УДК 553.07(470.5)

ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНОЕ ПОЛОЖЕНИЕ КВАРЦЕВО-ЖИЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ УФАЛЕЙСКОГО ГНЕЙСО-МИГМАТИТОВОГО КОМПЛЕКСА (ЮЖНЫЙ УРАЛ) КАК РЕЗУЛЬТАТ ПОЛИХРОННОГО И ПОЛИГЕННОГО ГЕНЕЗИСА

© 2018 г. В. Н. Огородников[1], А. Н. Савичев[2], Ю. А. Поленов[2]

[1]Институт геологии и геохимии УрО РАН, 602016, г. Екатеринбург, ул. Акад. Вонсовского, 15
[2]Уральский государственный горный университет, 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, e-mail: polenov_yu@mail.ru

Поступила в редакцию15.02.2017 г.; принята к печати 25.04.2017 г.

В настоящей статье по материалам авторов приводятся результаты исследования различных типов жильного кварца эндогенных кварцево-жильных образованиях Урала. По мере накопления материалов по исследованию различных типов кварца появилась возможность интерпретации полученных данных для расшифровки генезиса кварцево-жильных образований, поскольку содержания структурных примесей в кварце объективно отражают особенности его генезиса и могут быть использованы в качестве критерия прогнозирования и оценки объектов как рудного, так и нерудного минерального сырья. Анализ материалов кварцеметрической съемки показал, что кварцевожильные объекты имеют полигенный и полихронный генезис и локализуются в различных структурно-формационных зонах. Это позволяет более целенаправленно осуществлять прогнозирование крупных объектов особо чистого кварца.

Ключевые слова: *Уфалейский метаморфический комплекс, кварцевые жилы, генезис, структурные примеси*

GEOLOGICAL AND STRUCTURAL POSITION OF QUARTZ-VEIN FORMATIONS OF UFALEI GNEISS-MIGMATITE COMPLEX (THE SOUTHERN URALS) AS A RESULT OF POLYCHRONIC AND POLYGENIC GENESIS

Vitalii N. Ogorodnikov[1], Aleksandr N. Savichev[2], Yurii A. Polenov[2]

[1]A.N. Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry, Urals Branch of RAS, 15 Akad. Vonsovsky st., Ekaterinburg, 620016, Russia,
[2]The Ural State Mining University, 30 Kuibyshev st., Ekaterinburg, 620144, Russia, e-mail: polenov_yu@mail.ru

Received 15.02.2017; accepted 25.04.2017

In the present paper by the authors materials are given the investigation results of different types quartz vein from endogenous quartz-vein formations of the Urals. In the course of accumulation of the materials on different types of quartz researches it occurred an opportunity of interpretation the obtained data for deciphering of quartz-vein formation genesis, since the contents of structural impurities in quartz objectively reflect its genesis particularities and can be used as a criteria for forecasting and estimating of objects both of ore and nonmetalliferous mineral products. Analysis of materials quartz-metric survey showed that quartz-vein objects have a polygenic and polychronic genesis and are localized in different structural-formation zones. This makes it possible to more purposefully carry out the forecasting of large objects of extremely pure quartz.

Keywords: *The Ufalei metamorphic complex, quartz veins, genesis, structural admixtures*

Acknowledgments

The work was carried out within the framework of the state task on the topic of research № 0393-2018-0031 "Collisional and post-collision ore-forming processes of intraplate mobile belts", the head – doctor of geol. and min. sciences A.Yu. Kisin.

Для цитирования: Огородников В.Н., Савичев А.Н., Поленов Ю.А. (2018) Геолого-структурное положение кварцево-жильных образований Уфалейского гнейсо-мигматитового комплекса (Южный Урал) как результат полихронного и полигенного генезиса. *Литосфера*, **18**(1), 99-110. DOI: 10.24930/1681-9004-2018-18-1-099-110

For citation: Ogorodnikov V.N, Savichev A.N., Polenov Yu.A. (2018) Geological and structural position of quartz-vein formations of Ufalei gneiss-magmatite complex (the Southern Urals) as a result of polychronic and polygenic genesis. *Litosfera*, **18**(1), 99-110. DOI: 10.24930/1681-9004-2018-18-1-099-110

ВВЕДЕНИЕ

На рубеже 50–60 гг. прошлого столетия в промышленности начал внедряться новый вид природного кварцевого сырья – гранулированный кварц, на много лет определивший пути развития сырьевой базы для плавки прозрачного кварцевого стекла – особо чистого кварца (ОЧК).

Начало систематического исследования кварца на Урале связано с именем профессора СГИ Г.Н. Вертушкова. В результате совместной работы коллектива кафедры минералогии Свердловского горного института и геологов производственных организаций в период с 1961 по 1966 гг. был разработан метод полевых наблюдений и лабораторных исследований жильного кварца – кварцеметрическая съемка и так называемый "бестехнологический" метод предварительной оценки качества кварцевого сырья [Вертушков и др., 1970; Емлин и др. 1988].

В кварцевом сырье выделяется три группы вредных примесей: 1) твердые минеральные примеси; 2) газово-жидкие включения (ГЖВ); 3) химические элементные примеси. Твердые минеральные примеси представлены включениями минералов и технологическими примесями, которые в обогащенном кварцевом концентрате практически не допускаются. Сумма должна быть не выше $5 \cdot 10^{-4}$–$8 \cdot 10^{-3}$ мас. %.

Газово-жидкие включения строго лимитированы. Их содержание выражается через коэффициент светопропускания (Т%), прямо пропорциональный качеству кварцевого сырья. Требуемое светопропускание зерен кварца – не менее 45–60%.

Наиболее жесткие требования предъявляются к кварцу, применяемому для получения прозрачного кварцевого стекла (плавленного кремнезема). Содержание SiO_2 в исходном кварцевом сырье не должно быть ниже 99,98 %, а количество отдельных элементов не должно превышать следущие пределы (мас. %): железо – $2–40 \cdot 10^{-4}$, алюминий – $30 \cdot 10^{-4}$, титан – $6 \cdot 10^{-4}$, натрий – $10–50 \cdot 10^{-4}$, калий – $10–50 \cdot 10^{-4}$. Суммарное содержание указанных примесей в кварце свыше $8 \cdot 10^{-3}$ не допускается.

В 1990 г. Л.Е. Серковой впервые были изучены кварцево-жильные объекты Кыштымского месторождения с использованием ИКС и ЭПР методов, без разделения их на минералого-технологические типы. Для исследований использовалась аппаратура лаборатории ВНИИСИМСа. ИК-спектры записывались на спектрофатометрах UR-20W и Specord-71 ИК в диапазонах 3200–3600 $см^{-1}$, 2000–4000 $см^{-1}$. Измерения проводились при комнатной температуре и температуре жидкого азота (77ºК) [Серкова, 1990].

Проведение кварцеметрической съемки на площади Уфалейского метаморфического комплекса позволило выявить участки локализации кварцевых жил, успешно разрабатываемые и по настоящее время. Имеется большое количество статей и диссертаций, рассматривающих жильный кварц Кыштымского месторождения как однотипный гранулированный, без упоминания о том, что на Кыштымском месторождении локализовано несколько генетических (минералого-технологических) типов жильного кварца, большую часть из которых нельзя называть гранулированным.

Наши исследования установили наличие разновидностей кварца, имеющих различие в текстурно-структурных особенностях, и позволили найти этому генетические объяснения. Нами выделены следующие генетические (минералого-технологические) типы жильного кварца: *слюдяногорский, уфалейский, егустинский, пугачевский, кыштымский и щербаковский* (табл. 1), каждый из которых имеет свой генезис и детально охарактеризован в наших публикациях [Савичев, 2005; Огородников и др. 2007; Поленов, 2008].

РЕЗУЛЬТАТЫ ДЕТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ЖИЛЬНОГО КВАРЦА

В пределах Уфалейского метаморфического комплекса кварцевые жилы расположены в разных участках очень сложных по своему строению и генетической природе структурно-формационных шовных зон (рис. 1). В карельскую эпоху тектономагматической активизации в пределах Уфалейского метаморфического комплекса зафиксированы процессы регионального метаморфизма от гранулитовой до амфиболитовой фации.

Слюдяногорский минералого-технологический тип жильного кварца является результатом собирательной перекристаллизации с укрупнением зерна ранних прожилков метаморфической дифференциации, располагающихся в долгоживущей Слюдяногорской шовной зоне, заложенной в конце среднего рифея в результате процессов рифтогенеза (гренвильская эпоха складчатости – 1000 ± 50 млн лет). В результате собирательной перекристаллизации в условиях высокотемпературной амфиболитовой фации в зонах ультраметаморфизма при температурах 650–800ºС при относительно высоком давлении (6–10 кбар), образуется кварц гетеробластового, средне-крупнозернистого строения, который претерпел высокотемпературный отжиг (α-β переход), образование трещин "сотового" кварца (рис. 2). Поэтому этот тип кварца характеризуется высокой степенью прозрачности (коэффициент светопропускания Т > 80%), но при этом достаточно высокими содержаниями макро- и микропримесей, в том числе структурных элементов-примесей (Al > $50–100 \cdot 10^{-4}$ мас. %). Это привело к отсутствию заинтересованности промышленности в данном типе кварца [Поленов, 2008, Огородников и др., 2014].

Таблица 1. Генетическая типизация жильного кварца Уфалейского кварценосного района

Table 1. Genetic typification of vein quartz of the Ufa quartz region

Геодинамический режим, мегацикл	Родоначальный магматический комплекс (возраст)	Генетический формационный тип кварцевых жил	Минералого-технологический тип	Тип кварца по структурным особенностям	Эталонные кварцевые жилы
Метаморфизм карельского мегацикла (2.05–1.75 млрд лет)	Гранито-гнейсы уфалейской свиты (1.85–1.8 млрд лет)	Метаморфогенный, первично-зернистый	Прожилки метаморфической дифференциации	Светло-серый мелко-, среднезернистый (1–3 мм)	–
Рифтогенез рифейского мегацикла (1.35–1.0 млрд лет)	Чусовской комплекс субщелочных гранитоидов, “гигантомигматиты” (1.2–1.1 млрд лет)	Метаморфогенный, вторично-зернистый, перекристаллизованый	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, первично-зернистый	Уфалейский	Молочно-белый мелкозернистый (1–2 мм)	Кварцевая жила № 175, Беркутинская
Раннепалеозойская ТМА шовных зон (500–450 млн лет)	Козловогорский комплекс щелочных гранитоидов-сиенитов (476–457 млн лет)	Гидротермально-метасоматический, первично-зернистый	Егустинский	Серый, слабо дымчатый тонкозернистый льдистоподобный (0.05–1 мм)	Кварцевые жилы № 191, 192, 414, 2136
Ранняя коллизия палеозойского мегацикла (360–320 млн лет)	Нижнеуфалейский комплекс гранитоидов (316–317 млн лет)	Гидротермальный первично-зернистый, 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, вторично-зернистый, гранулированный	Кыштымский	Светло-серый полупрозрачный гранулированый среднезернистый (3–5 мм)	Кварцевая жила № 101
Поздняя коллизия палеозойского мегацикла (310–240 млн лет)	Кизильский комплекс микроклиновых гранитов (267 млн лет)	Гидротермальный первично-зернистый гигантозернистый	Щербаковский	Бесцветный, дымчатый стекловидный, гигантозернистый	Кварцевая жила № 3, Щербаковская

Кварцево-жильные образования, сложенные метасоматическим мелкозернистым жильным кварцем **уфалейского типа**, приурочены к Слюдяногорско-Теплогорской шовной зоне, и их метасоматический генезис связан с альбититами и ураноносными карбонатитами докембрийского возраста (байкальская эпоха складчатости). Наиболее характерной генетической особенностью данной разновидности кварца является полигенный характер его образования и преобразования, фиксируемый по неоднородному строению агрегата, сформированного под влиянием нескольких последующих этапов геологического развития Уфалейского метаморфического комплекса (венд-палеозойского возраста).

Для данного типа вторично-зернистого кварца нельзя применять термин “гранулированный кварц”, так как механизм образования зерен первоначально метасоматический (гранобластовая структура), с последующим метаморфогенным преобразованием.

Целесообразно данный тип структур кварца уфалейского типа называть гетерогранобластовым. Высокобарические (P = 6–9 кбар) и высокотемпературные (T = 550–650ºС) условия образования обусловили высокую степень прозрачности кварца (Т = 50–75%), и относительно невысокое содержание микропримесей: $Al_{ср} = 56 \cdot 10^{-4}$ мас. %

Жилы с микро-тонкозернистым кварцем развиты в центральных частях Уфалейского метаморфического комплекса. Микро-тонкозернистый кварц **егустинского типа** относится к относительно высокотемпературному (T = 500–650ºС) метасоматическому кварцу, который развивается только по разновидностям кварца слюдяногорского и уфалейского типов в условиях высокого давления (P > 6 кбар). Этот тип кварца генетически связан с развитием поздних редкометальных и редкоземельных карбонатитовых метасоматитов с апатитом, так называемых “нельсонитов”. Высокая фтористость растворов привела к очищению зерен кварца от включений и к образованию особо чистого кварца, сделала его “льдистоподобным”. Светопропускание в этом кварце 68–92%, он характеризуется более низким содержанием примеси алюминия $15–35 \cdot 10^{-4}$ мас. % [Поленов, 2008,

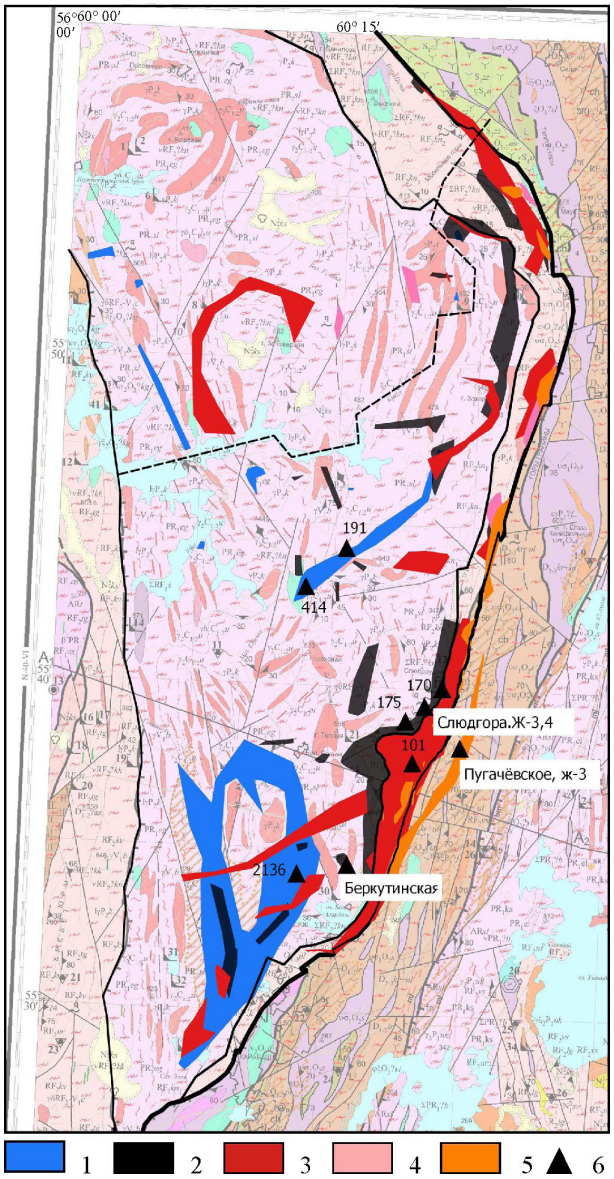

Рис. 1. Распределение генотипов жильного кварца в пределах Уфалейского кварценосного района по материалам кварцеметрической съемки. Геологическая основа – фрагмент геологической карты, лист N-41-I [Кузнецов и др., 2008].

1 – тонкозернистый, егустинский тип; 2 – мелкозернистый, уфалейский тип; 3 – гранулированный, кыштымский тип; 4 – гетерогранобластовый перекристаллизованнй, слюдяногорский тип; 5 – шестоватый кварц жил выполнения, щербаковский и пугачевский типы; 6 – эталонные кварцевые жилы, их номера и названия.

Fig. 1. Distribution of quartz vein genotypes in the limits of the Ufalei quartz-bearing area according to the materials of quartz-metric survey. Geological base is a fragment of geological map, sheet N-41-I [Kuznetsov et al., 2008].

1 – thin-grained, Egustinskii type; 2 – fine-grained, Ufalei type; 3 – the granulated, Kyshtym type; 4 – heterogranoblasted recrystallized, Slyudyanogorskii type; 5 – columnar quartz of filling veins, Shcherbakovskii and Pugachevskii types; 6 – standard quartz veins, their numbers and names.

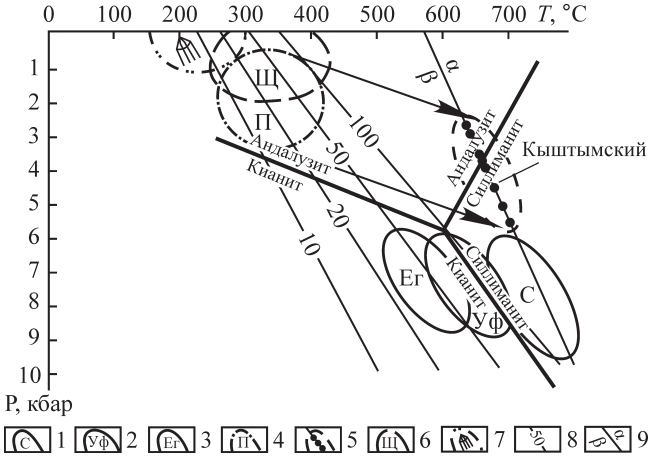

Рис. 2. *PT*-условия формирования природных кварц-жильных образований различного генезиса. Диаграмма составлена с использованием материалов [Юсупов и др., 1979; Мельников, 1988; Огородников, 1993; Савичев, 2005].

1 – поле развития метаморфогенных кварцевых жил перекристаллизации (слюдяногорский тип); 2 – поле образования гидротермально-метасоматических кварцевых жил (уфалейский тип); 3 – поле формирования гидротермально-метасоматических кварцевых жил (егустинский тип); 4 – поле образования жил выполнения раннеколлизионного этапа (пугачевский тип); 5 – поле метаморфогенного, вторичнозернистого, гранулированного кварца (кыштымский тип). Показаны точки измеренных температур газово-жидких включений в гранулированном кварце [Юсупов и др., 1979]. 6 – поле стекловидного кварца позднеколлизионного этапа (щербаковский тип); 7 – поле образования хрусталеносных гнезд; 8 – изолинии предельного насыщения кварца структурным алюминием (г/т); 9 – граница перехода α-β модификаций кварца.

Fig. 2. P-T conditions of formation of natural quarts-vein formations of different genesis. The diagram is compiled with the usage of materials [Yusupov et al., 1989; Mel'nikov, 1988; Ogorodnikov, 1993; Savichev, 2005).

1 – field of development of metamorphogenic quartz veins of recrystallization(Sludyanogorsky type); 2 – field of formation of hydrothermal metasomatic quartz veins (Ufalei type); 3 – field of formation of hydrothermal-metasomatic quartz veins(Egustinskii type); 4 – field of formation of filling veins of early-collisional stage(Pugachevskii type); 5 – field of metamorphogenic secondary-grained granulated quartz (Pugachevskii type). The points are shown of the measured temperatures of gas-liquid inclusions in granulated quartz [Yusupov et al., 1979]. 6 – field of glass-like quartz of late collisional stage (Shcherbakovskii type); 7 – field of formation of crystal-bearing nests; 8 – isolines of quartz limited saturation with structural aluminum (ppm); 9 – transition boundary of quartz α-β modifications.

Огородников и др., 2014]. Аналогичные кварцевые жилы, сложенные льдистоподобным кварцем, описаны в альбититах высокобарических зон Казахстана [Добрецов, 1963].

Все вышеперечисленные генотипы кварцевых жил были образованы в докембрии в гнейсово-амфиболитовой толще в абиссальных, низкоградиентных

условиях на глубинах более 20 км, что обусловило их высокобарические и высокотемпературные условия образования и преобразования (см. рис. 2).

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 газовожидких включений, что определяет низкое светопропускание этого кварца (Т = 15–30%). Образование кварца жил выполнения связано со сдвиго-взбросовыми подвижками во время ранней коллизии (360–320 млн лет) вдоль регионального Главного уральского разлома (ГУР) и образования кулисообразных жиловмещающих трещин отрыва. Образование жил происходит в приповерхностных условиях, давление не превышает 3 кбар (рис. 3) и температуры 250–400ºС. Несмотря на низкий показатель светопропускания относительно низкие температуры растворов обусловливают низкие средние содержания структурного алюминия (Al = $20.1 \cdot 10^{-4}$ мас. %) [Агеев, 1985; Огородников и др., 2007; Поленов, 2008].

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. Только к жильному кварцу, слагающему тела кыштымского типа, применим термин “гранулированный” кварц. Кварц этого типа является продуктом рекристаллизации деформированного первично-гигантозернистого кварца жил выполнения раннепалеозойской стадии коллизии в зоне активного воздействия ГУРа под воздействием процессов высокотемпературного дислокационного метаморфизма уровня амфиболитовой фации (Т = 610–700ºС и *P* = 2–5 кбар), связанного с этапом поздней коллизии (310–240 млн лет).

Грануляция кварца обусловлена наличием градиента температуры, избыточного тектонического напряжения и инициирована его полиморфным α–β превращением с образованием полигональной системы усадочных трещин, аналогичной “сотовому” кварцу камерных пегматитов. Этим и вызвана равномерная зернистость гранулированного кварца [Юсупов и др., 1979; Поленов, 200].

Высокая чистота “гранулированного” кварца обусловлена первичной чистотой кварцевых жил выполнения пугачевского типа (см. рис. 2) и удалением механических примесей при грануляции кварцевых зерен в межзерновое пространство. Содержание валового алюминия 30–$40 \cdot 10^{-4}$ мас. %, структурной примеси алюминия – в пределах 10–$20 \cdot 10^{-4}$ мас. %.

Стекловидный гигантозернистый жильный кварц **щербаковского типа** представляет совокупность разделенных индукционными поверхностями индивидов размером до 10 см и более по наибольшему сечению. Изучение морфологии, характера срастания и положения индивидов стекловидного гигантозернистого кварца в жильном кварце позволяет утверждать, что формирование агрегата осуществлялось в результате зернистого и друзового роста в открытых полостях, а данный тип жильного кварца является первично прозрачным или слабо замутненным первичными газово-жидкими включениями. Формирование кварцевых жил щербаковского типа вызвано гидротермальными процессами

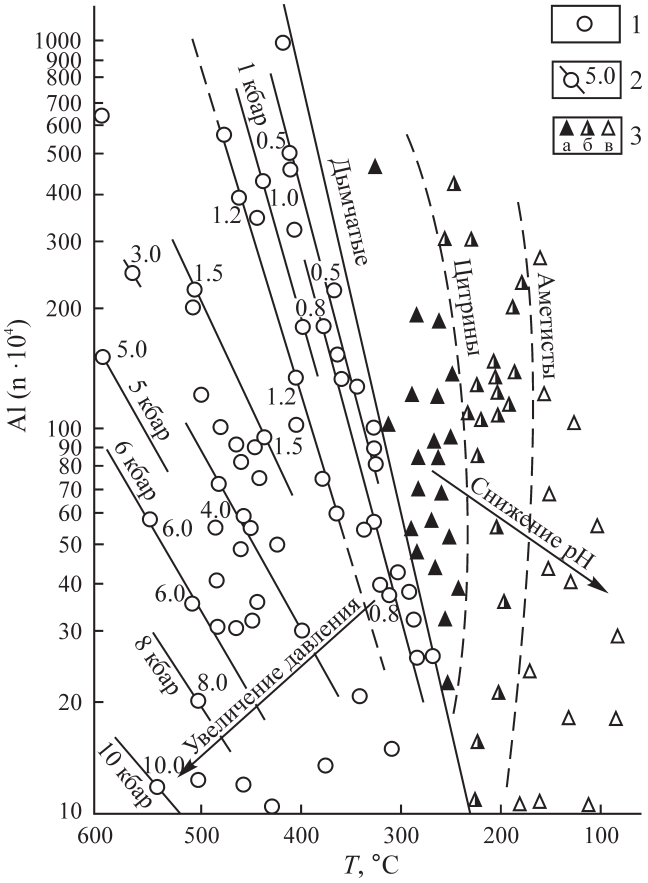

Рис. 3. Зависимость структурной примеси алюминия от *P-T*-pH параметров образования жильного кварца и кристаллов горного хрусталя [Страшненко, 1990; Огородников, 1993].

1 – жильный кварц; 2 – давление в кбар, при котором образовались кварцевые жилы; 3 – кристаллы горного хрусталя: дымчатые (а), цитрины (б), аметисты и бесцветные разности (в).

Fig. 3. Dependence of aluminum structural admixtures upon the *P-T*-pH formation parameters of vein quarts and the crystals of rock crystal [Strashnenko, 1990, Ogorodnikov, 1993].

1 – vein quarts, 2 – pressure in kbar at which quartz veins have been formed, 3 – the crystals of rock crystal: smoke-colored (a), citrines(б), amethysts and colorless varieties (в).

при позднепалеозойской коллизии (310–240 млн лет), они относятся к наиболее молодым образованиям и нередко приурочены к зонам локализации жил гранулированного кварца, а в ряде случаев секут их [Огородников и др., 2007, 2014]. Термодинамические условия образования этих жил предопределяют достаточно высокое предельное количество структурного алюминия (20–30·10^{-4} мас. %), причем преобладает алюминий с Na-Li компенсатором. ИК-спектры стекловидного кварца имеют много общих характеристических особенностей с ИК-спектрами горного хрусталя, что обусловлено близкими термодинамическими условиями их образования (см. рис. 2).

ПАРАМЕТРЫ ОСОБО ЧИСТОГО КВАРЦА

Кварц – основной минерал кварцево-жильных образований многих рудных и нерудных месторождений полезных ископаемых. Обычные парагенезисы минералов золота, 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. В связи с этим детальное исследование кварца имеет большой практический интерес.

За восьмидесятилетний период детального изучения различных разновидностей кварца уральских месторождений исследователями проведены значительные полевые и лабораторные наблюдения с широким использованием современных методов исследования минералов, что позволило определиться с основными параметрами, влияющими на качество особо чистого кварца – сырьевых источников для высококачественных кварцевых концентратов. Минеральными параметрами, характеризующими качество природного кварцевого сырья, являются его химическая чистота, минеральный состав и прозрачность кварца – светопропускание (Т, %).

Содержание структурных примесей в кварце объективно отражает особенности его генезиса и может быть использовано в качестве критерия прогнозирования и оценки объектов в особенности на ранних стадиях геологоразведочных работ. Для этой цели используются высокоточные методы ЭПР и ИК-спектроскопии с помощью которых можно устанавливать содержание основной структурной примеси – алюминия, достигающей 80% от всей суммы примесей.

Концентрация структурно связанного алюминия в кварце снижается с падением температуры и повышением давления в минералообразующей системе (см. рис. 3), что определяется относительным положением кварцево-жильного поля относительно удаленности от кровли гранитных массивов, поверхности высокометаморфизованного гнейсового блока или шовных зон региональных разломов [Страшенко, Мельников, 1989; Страшенко, 1990; Огородников, 1993].

Важнейшими физико-химическими факторами, определяющими генетический тип месторождений и технологические свойства кварца, являются температура и давление минералообразующего процесса, которые находятся в относительном соответствии с температурой и давлением метаморфизма вмещающих жилы пород. Повышение температуры кристаллизации способствует, а рост давления, наоборот, препятствует вхождению алюминия и щелочей, как основных загрязняющих элементов-примесей, в решетку кварца. Эффект влияния температуры кристаллизации на концентрацию структурных примесей в кварце на порядок превышает эффект влияния давления [Страшенко, 1990; Огородников, 1993].

Определение содержания изоморфных примесей в кварце методом ИКС проводилось на основе измерения концентраций связанных с ними парамагнитных центров. Значения концентрации структурной примеси Al, компенсируемого щелочными ионами для исследованных образцов приведены в табл. 2 [Серкова, 1990].

Чаще кварц жил выполнения позднеколлизионного этапа (щербаковский тип), представленный прозрачным и полупрозрачным крупно- и гигантозернистым агрегатом, отличается повышенным содержанием Al^{3+} (Na, Li), достигающим (18–54)·10^{-4} мас. %. Таким кварцем сложены жилы Щербаковская и № 3 Кыштымского месторождения.

Первично-зернистый кварц слагает жилы выполнения, которые на Урале сформировались в раннюю (пугачевский тип) и позднюю (щербаковский тип) коллизии. Этот кварц в зависимости от условий образования может быть молочно-белым крупногигантозернистым и стекловидным крупно-гигантозернистым. Внешне отличить эти два вида кварца не представляет никакой проблемы, но разделение их по визуальным наблюдениям на ранне- или позднеколлизионные образования весьма проблематично. В решении этой проблемы должны помочь точные методы исследования жильного кварца.

При внимательном рассмотрении спектров ИКС вторично-зернистого кварца, можно сделать некоторые генетические и практические выводы. Содержание примесей Al^{3+}(Na, Li) в кварце жилы 170 Кыштымского месторождения по сравнению с содержанием примесей в других типах жильного кварца повышено и достигает 13.7·10^{-4} мас. % (см. табл. 2). Этот параметр является наследственным, поскольку жила 170 слюдяногорского типа образовалась в результате перекристаллизации с укрупнением зерен кварца во вмещающих породах под действием метаморфизма ранней и поздней коллизий.

Жилы гранулированного кварца кыштымского типа характеризуются низким содержанием Al^{3+}(Na, Li), – от 0 до 2.8 10^{-4} мас. %. Этот тип

Таблица 2. Основные параметры ИК-спектров жильного кварца различных генотипов Уфалейского кварценосного района [Серкова, 1990], с изменениями авторов

Table 2. The main parameters of the IR spectra of vein quartz of different genotypes of the Ufalei quartz region [Serkova, 1990], with the authors' changes

Минералого-технологические типы	№№ жил	ID	Кол-во проб	Площадь полосы поглощения, $см^{-2}$							
				3375 $см^{-1}$ OH-(Al)		3440 $см^{-1}$ OH-(Al-Na)		3475 $см^{-1}$ OH-(Al-Li)		3640-3680 $см^{-1}$ HF	
				$X_{ср}$	σ	$X_{ср}$	σ	$X_{ср}$	σ	$X_{ср}$	σ
Егустинский	191	1	19	9	2.2	–	–	–	–	13.1	6.6
	192	2	10	7.9	3	–	–	–	–	12.1	2.4
	194	3	4	10.6	1.5	–	–	–	–	11.1	3.3
Уфалейский	175	4	20	7.2	1.3	–	–	–	–	8.5	1.1
	179	5	5	7.2	1.7	–	–	–	–	15.2	5.6
	185	6	7	10	2.5	–	–	–	–	23.1	10.2
	4	7	5	18.2	8.6	–	–	–	–	5.2	2.1
	3	8	5	36.4	21	4.9	1.2	5.2	0.9	7.1	3.3
Слюдяногорский	170	9	3	15.2	1.6	2.2	1.3	0.5	0.07	0	–
Щербаковский	3	10	15	25.7	6.2	4.4	2.1	0.9	0.3	0	–
	Щер.	11	5	22.5	2.4	2.8	1.6	0.9	0.2	0	–
Кыштымский	101	12	13	15.3	3	0.6	0.2	–	–	0	–
	21	13	8	19.1	2.3	2.3	0.8	0.3	0.05	0	–
	10	14	4	14.2	2.1	–	–	–	–	0	–
	35	15	3	14.7	1.7	–	–	–	–	0	–
	204	16	2	12.1	2.1	–	–	–	–	0	–
Пугачевский	88	17	10	16.2	2.9	–	–	–	–	0	–

Примечание. Прочерк – нет данных.

Note. Dash – no data.

кварца образовался в результате рекристаллизации гигантозернистого кварца жил выполнения ранней коллизии при высокотемпературном метаморфизме в этап поздней коллизии.

СТРУКТУРНО-ФОРМАЦИОННЫЕ ЗОНЫ УФАЛЕЙСКОГО МЕТАМОРФИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Ранее считалось, что кварцевые жилы золоторудных и редкометальных месторождений не пригодны для стекловарения. Наши исследования показали, что кварц этих месторождений ничем не отличается от так называемых "безрудных" кварцевых жил. Все исследованные кварцевые объекты Уфалейского метаморфического комплекса группируются нами в пределах однотипных, часто пространственно разобщенных, структурно-формационных зонах.

Жилолокализующие структуры и структурно-формационные зоны, обладают однотипными геологическим строением, одинаковыми условиями образования кварцевых жил и их последующими изменениями, но пространственно разобщены. В нашем случае, изученные кварцевые жилы располагаются с запада на восток, что позволяет использовать полученные методом ИК-спектроскопии данные по количеству структурных примесей в кварце для их отображения на усредненном разрезе юго-восточной части Уфалейского метаморфического комплекса. Схема размещения изученных структурно-формационных зон приведена на рис. 4.

Серебрянская структурно-формационная зона (I)

Кварцевые жилы, отнесенные к этому типу разреза, локализованы в центральной части Уфалейского метаморфического комплекса и пространственно приурочены к зоне оперения Серебрянского сдвига-взброса, по которой проходит граница егустинской и сюдяногорской подсвит уфалейской свиты нижнепротерозойского возраста. Граница между этими стратиграфическими элементами выделяется с определенной долей условности и разные авторы трактуют ее по разному [Кузнецов и др., 2008]. Структурно-вещественные комплексы, характеризующие эту часть разреза, представлены отложениями уфалейской свиты. Доминирующая роль здесь принадлежит гнейсовидным плагиоклазовым амфиболитам и их метаморфическим производным, подчиненное значение имеют слюдяные гнейсы, гранито-гнейсы и обычно интенсивно гранитизированные слюдяно-кварцевые сланцы и серые грубосланцевые кварциты. Характерной особенностью кварцево-жильной минерали-

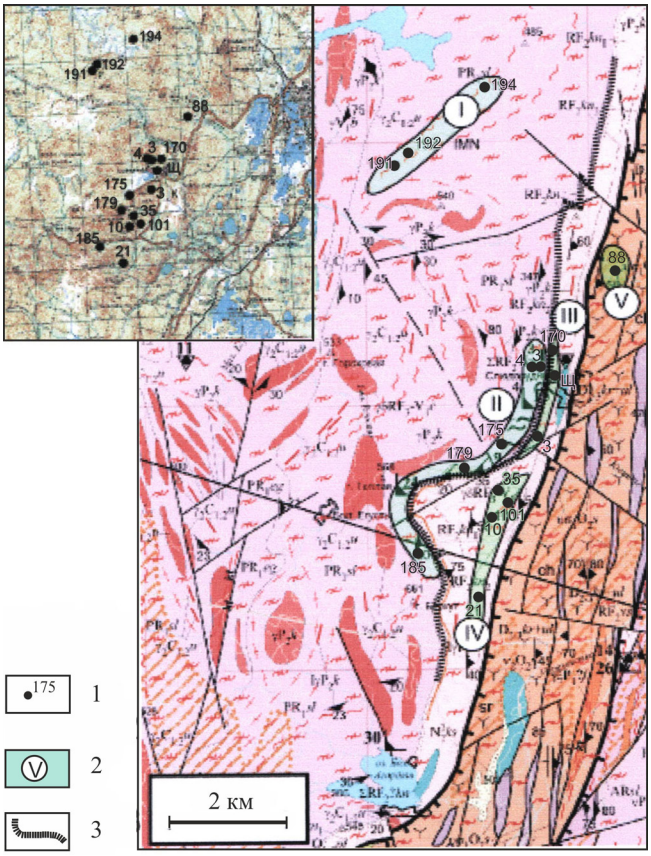

Рис. 4. Схема размещения кварцевых жил, изученных методом ИК-спектроскопии в пределах юго-восточной части Уфалейского метаморфического комплекса. Геологическая основа – фрагмент геологической карты, лист N-41-I [Кузнецов и др., 2008].

1 – кварцевые жилы и их номера, 2 – структурно-формационные зоны и их номера, 3 – фрагмент западного борта верхнепротерозойского рифта, Слюдяногорско-Теплогорская шовная зона.

Fig. 4. Scheme of location of quartz veins studied with IR-spectroscopy method within the limits of south-eastern part of the Ufalei metamorphic complex. Geological basis is a fragment of the geological map N-41-I [Kuznetsov et al., 2008].

1 – quartz veins and their numbers; 2 – structure-formational zones and their numbers; 3 – fragment of western edge of the upper Proterozoic rift, Slyudyanogorsk-Teplogorskaya suture zone.

зации является ее локализация в интенсивно дислоцированных и мигматизированных породах. По своим структурно-текстурным особенностям комплексы, вмещающие жилы кварца, сопоставимы со сложными мигматитами – инъекционными кварцевыми мигматитами агматитовой текстуры. Общим признаком для сложных мигматитов является то, что кварцевые тела занимают осевую часть структурных швов, изначально выполненных гранодиоритами (лейкосома) развитыми по амфиболитовому субстрату (палеосома), разгнейсованными более поздними коллизионными процессами.

Кварцевые объекты имеют различные размеры и представлены как единичными жилами, так и кварцево-жильными зонами. Единичные жилы имеют размеры до 120 м по простиранию, кварцево-жильные зоны до 250 м. Видимая мощность гранодиоритовой “оболочки” достигает 30–40 м и зависит от угла падения жилолокализующей структуры.

Жильный кварц в большей своей части имеет метасоматическую природу и характерную для данной структурно-формационной зоны тонкозернистую структуру, массивную текстуру и относится к высококачественному егустинскому минералого-технологическому типу [Савичев, 2005; Поленов, 2008]. К этому типу отнесены промышленные жилы № 191, 192, 193, 194, 195, 413, 414, и 415 Кузнечихинского месторождения метасоматического кварца и жила № 2136 Уфимской площади.

Слюдяногорско-Теплогорская структурно-формационная зона (II)

Кварцевые жилы, отнесенные к этой структуре, локализованы в верхах уфалейской свиты в пределах зоны интенсивной мигматизации, выраженной в частом переслаивании амфиболовых гнейсов и гранито-гнейсов. Эта зона ограничена с востока Слюдяногорским тектоническим нарушением, выделяемым по стратиграфическому и угловому несогласию между докембрийскими породами уфалейской свиты и рифейскими породами куртинской свиты [Мельников, 1988; Кузнецов и др., 2008; Огородников и др. 2014]. С этой зоной связаны все известные в этом районе слюдоносные пегматитовые жилы. Верхняя часть уфалейской свиты, примыкающая к Слюдяногорскому шву, сложена в значительной мере очковыми мигматитами, сильно мигматизированными кристаллическими сланцами и несет на себе следы интенсивного смятия, катаклаза, бластеза, будинажа.

На значительном протяжении вдоль тектонического шва наблюдается внедрение разновозрастных даек гнейсо-гранитов, порфировидных гранитов и гранит-порфиров, которые или непосредственно залечивают его или залегают вблизи основного нарушения. Эти дайки, в свою очередь, подвергаются процессам будинажа, что свидетельствует о полихронности развития данной шовной зоны. Дайковый комплекс охватывает не только мигматитовую часть уфалейской свиты, но и широко проявлен в примыкающей с востока части куртинской свиты. К этой же зоне приурочены кварцевые тела в мусковитовых пегматитах Слюдяногорского месторождения, которые длительное время принимались за кварцевые ядра пегматитов.

Метасоматический кварц в данной части разреза характеризуется мелкозернистой равномернозернистой массивной текстурой и относится к уфалейскому минералого-технологическому типу [Мельников, 1988; Савичев, 2005; Огородников и др., 2007]. Мелкозернистым принято считать такой кварц, в котором основная масса зерен имеет размеры менее 2 мм. Подавляющее большинство зерен в таком кварце имеет размеры 0.5–2 мм, остальные же более 2 или менее 0.5 мм.

Кварцевые жилы этого типа залегают с западной стороны Слюдяногорского тектонического шва и фактически трассируют его на значительном расстоянии. Жильные тела имеют длину по простиранию до 250 м (жила № 175), субсогласное с вмещающими породами падение.

В пределах этой шовной зоны локализованы основные промышленные тела Кыштымского месторождения гранулированного кварца: жилы № 175, 179, 185, 184, 189, жила Подосиновая.

Слюдяногорская структурно-формационная зона (III)

Разрез этой структурно-формационной зоны представлен отложениями куртинской свиты среднего рифея. Эта зона ограничивается с запада Слюдяногорским тектоническим швом между докембрийскими породами уфалейской свиты и рифейскими породами куртинской свиты, и представляет собой мощную зону смятия и дислокационного метаморфизма. Эта зона меланжа имеет мощность от 200 до 500 м и характеризуется интенсивным развитием пластических и хрупких деформаций, процессов перекристаллизации, бластеза и метасоматоза [Огородников и др.2007; Поленов и др., 2016].

Жилы, структурно-формационной зоны (III), располагаются в западной части куртинской свиты, наиболее близкой к Слюдяногорскому тектоническому шву. Данные объекты представляют собой жилы метаморфической дифференциации и перекристаллизации, сложенные зернистым средне- крупнозернистым кварцем катакластической структуры (Слюдяногорский тип, жила 170). Часть объектов представлена палеозойскими жилами выполнения, сложенными молочно-белым кварцем, шестоватой структуры, с большими участками прозрачного кварца с характерным струйчатым изломом и муаровым отливом (жила 3, Щербаковская и др.).

Кыштымская структурно-формационная зона (Кыштымское месторождение гранулированного кварца) (IV)

Месторождение располагается в центральной и западной части площади, занятой куртинской свитой, и сложено однородным среднезернистым гранулированным кварцем катакластической и гранобластовой структуры, который развивается по жилам выполнения молочно-белого и стекловидного кварца, путем рекристаллизации в высокобарических и высокотемпературных условиях и традиционно относится к кыштымскому минералого-технологическому типу [Вертушков, 1970; Емлин и др., 1988; Кузнецов и др., 2008; Поленов, 2008].

Структурно-формационная зона ГУРа (Пугачевское месторождение молочно-белого кварца) (V)

Основная роль в геологическом строении высокобарической зоны смятия ГУРа принадлежит гранат-слюдяно-кварцевым сланцам (бластомилонитам) с дистеном, которые в результате дислокационного метаморфизма приобрели вторичную бластическую структуру, они занимают около 60% закартированной площади. На долю слюдяных кварцито-сланцев (бластомиллонитов) приходится менее четверти разреза. Широкое развитие в минеральных парагенезисах бластопорфировых выделений красно-фиолетового граната, кристаллов кианита, ставролита, хлоритоида, фенгита, цоизита свидетельствует о высоких давлениях при образовании сланцевых бластомиллонитов.

Кварцевые жилы этой зоны составляют основную часть Пугачёвского месторождения молочно-белого и прозрачного жильного кварца, они приурочены к локальной зоне скалывания и находится в генетической связи с Главным уральским разломом [Агеев и др.,1985; Савичев, 2005]. Большая часть кварцевых жил месторождения (более 90%) сложена сложноструктурированным кварцем, состоящим из нескольких генераций, сформированных в различные стадии эволюции кварцевых жил. Неоднородный разнозернистый катакластический кварц жилы № 88, попавшей в выборку, по своим параметрам сопоставимым с жилами Кыштымского месторождения (IV).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Выделение структурно-формационных зон (пространственных сгущений кварцевых жил) как элементов геологического разреза позволяет создать упрощенный геологический разрез юго-восточной части Уфалейского метаморфического комплекса, на фоне которого представлены результаты ИК-спектроскопии жильного кварца (рис. 5).

Примесные микроэлементы, фиксируемые ИК-спектроскопией – (OH-(Al), OH-(Al-Na), OH-(Al-Li) и HF-комплексы внедрены в кристаллическую решетку кварца на уровне дефектов. Максимумы примесных микроэлементов, образующих дефекты типа OH-(Al), OH-(Al-Na) и OH-(Al-Li) показывают, что внедрение этих дефектов в кварц происхо-

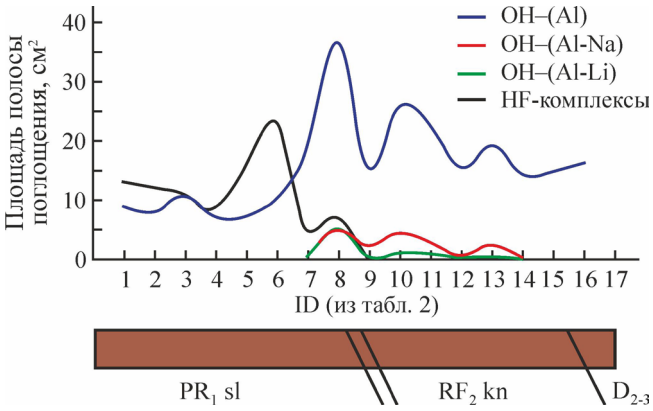

Рис. 5. Изменение количества структурных примесей в кварце кварцевых жил в усредненном разрезе юго-восточной части Уфалейского метаморфического комплекса с запада на восток.

Двойная линия – западный борт верхнепротерозойского (рифейского) рифта – Слюдяногорско-Теплогорская шовная зона, одинарная линия – ГУГР.

Fig. 5. Changing of quantity of structural impurities in quartz of quartz veins in average profile of the south-eastern part of the Ufalei metamorphic complex from west to east.

Double line is a western edge of the Upper Proterozoic (Riphean) rift – Slyudyanogorsk-Teplogorskaya suture zone; single line is MUDF.

дило в зоне Слюдяногорского тектонического шва (см. рис. 5).

Максимумы OH-(A1-Na) и OH-(A1-Li)-дефектов связаны с проявлением редкометалльных элементов, они вызваны щелочным метасоматозом в пегматитах Слюдяногорского месторождения и развитием карбонатитов вдоль Слюдяногорско-Теплогорской шовной зоны. Ореол этих дефектов охватывает кварцевые жилы западной и центральной частей площади развития куртинской свиты. Микроэлементный состав включений позволяет сделать вывод о том, что данные дефекты были внедрены в кристаллическую решетку кварца в процессе метасоматоза щелочной стадии с сопутствующим внедрением редкоземельных и редкометалльных микроэлементов и проявлением альбитизации, индикаторами которых являются OH-(A1-Na) и OH-(A1-Li)-дефекты.

Примесные HF-комплексы фиксируются в кварце кварцевых жил, локализованных в слюдяногорской свите и не переходят в ореол, сопряженный с куртинской свитой. Фторотипный характер дефектов (HF-комплексы) в кварце кварцевых жил в пределах слюдяногорской свиты, связан с воздействием кислых фторидных растворов, сопутствующих процессам метасоматического карбонатитообразования, пространственно совмещенным с кварцлокализующими структурами [Огородников и др., 2014; Поленов и др., 2016].

Общий для кварца кварцевых жил региона дефект, образованный OH-(A1) – комплексом имеет максимум сопряженный со Слюдяногорским тектоническим швом., что говорит об интенсивном влиянии гидротермальных растворов на кристаллическую решетку кварца в пределах этой зоны.

Таким образом, кварцевые жилы, трассирующие Слюдяногорский тектонический шов, находятся в зоне длительного воздействия и тепло- и флюидопроводников с широко проявленными процессами дислокационного метаморфизма, магматизма и сопровождающего их метасоматоза, где происходит формирование фильтрующейся колонны со сложным по физической природе режимом стягивания рассеянных газов и жидкостей в более или менее концентрированный поток “стволовой зоны”, действия которого приводят к внедрению в кристаллическую решетку кварца структурных микропримесей определенной геохимической направленности.

Основными параметрами, характеризующими качество природного кварцевого сырья, являются его химическая чистота, минеральный состав и прозрачность (светопропускание – T%). Содержание структурных примесей в кварце объективно отражает особенности его генезиса и может быть использовано в качестве критерия прогнозирования и оценки объектов, в особенности на ранних стадиях геологоразведочных работ. Выявленные типоморфные признаки и характеристические параметры являются индикаторами условий образования кварца и его последующего преобразования. Метаморфическая и метасоматическая зональность, различные термодинамические условия формирования нашли отражение в типоморфных особенностях жильного кварца: структуре, химической чистоте, светопропускании, различного рода микродефектах и фиксируются ЭПР и ИК-спектроскопией. Использование интегральных результатов этих методов дает возможность оценить предельную чистоту сырья, которую можно получить после удаления из него твердых минеральных примесей в результате глубокого обогащения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение подчеркнем, что история геологического развития месторождений кварцево-жильного типа является сложной и охватывает значительные промежутки времени. Формирование кварцевых жил относится лишь к отдельным этапам развития месторождений, а сами они всегда приурочены к определенным структурным элементам, в пределах которых они подвергаются преобразованиям, нередко весьма значительным. Метаморфическая и метасоматическая зональность, различные термодинамические условия формирования отражаются в типоморфных особенностях

жильного кварца: структуре, химической чистоте, светопропускании, различного рода микродефектах, которые объективно отражают особенности его генезиса и могут быть использованы в качестве критериев прогнозирования и оценки объектов, в особенности на ранних стадиях геологоразведочных работ.

Работа выполнена в рамках госзадания НИР № 0393-2018-0031 "Коллизионные и постколлизионные рудообразующие процессы внутриплитных мобильных поясов" – руководитель доктор геол.-мин. наук А.Ю. Кисин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Агеев Б.И., Бурьян Ю.И., Захарченко И.И. (1985) Геолого-структурное положение Пугачевского месторождения стекловидного кварца *Геология метаморфических комплексов.* Свердловск: СГИ, 99-106.

Вертушков Г.Н., Борисков Ф.Ф., Емлин Э.Ф., Синкевич Г.А., Соколов Ю.А., Суставов О.А., Якшин В.И. (1970) Жильный кварц восточного склона Урала. *Тр. СГИ*. Вып. 66, Т. 2. Свердловск, 82-99.

Добрецов Н.Л. (1963) Минералогия, петрография и генезис гипербазитов, жадеитов и альбититов хр. Борус (Западный Саян). *Тр. ИГГ СО АН СССР.* Вып. 15. Т. 1, 242-320.

Емлин Э.Ф., Синкевич Г.А., Якшин В.И. (1988) Жильный кварц Урала в науке и технике. Свердловск, Средне-Уральское кн. издательство, 272 с.

Кузнецов Н.С., Пужаков Б.А., Шох В.Д. и др. (2008.) Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200 000. Сер. Южно-Уральская, лист N-41-I (Кыштым). Объяснительная записка. Отчет.Челябинск 320 с.

Мельников Е.П. (1988.) Геология, генезис и промышленные типы месторождений кварца. М.: Недра, 216 с.

Огородников В.Н. (1993) Закономерности размещения и условия образования кварцево-жильных хрусталеносных и золоторудных месторождений Урала: дис.... д-ра геол.-мин. наук. Свердловск, 367 с.

Огородников В.Н., Сазонов В.Н., Поленов Ю.А. (2007) Минерагения шовных зон Урала. Уфалейский гнейсово-амфиболитовый комплекс (Южный Урал). Екатеринбург: Изд-во ИГГ УрО РАН; УГГУ, 187 с.

Огородников В.Н., Коротеев В.А., Поленов Ю.А., Бабенко В.В., Савичев А.Н. (2014) Золоторудная, редкометальная и хрусталеносная минерализация месторождений Урала кварцево-жильного типа. Екатеринбург: УрО РАН; УГГУ, 312 с.

Поленов Ю.А. (2008) Эндогенные кварцево-жильные образования Урала. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 269 с.

Поленов Ю.А., Огородников В.Н., Савичев А.Н. (2016) Использование современной генетической классификации жильного кварца при проведении кварцеметрической съемки и ведении геологической документации горных выработок. *Изв. Вузов. Горный журнал*, (7), 69-74.

Савичев А.Н. (2005) Уфалейский кварцево-жильный район (закономерности размещения кварца различных генетических типов, минералого-технологическое картирование и прогноз): автореф. дис. … канд. геол.-мин. наук. Екатеринбург: УГГУ, 24 с.

Серкова Л.Е. (1990) Типоморфные особенности жильного безрудного кварца: дис....канд. геол.-мин. наук. Свердловск, ИГГ УрО АН СССР, 120 с.

Страшненко Г.И. (1990) Геохимические особенности распределения элементов-примесей в кварце *Докл. АН СССР*, **312(**6), 1450-1453.

Страшненко Г.И., Мельников Е.П. (1989) Метаморфогенные месторождения химически чистого жильного кварца. *Разведка и охрана недр*, (6), 2-12.

Юсупов С.Ш., Мельников Е.П., Фаттахутдинов С.Г. (1979) *PT*-условия грануляции жильного кварца Урала. Уфа: Баш ФАН СССР, 48 с.

REFERENCES

Ageev B.I., Burian Yu.I., Zakharchenko I.I. (1985) Geological and structural position of the Pugachevsky deposit of vitreous quartz. *Geologiya metamorficheskikh kompleksov* [Geology of metamorphic complexes]. Sverdlovsk, SGI Publ., 99-106. (In Russian)

Dobretsov N.L. (1963) Mineralogy, petrography and genesis of hyperbasites, jadeites and albitites. Borus Ridge (West Sayan). *Tr. IGG SB AN SSSR*. Vol. 15. T. 1, 242-320. (In Russian)

Emlyn E.F., Sinkevich G.A., Yakshin V.I. (1988) *Zhil'nyi kvarts Urala v nauke i tekhnike* [The vein quartz of the Urals in science and technology]. Sverdlovsk, Sredne-Ural'skoe Knizhnoe Izdatel'stvo, 272 p. (In Russian)

Kuznetsov N.S., Puzhakov B.A., Shokh V.D. et al. (2008) *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii masshtaba 1 : 200 000. Seriya Yuzhno-Ural'skaya, list N-41-I (Kyshtym). Ob''yasnitel'naya zapiska Otchet* [The state geological map of the Russian Federation at a scale of 1 : 200 000. Ser. Southern Urals, sheet N-41-I (Kyshtym) Explanation note. Report]. Chelyabinsk 320 p. (In Russian unpublished)

Melnikov E.P. (1988) *Geologiya, genesis i promyshlennye tipy mestorozhdenii kvartsa* [Geology, genesis and industrial types of quartz deposits]. Moscow, Nedra Publ., 216 p. (In Russian)

Ogorodnikov V.N. (1993) *Zakonomernosti razmeshcheniya i usloviya obrazovaniya kvartsevo-zhil'nykh, khrustalenosnykh i zolotorudnykh mestorozhdenii Urala.* Dis. dokt. geol.-min. nauk [Regularities of location and conditions of formation of quartz-veined crystal-bearing and gold ore deposits in the Urals. Dr. geol. and min. sciences diss.]. Ekaterinburg, 367 p. (In Russian)

Ogorodnikov V.N., Koroteev V.A., Polenov Yu.A., Babenko V.V., Savichev A.N. (2014) *Zolotorudnaya, redkometal'naya i khrustalenosnaya mineralizatsiya mestorozhdenii Urala kvartsevo-zhil'nogo tipa* [Gold ore, rare metal and crystalline mineralization of the Urals deposits of quartz-vein type]. Ekaterinburg, UrB RAS, USMU Publ., 312 p. (In Russian)

Ogorodnikov V.N., Sazonov V.N., Polenov Yu.A. (2007) *Minerageniya shovnykh zon Urala. Ufaleiskii gneisovo-amfibolitovyi kompleks (Yuzhnyi Ural)* [Mineralogy of the suture zones of the Urals. Ufalei gneiss-amphibolite complex (the Southern Urals)]. Ekaterinburg, IGG UB RAS, USGU Publ., 187 p. (In Russian)

Polenov Yu.A. (2008) *Endogennye kvartsevo-zhil`nye obra-*

zovaniya Urala [Endogenous quartz vein formations of the Urals]. Ekaterinburg, Publishing house of the USMU, 269 p. (In Russian)

Polenov Yu.A., Ogorodnikov V.N., Savichev A.N. (2016) Use of the modern genetic classification of vein quartz during quartz-metric surveying and geological documentation of mine workings. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Gornyi Zhurnal*, (7), 69-74. (In Russian)

Savichev A.N. (2005) *Ufaleiskii kvartsevo-zhil`nyi raion (zakonomernosti razmeshcheniya kvartsa razlichnykh geneticheskikh tipov, mineralogo-tekhnologicheskoe kartirovanie i prognoz).* Dis. kand. geol.-min. nauk [Ufaleisky quartz-vein region (regularities of the arrangement of quartz of various genetic types, mineralogical-technological mapping and forecast). Cand. geol. and min. sci diss]. Ekaterinburg, UGGU, 24 p. (In Russian)

Serkova L.E. (1990) *Tipomorfnye osobennosti zhil`nogo bezrudnogo kvartsa*. Dis. cand. geol.-min. nauk [Typomorphic features of vein free-ore quartz. Cand. geol. and min. sci. diss.]. Sverdlovsk, IGG UrB of AN SSSR, 120 p. (In Russian)

Strashnenko G.I. (1990) Geochemical features of the distribution of impurity elements in quartz. *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, **312**(6), 1450-1453. (In Russian)

Strashnenko G.I., Mel`nikov E.P. (1989) Metamorphogenic deposits of chemically pure veined quartz [Exploration and protection of mineral resources]. *Razvedka i okhrana nedr*, (6), 2-12.

Vertushkov G.N., Boriskov F.F., Emlin E.F., Sinkevich G.A., Sokolov Yu.A., Sustavov O.A., Yakshin V.I. (1970) The veined quartz of the eastern slope of the Urals. *Trudy SGI.* Issue. 66. V. 2, 82-99. (In Russian)

Yusupov S.Sh., Mel`nikov E.P., Fattakhutdinov S.G. (1979) *PT-usloviya granulyatsii zhil`nogo kvartsa Urala* [P-T codition of granulation of vein quartz of the Urals]. Ufa, Bash FAN SSSR, 48 p. (In Russian)