеском. Светопропускание его 70–90 % [16]. Температурный диапазон образования перекристаллизованного кварца находится в пределах 350–80 °С при давлении 1,0–0,17 кбар [17, 18].

Прожилки и маломощные жилы, сложенные *средне-крупнозернистым непрозрачным молочно-белым (фарфоровидным) кварцем*, приурочены к штокверковым зонам, длина прожилков 1–5 м, а мощность от первых сантиметров до 10–15 см. Образование крупнозернистого непрозрачного молочно-белого (фарфоровидного) кварца обусловлено резким понижением давления и в меньшей степени температуры в зонах трещиноватости во время формирования кварцевых прожилков, что приводило к вскипанию раствора и образованию микроскопических пузырьков, захваченных самопроизвольно образующимися индивидами кварца. Температура кристаллизации этого типа жильного кварца (на примере поздних жил Кумакского золоторудного месторождения) по данным изучения ГЖВ соответствует 220–200 °С при давлении 1,5–1,6 кбар [19].

Кварцево-жильные тела выполнения Урала являются раннеколлизионными и позднеколлизионными образованиями. Первые генетически связаны с гранитоидами тоналит-гранодиоритовой формации, а вторые – с гранитами гранитной формации. Несмотря на их разновозрастность, механизм и физико-химические условия их образования очень схожие, в связи с чем визуально не всегда можно сразу разделить кварцевые жилы на ранне- и позднеколлизионные.

На ранней стадии внедрения кислой магмы градиент давления, развиваемый парами

воды, может быть направлен от вмещающих пород в магму, и расплав окажется способным поглощать воду окружающих пород. В дальнейшем, по мере раскристаллизации расплава и увеличения газовой фазы в его составе, градиент давления меняет свой вектор на противоположный, обеспечивая истечение воды из магмы в окружающие породы, что создает благоприятные условия для формирования кварцевых жил выполнения. В ходе экспериментов по изучению растворимости золота в гидротермальных растворах А. А. Маракушевым и др. [20] установлено, что в условиях неустойчивости гранитных магм происходит отделение диоритовых и других богатых глиноземом расплавов и флюидных кварцевых расплавов. Результаты экспериментов в определенной степени подтверждают генетическую связь кварцевых жил с гранитоидами тоналит-гранодиоритовой и гранитной формаций и объясняют, почему с гранитоидами тоналит-гранодиоритовой формации связаны кварцевые тела больших и очень больших объемов.

Крупные кварцевые тела объемом несколько миллионов тонн требуют для своего осаждения огромного количества раствора – в среднем на два-три порядка больше, чем объем жильного вещества. Это вполне реально, если принять во внимание следующее. Основной принцип образования кварцевых жил – дренаж трещинами вод глубоких горизонтов; циклический характер движения растворов в гидротермальной системе; геологическая длительность существования гидротермальных систем; неизбежное освобождение кремнезема при гидролизе породообразующих силикатов, сопровождающее гидротермальный процесс [5, 21].

В формировании кварцевых тел выполнения мог принимать участие кремнезем, высвобождавшийся при зеленосланцевом метаморфизме вмещающих горных пород, протекавший под действием теплового поля гранитоидных интрузий. При обычной вертикальной зональности, обусловленной градиентом гидростатического или литостатического давления, более глубокие зоны будут

служить источником кремнезема, осаждаемого при образовании трещин в зонах низкого давления. Повышение температуры в экзоконтакте интрузии неизбежно приводит к растворению и мобилизации кремнезема и последующему осаждению кварца при возрастании температуры от 320 до 440 °С [21] и высоком парциальном давлении паров H<sub>2</sub>O. По результатам экспериментальных исследований принципиальная модель образования в гранитах кварцевых жил выполнения предложена Г. П. Зарайским [22].

Длительная и сложная история формирования структур Уральского региона отрази-

лась и на кварцево-жильных образованиях. Большинство кварцевых тел претерпело преобразования под воздействием более поздних метаморфических, метасоматических и гидротермальных процессов, что привело к существенному усложнению первоначального строения кварцевых тел. Из приведенных данных следует, что для оперативного решения генетических вопросов, связанных с формированием кварцево-жильных образований, необходимо уже во время составления полевой документации проводить подробное описание всех видов жильного кварца, слагающего рудные тела.

*Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных исследований № 14-23-24-27 Президиума РАН и Интеграционного проекта «Развитие минерально-сырьевой базы России: ...», руководитель проекта академик РАН В. А. Коротеев. Частичное финансирование осуществлялось по госбюджетной теме 5.4667.2011(Г-3 УГТУ), руководитель профессор В. Н. Огородников.*

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Юргенсон Г. А. Типоморфизм и рудные формации. Новосибирск: Наука, 2003. 368 с.
2. Вертушков Г. Н. Метаморфизм жильного кварца // Тр. СГИ. Материалы по геологии Урала. 1955. Вып. 22. С. 193–201.
3. Бородаевский Н. И., Бородаевская М. Б. Березовское рудное поле. М.: Metallurgizdat, 1947. 264 с.
4. Карякин А. Е., Смирнова В. А. Структуры хрусталеносных полей. М.: Недра, 1967. 240 с.
5. Емлин Э. Ф., Синкевич Г. А., Якшин В. И. Жильный кварц Урала в науке и технике. Свердловск: Средне-Урал. кн. изд-во, 1988. 272 с.
6. Кузнецов С. К. Жильный кварц Приполярного Урала. СПб.: Наука, 1998. 203 с.
7. Поленов Ю. А. Эндогенные кварцево-жильные образования Урала. Екатеринбург: Изд-во УГГТА, 2008. 271 с.
8. Поленов Ю. А., Огородников В. Н., Сазонов В. Н. Кварцево-жильная минерализация Уфалейского коллизийного блока (Южный Урал) // Литосфера. 2006. № 2. С. 123–134.
9. Иванов А. А. Уральские коренные месторождения золота // 200 лет золотой промышленности Урала. Свердловск: Изд. УФАН СССР, 1948. С. 127–168.
10. Репина С. А. Геологическое строение и минералогия серицитолитовых тел на месторождении жильного кварца и горного хрусталя Желанное (Приполярный Урал): дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Миасс, 2000. 180 с.
11. Оболкин В. Д., Мельников Е. П., Евстропов А. А. Вещественный состав силексита месторождения Гора Хрустальная (Средний Урал) // Изв. АН СССР. Сер. геологическая. 1981. № 6. С. 119–128.
12. Сазонов В. Н. Гумбеиты // Геология метаморфических комплексов. Екатеринбург: УГГТА, 1998. С. 65–76.
13. Гумбеитовая формация Урала / Спиридонов Э. М., Бакшеев Н. А., Середкин М. В. [и др.]. М.: МГУ, 1997. 97 с.
14. Летников Ф. А., Маракушев Ф. А., Леонтьев А. Н., Гантимирова Т. П. Флюидный режим гранитообразования. Новосибирск: Наука, 1981. 185 с.
15. Бакшеев И. А., Прокофьев В. Ю., Устинов В. И. Условия формирования жильного кварца Березовского золоторудного поля (Средний Урал) по данным изучения флюидных включений и изотопным данным // Матер. Уральской летней минералогической школы – 98. Екатеринбург: Изд-во. УГГТА, 1998. С. 41–49.
16. Бурлаков Е. В. Минералогия кварцево-жильных месторождений и минералого-геохимические признаки рудоконтролирующих тектонических разрывов (на примере Неройского района Приполярного Урала): дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Сыктывкар, 1989. 210 с.
17. Козлов А. В. Хрусталеобразующие гидротермальные системы: дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. СПб., 1998. 446 с.
18. Крылова Г. И. Петрологические факторы хрусталеобразования (на примере Южного Урала): дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Москва, 1983. 24 с.

19. Злобин В. А., Гаськов И. В., Вьюшкова Л. В. Условия формирования золоторудной минерализации в терригенных толщах // Природа растворов и источники рудообразующих веществ эндогенных месторождений. Новосибирск: Наука, 1979. С. 117–139.

20. Маракушев А. А., Панях Н. А., Зотов И. А. Новые представления о происхождении месторождений благородных металлов кварцево-рудных формаций // Проблемы геологии рудных месторождений, минералогии, петрологии и геохимии. ИГЕМ РАН, 2008. С. 136–139.

21. Шефталь Н. Н. Генезис пьезокварцевых месторождений в связи с данными искусственного выращивания кварца // Вопросы геохимии и минералогии. М: Изд. АН СССР. 1956. С. 142–157.

22. Зарайский Г. П. Эксперимент в решении проблем метасоматизма. М: ГЕОС, 2007. 136 с.

Поступила в редакцию 23 июля 2014 г.

**Поленов Юрий Алексеевич** – доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры геологии. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет. E-mail: fgg.gl@m.ursmu.ru

**Огородников Виталий Николаевич** – доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры геологии. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет. E-mail: fgg.gl@m.ursmu.ru

**Савичев Александр Николаевич** – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник кафедры геологии. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет. E-mail: ansavichev@mail.ru