

## ГРАНИТНЫЙ МАГМАТИЗМ И ПРОМЫШЛЕННЫЕ ГЕНОТИПЫ КВАРЦЕВЫХ ЖИЛ УФАЛЕЙСКОГО МЕТАМОРФИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

© 2017 г. В. Н. Огородников, Ю. А. Поленов\*, А. Н. Савичев\*

Длительное и сложное полициклическое развитие щитов платформ, обусловленное сменой разных геотектонических режимов (от протогеосинклинального в архее, протоактивизации в протерозое до тектономагматической активизации в фанерозое), предопределило разносторонность и длительность проявления магмо- и рудообразующих процессов, в результате которых на платформах и в областях их активизации сочетаются месторождения различных генетических типов, телескопированно накладываясь друг на друга, формируют полигенное и полихронное оруденение, в том числе кварцево-жильное.

Минерально-сырьевая база кварца России, используемого в высокотехнологичных производствах, традиционно объединяет месторождения пьезооптического кварца, горного хрусталя, гранулированного, прозрачного и молочно-белого жильного кварца. Востребованность и обеспеченность разными видами кварцевого сырья неоднозначны.

Наши исследования, базирующиеся на длительных полевых и лабораторных работах, позволили подтвердить наличие разновидностей кварца, имеющих различие в текстурно-структурных особенностях, и найти этому генетические объяснения. Мы выделили следующие типы жильного кварца (табл. 1): **метаморфической дифференциации, слюдяногорского, уфалейского, егустинского, пугачевского, кыштымского и щербакковского**, каждый из которых образуется в определенном геодинамическом режиме, с участием того или иного родоначального магматического комплекса, при конкретных термодинамических параметрах, которые предопределяют их чистоту. Распределение установленных генотипов кварца в пределах Уфалейского метаморфического комплекса имеет структурные и петрологические закономерности.

**Прожилки метаморфической дифференциации** являются результатом процессов регионального метаморфизма от гранулитовой фации до амфиболитовой, который зафиксирован в пределах уфалейского метаморфического комплекса в докем-

брии, в карельскую эпоху тектоно-магматической активизации.

**Слюдяногорский минералого-технологический тип жильного кварца** – результат собирательной перекристаллизации с укрупнением зерна на ранних прожилков метаморфической дифференциации, располагающихся в долгоживущей Слюдяногорской шовной зоне, заложенной в конце среднего рифея в результате рифтогенеза (гренильская эпоха складчатости –  $1000 \pm 50$  млн лет) и собирательной перекристаллизации в условиях высокотемпературной амфиболитовой фации в зонах ультраметаморфизма при  $650\text{--}800^\circ\text{C}$  и относительно высоком давлении (6–10 кбар). Поэтому этот тип характеризуется высокой степенью прозрачности кварца ( $T\% > 80\%$ ), низкими значениями потерь при прокаливании (п.п.п.  $< 1\%$ ), но при этом значительным содержанием макро- и микропримесей, в том числе структурных элементов-примесей ( $Al > 50\text{--}100$  г/т). Это привело к отсутствию заинтересованности промышленности в данном типе кварца.

Кварцево-жильные образования, сложенные метасоматическим, **мелкозернистым жильным кварцем уфалейского типа**, приурочены к Слюдяногорско-Теплогорской шовной зоне. Их метасоматический генезис связан с альбититами и карбонатитами докембрийского возраста (байкальская эпоха складчатости). Наиболее характерной генетической особенностью данной разновидности кварца является полигенный характер его образования, фиксируемый по неоднородному строению агрегата, сформированного под влиянием нескольких последующих этапов геологического развития Уфалейского метаморфического комплекса (венд-палеозойского возраста). Высокобарические ( $P = 6\text{--}9$  кбар) и высокотемпературные ( $T = 550\text{--}650^\circ\text{C}$ ) условия образования позволяют объяснить существенную степень прозрачности кварца ( $T\% = 50\text{--}75\%$ ), низкие значения потерь при прокаливании (п.п.п.  $= 0.007\%$ ) и относительно невысокое содержание микропримесей ( $Al_{cp} = 56$  г/т).

\* Уральский государственный горный университет. polenov\_yu@mail.ru.

**Таблица 1.** Генетическая типизация жильного кварца Уфалейского кварценосного района

Геодинамический режим, мегацикл (возраст)	Родоначальный магматический комплекс (возраст)	Генетический формационный тип кварцевых жил	Минерально-технологический тип	Тип кварца по структурным особенностям	Эталонные кварцевые жилы
Метаморфизм карельского мегацикла (2.05–1.75 млрд лет)	Гранитогнейсы уфалейской свиты (1.85–1.80 млрд лет)	Метаморфогенный, первичнозернистый	Прожилки метаморфической дифференциации	Светло-серый, мелко-, среднезернистый (1–3 мм)	–
Рифтогенез рифейского мегацикла (1.35–1.00 млрд лет)	Чусовской комплекс субщелочных гранитоидов, “гигантомигматиты” (881 млн лет)	Метаморфогенный, вторичнозернистый, перекристаллизованный	Слюдяногорский	Серый, полупрозрачный, средне-, крупнозернистый, грануломорфный (2–10 мм)	Кварцевая жила № 170
Байкальский (кадомский) коллизионный мегацикл (620–500 млн лет)	Битимский комплекс щелочных гранитов, альбититы, карбонатиты (579–533 млн лет)	Гидротермально-метасоматический, первичнозернистый	Уфалейский	Молочно-белый, мелкозернистый (1–2 мм)	Кварцевая жила № 175, Беркутинская
Раннепалеозойская ТМА шовных зон (500–450 млн лет)	Козловгорский комплекс щелочных гранитоидов-сиенитов (476–457 млн лет)	Гидротермально-метасоматический, первичнозернистый	Егустинский	Серый, слабо дымчатый, тонкозернистый, льдисто-подобный (0.05–1.00 мм)	Кварцевые жилы № 191, 192, 414, 2136
Ранняя коллизия палеозойского мегацикла (360–320 млн лет)	Нижнеуфалейский комплекс гранитоидов (316–317 млн лет)	Гидротермальный, первичнозернистый, гигантозернистый	Пугачевский	Молочно-белый, полупрозрачный, крупно-, гигантозернистый	Кварцевые жилы П-3, П-21, П-88
Поздняя коллизия палеозойского мегацикла (310–240 млн лет)	Кизильский комплекс микроклиновых гранитов (267 млн лет)	Метаморфогенный, вторичнозернистый, гранулированный	Кыштымский	Светло-серый, полупрозрачный, гранулированный, среднезернистый (3–5 мм)	Кварцевая жила № 101
Поздняя коллизия палеозойского мегацикла (310–240 млн лет)	Кизильский комплекс микроклиновых гранитов (267 млн лет)	Гидротермальный, первичнозернистый, гигантозернистый	Щербаковский	Бесцветный, дымчатый, стекло-видный, гигантозернистый	Кварцевая жила № 3, Щербаковская

**Микро-, тонкозернистый кварц егустинского типа** относится к относительно высокотемпературному ( $T = 500\text{--}650^\circ\text{C}$ ) метасоматическому кварцу, который развивается только по разновидностям кварца слюдяногорского и уфалейского типов в условиях высокого давления ( $P > 6$  кбар). Жилы с микро- и тонкозернистым кварцем развиты в центральных частях Уфалейского метаморфического комплекса. Этот тип кварца генетически связан со становлением Козловгорского комплекса щелочных гранитоидов-сиенитов, с образованием поздних редкометаллических и редкоземельных карбонатитовых метасоматитов с апатитом, так называемых “нельсонитов”. Высокая фтористость растворов привела к очищению зерен кварца от включений и формированию особо чистого кварца, сделала его “льдисто-подобным”. Светопропускание в этом кварце 68–92%, он характеризуется более низким содержанием структурной примеси алюминия (15–35 г/т).

Слюдяногорский, уфалейский и егустинский минералогическо-технологические типы жильного квар-

ца образованы в докембрии в гнейсово-амфиболитовой толще в абиссальных, низкоградиентных условиях на глубинах более 20 км. Это обусловило их высокобарические и высокотемпературные условия формирования и преобразования.

**Крупнозернистый молочно-белый кварц** жил выполнения пугачевского типа – это 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 ( $T\% = 15\text{--}30\%$ ). Образование кварца жил выполнения связано с сдвиговзбросовыми подвижками во время ранней коллизии (360–320 млн лет) вдоль регионального Главного Уральского глубинного разлома (ГУГРа) и формированием кулисообразных жилловмещающих трещин отрыва. Жилы возникают в приповерхностных условиях, давление не превышает 3 кбар, температура – 250–400°C. Несмотря на низкий показатель светопропускания, относительно низкие температуры растворов обуслов-

ливают низкое среднее содержание структурного алюминия ( $Al = 20.1$  г/т).

Практическое отсутствие кварцевых жил, сложенных крупнозернистым молочно-белым кварцем в пределах Кыштымского месторождения, подтверждает происхождение **“гранулированного” кварца кыштымского типа** по кварцевым телам выполнения молочно-белого кварца пугачевского типа, который образуется под воздействием гранитоидов нижнеуфалейского комплекса. Кварц этого типа является продуктом рекристаллизации деформированного первично-гигантозернистого кварца жил выполнения палеозойской ранней стадии коллизии под воздействием процессов высокотемпературного дислокационного метаморфизма в зоне активного воздействия ГУГРа, уровня амфиболитовой фации ( $T = 610\text{--}700^\circ\text{C}$  и  $P = 2\text{--}5$  кбар), связанного с этапом поздней коллизии (310–240 млн лет). Высокая чистота **“гранулированного” кварца** обусловлена первичной чистотой кварцевых жил выполнения пугачевского типа и удалением механических примесей при грануляции кварцевых зерен в межзерновое пространство. Содержание валового

алюминия 30–40 г/т, а **структурной примеси алюминия** в кристаллической решетке кварца – в пределах 10–20 г/т.

**Стекловидный гигантозернистый жильный кварц щербаковского типа** представляет собой совокупность разделенных индукционными поверхностями индивидов до 10 см и более по наибольшему сечению. Формирование кварцевых жил данного типа вызвано гидротермальными процессами палеозойской поздней коллизии (310–240 млн лет) и становлением гранитоидов кизильского комплекса. Они относятся к самым молодым образованиям и нередко приурочены к зонам локализации жил гранулированного кварца, в ряде жил секут их. Термодинамические условия образования этих жил определяют достаточно высокое предельное количество структурного алюминия (20–30 г/т), причем преобладает алюминий с **Na-Li компенсатором**. **ИК-спектры** стекловидного кварца имеют много общих характеристик с ИК-спектрами горного хрусталя, что обусловлено близкими термодинамическими условиями их возникновения.