

Геологическое строение, петрография и генезис кварцевого месторождения Гора Хрустальная (Средний Урал)

В.Н.АНФИЛОГОВ, Л.Я.КАБАНОВА, М.А.ИГУМЕНЦЕВА, Н.К.НИКАНДРОВА (Институт минералогии УрО РАН; 456317, Челябинская обл., г. Миасс, Ильменский заповедник).

Приведены новые данные по геологическому строению и петрографии кварцевого месторождения Гора Хрустальная. Детально изучена петрография и геологическое положение пегматоидов – специфических крупнокристаллических пород, залегающих на контакте кварцевого тела с вмещающими его диоритами и амфиболитами. Методом гомогенизации газовой-жидких включений определен температурный интервал формирования месторождения равный 350–150°C. На основании полученных данных сделан вывод о гидротермально-метасоматическом генезисе месторождения.

Ключевые слова: кварц, пегматоид, геология, петрография, температура формирования.

Анфилогов Всеволод Николаевич
Кабанова Лариса Яковлевна
Игуменцева Мария Александровна
Никандрова Надежда Константиновна



anfilogov@mineralogy.ru
kablar@mineralogy.ru
maria@mineralogy.ru
nikandrova@ilmeny.ac.ru

Geological structure, petrography and genesis of Gora Chrustalnaya quartz deposit (Central Urals)

V.N.ANFILOGOV, L.YA.KABANOVA, M.A.IGUMENTSEVA, N.K.NIKANDROVA

New data on geological structure, petrography and formation temperature of Gora Chrustalnaya quartz deposit are presented. Detailed characteristic of pegmatoids, specific coarse-grained rocks exposed on the contact of quartz body and country rocks, is given. Formation temperature of the deposit is determined by homogenization of gas-liquid inclusions. The origin of the deposit is defined as hydrothermal-metasomatic.

Key words: quartz, pegmatoid, geology, petrography, formation temperature.

Месторождение Гора Хрустальная – одно из крупнейших месторождений кварца. Подробное описание месторождения приведено в монографии Э.Ф.Емлина и др. [3] и в работах Е.П.Мельникова и В.Д.Оболкина [4, 7]. По условиям образования Е.П.Мельников отнес кварц месторождения Гора Хрустальная к так называемому силекситовому типу. По мнению авторов, силекситовый кварц кристаллизовался из мономинерального кварцево-водного расплава при T 1000°C и P около 10^3 МПа. Согласно экспериментальным данным Г.К.Кеннеди, в этой области наблюдается полная взаимная растворимость кварца и воды [11]. Однако такие высокие параметры совершенно не согласуются с геологической позицией месторождения, глубина формирования которого не превышала 3 км [2, 3]. Это послужило основанием для того, чтобы еще раз рассмотреть особенности геологического строения месторождения, петрографию вмещающих пород и их взаимоотношение с кварцевым телом. Для оценки температуры образования месторождения определены температуры гомогенизации газовой-жидких включений (ГЖВ) в кварце из

кварцевого тела и в полевом шпате из пегматоида.

Геологическое строение месторождения Гора Хрустальная. Месторождение Гора Хрустальная расположено в юго-восточной части многофазного Верхисетского гранитного батолита на стыке Северского и Екатеринбургского плутонов [1], возраст которых равен 315 и 307 млн. лет (рис. 1). Месторождение представляет собой крупное, практически мономинеральное кварцевое тело размером 370×150 м в плане и 90–190 м по вертикали, сложенное светло-серым, серым и молочно-белым кварцем [7]. Четкие контакты между этими разновидностями отсутствуют. Основная масса молочно-белого кварца расположена в западной части тела и приурочена к его контакту с гранодиоритами [7].

В геологическом строении месторождения принимают участие преимущественно изверженные горные породы различного состава и метаморфизованные вулканогенно-осадочные породы силура. Изверженные породы представлены, главным образом, диоритами Северского массива и гранитами Екатеринбургского массива. Между диоритами и гранитами в виде узкой

полосы шириной от 20 до 120 м сохранились метаморфизованные и гидротермально измененные вулканогенно-осадочные породы невьянской свиты (рис. 2). На вскрытом горными выработками и разведочными скважинами разрезе они представлены рассланцованными амфиболитами с массивной, гнейсовидной или линейно-параллельной текстурой.

Кварцевые диориты – среднезернистая и крупнозернистая, местами порфириовидная порода с гнейсовидной текстурой. В шлифах структура породы гипидиоморфнозернистая, неравномернотекстурированная. Около 50% объема породы составляет плагиоклаз. В меньшем количестве находятся роговая обманка (20%), биотит (10%), кварц (10%), калиевый полевой шпат (8%) и акцессорные минералы (2%). На контакте диорита с кварцевым телом в диорите наблюдаются гнезда, сложенные крупнокристаллическим кварцем. Кварц серого цвета, местами дымчатый, прозрачный и полупрозрачный, представленный зернами удлиненно-призматической и шестоватой формы размером до 3 см.

Границы кварца с диоритом резкие. Местами части монокристалльных зерен кварца внедряются в диорит, замещая зерна всех минералов диорита. На контакте с кварцевым телом диорит сохраняет только реликтовую структуру. Все первичные минералы полностью замещены вторичными. Состав измененного диорита: слюда (парагонит – 40%, биотит – 10%), кварц – 25%, альбит – 10%, калиевый полевой шпат – 5%, кальцит – 5%, титанит – 3%, эпидот – 2%.

Породы гранитной формации представлены биотитовыми гранитами Екатеринбургского массива, залегающими в восточной части месторождения непосредственно к востоку от полосы амфиболитов. Граниты образуют небольшой изометричной формы сателлит Верхисетского массива, большая часть которого расположена за пределами месторождения (см. рис. 1). На участке они представлены средне-крупнозернистой, местами порфириовидной разности, с вкрапленниками полевого шпата светло-серого цвета. Средний минеральный состав биотитовых гранитов, по данным И.Н.Бушлякова (1976): плагиоклаз – 43%, кварц – 27,3%, микроклин – 21,1%, биотит – 6%, мусковит – 1,5%, прочие – эпидот, магнетит, ильменит, циркон, сфен и др. – 1,2% [2].

Амфиболиты представлены макроскопически темно-серыми с зеленоватым оттенком породами с отчетливо проявленной полосчатостью. Полосы различаются разным содержанием роговой обманки и имеют типичный для амфиболита состав: роговая обманка – 60%, плагиоклаз – 30%, кварц – 10% или состоят из биотита и амфибола (биотит – 45%, роговая обманка – 15%, плагиоклаз – 30%, кварц – 10%). Полосы амфиболитового состава преобладают и количественно, и по мощности.

Встречаются амфиболиты с гнездами кварца и кварц-полевошпатового материала, которые отчетливо выделяются на фоне темного амфиболита. Границы их

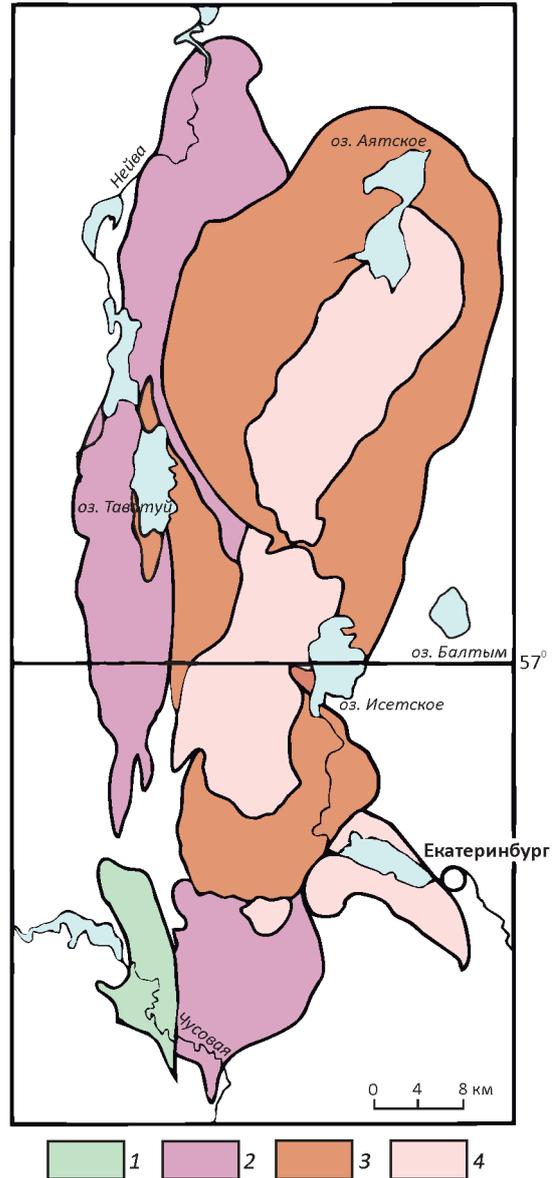


Рис. 1. Схема геологического строения Верхисетского батолита [7]:

1 – кварцевые диориты, разновозрастные (комагматичные) вулканогенным толщам островодужного типа; 2 – породы западно-верхисетского комплекса (тонталиты, трондьемиты); 3 – породы верхисетского комплекса (гранодиориты, граниты); 4 – граниты аятского комплекса

подчеркнуты скоплениями биотита или биотита и эпидота, или одного эпидота.

Пегматоид. Характерными для месторождения Гора Хрустальная являются породы пегматоидного облика (пегматоиды), почти повсеместно развитые на контакте с кварцевым телом. Пегматоидом авторы называют пегматитоподобную крупнокристаллическую породу, сложенную крупными кристаллами полевого шпата,

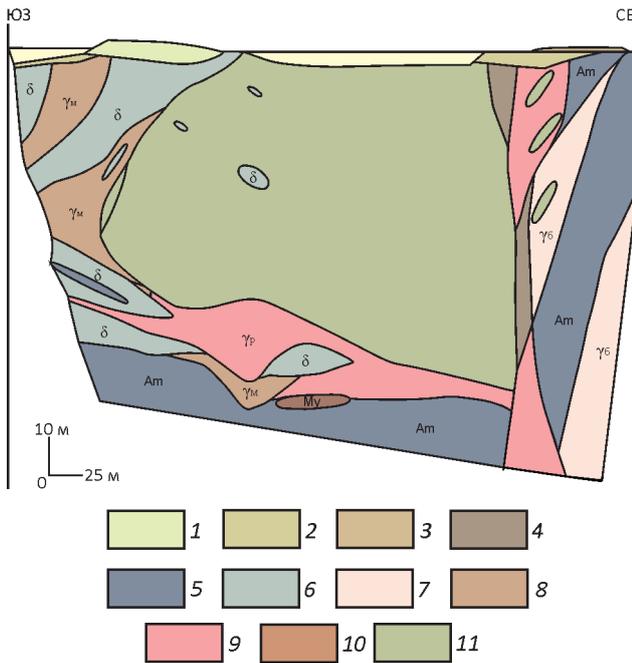


Рис. 2. Геологический разрез месторождения Гора Хрустальная:

1 – отвалы карьера; 2 – осыпи; кора выветривания; 3 – площадная, 4 – линейная, связанная с тектонической зоной; 5 – амфиболиты; 6 – диориты; 7 – граниты биотитовые; 8 – граниты мусковитовые; 9 – пегматоидные породы; 10 – слюдиты мусковитовые; 11 – кварцевые тела

мусковита и кварца. Пегматоид образует тела разной мощности на контакте с мономинеральным кварцевым телом. Порода имеет гипидиоморфную средне-крупнозернистую до гигантозернистую структуру, с прожилками и блоками кварца. В некоторых участках встречается новообразованный кварц и мелкочешуйчатый мусковит, агрегат которых создает лепидогранобластовую структуру. Количественный минералогический состав пегматоида, образованного на контакте с кварцевым диоритом, (в объемных долях %): плагиоклаз – 35, калиевый полевой шпат – 25, кварц – 35, слюда – 5. Плагиоклаз (олигоклаз N 20–24) наблюдается в виде таблитчатых и призматических зерен с отчетливо проявленными полисинтетическими двойниками размером от 1 до 6 мм. Некоторые зерна содержат единичные чешуйки серицита, другие – полностью серицитизированы. Калиевый полевой шпат, представленный ортоклазом или микроклином, образует широкие таблицы размером до 6 мм, реже до 1,5 см. Кварц в породе имеет три генерации.

Кварц первой генерации наблюдается в виде идиоморфных или ксеноморфных зерен, местами сингенетичных плагиоклазу. Часть зерен кварца кристаллизуется одновременно с плагиоклазом, но большая часть

образуется после плагиоклаза. Кварц второй генерации представлен зернами неправильной формы с зубчатыми границами, имеет волнистое погасание и часто замещает плагиоклаз и калиевый полевой шпат. В некоторых зернах наблюдаются реликты плагиоклаза и ортоклаза. Кварц третьей генерации входит в состав мирмикитов. Слюда в пегматоиде представлена парагонитом, который наблюдается в виде пластинок и табличек размером от 0,01 до 1,0 мм, бледно окрашенных, слабо плеохроирующих.

В восточном борту карьера, на контакте с амфиболитом, пегматоид представлен кварц-полевошпатовой, местами полностью каолинитизированной породой. В каолине сохраняются «желваки» серого и белого крупнозернистого кварца, часто с включениями розового полевого шпата (рис. 3). В шлифах калиевый полевой шпат наблюдается в виде крупных таблитчатых зерен микроклин-пертита, который замещается кварцем. Часто замещение осуществляется по трещинам или системам трещин (рис. 4, а).

Кварц месторождения Гора Хрустальная молочно-белый неравномерно зернистый или средне-крупнозернистый, сложенный зернами преимущественно неправильной формы размером от 3 мм до 1,5 см. В молочно-белом кварце наблюдаются участки, сложенные прозрачным кварцем. В шлифах кварц интенсивно деформирован. Структура его катакластическая, иногда фрагментарная. Размер зерен колеблется в широких пределах – от 0,01 мм до 1,2 см. Встречаются сложные двойники. Иногда по исходному кварцу развивается гранулированный кварц с размером зерен 0,01–0,05 мм. В зернах молочно-белого кварца отчетливо проявлена хрупкая и пластичная деформация.

Хрупкая деформация представлена внутризерновыми и межзерновыми трещинами, к которым приурочены отдельные цепочки и участки неправильной формы с разной степенью насыщенности ГЖВ. Содержание газовой-жидких включений колеблется в пределах от 1 до 5% на 1 см² площади шлифа в разных частях зерен. Размер включений преимущественно 1–3 мкм, встречаются одиночные крупные включения до 7 мкм. Помимо внутризерновых и межзерновых трещин в полупрозрачных зернах присутствуют следы пластической деформации в виде широких полос темного цвета, по которым местами образуется гранулированный кварц с размером зерен до 0,05 мм. Новообразованный кварц характеризуется изометричной или округлой формой, однородным погасанием и практически не содержит газовой-жидких включений и следов какой-либо деформации (см. рис. 4, б).

Серый крупнозернистый кварц. Внешне кварц крупнозернистый, полупрозрачный, интенсивно деформированный, блокованный и разлистованный, с пятнами прозрачного кварца размером от 0,5 мм до 2,0 см. В шлифе кварцевый агрегат представлен зернами разной формы размером от 0,01 мм до 1,0 см.

Следы плоскостей разлистования проявлены отчетливо и видны в шлифе в виде параллельных линий. Они разбивают индивидуы кварца на слои или пластины разной ширины. Каждый слой интенсивно деформирован. Отчетливо проявлены следы хрупкой и пластической деформации. Хрупкая деформация представлена внутризерновыми, межзерновыми и трансзерновыми трещинами. Все они залечены, различаются по длине и форме проявления. В слоях большей мощности зерна кварца имеют размеры до 6 мм.

Внутризерновые трещины короткие, прямолинейные, местами извилистые, иногда пересекающиеся (см. рис. 4, в). Межзерновые трещины более длинные, часто ступенчатые. Трансзерновые трещины наиболее протяженные, часто извилистые, пересекают не только несколько зерен одновременно, но и полосы разлистования. К внутризерновым трещинам приурочены цепочки газовой-жидких включений разной длины и степени насыщенности включениями. В одних зернах плотность ГЖВ около 0,1%, в других достигает 1–2% на 1 см² площади шлифа. Размер включений от 1 мкм до 10 мкм.

Пластическая деформация проявлена в зернах отчетливо и не зависит от мощности полос разлистования. В более широких слоях она представлена пересекающимися полосами пластической деформации, ширина которых обуславливает размер новообразованных зерен рекристаллизованного кварца. Такой кварц формирует цепочки и прослои, местами расчленяющими исходный кварц на фрагменты. В этих случаях возникает псевдопорфиробластовая структура с микрогранобластовой структурой основной ткани. Мелкозернистый новообразованный кварц характеризуется изометричной формой зерен, однородным погасанием, отсутствием газовой-жидких включений и следов деформации. Чем больше зерен новообразованного кварца возникает в жильном кварце, тем прозрачнее выглядят участки в кварцевом штуфе.

Серый кварц интенсивно блокован. Блоки разного размера от 0,1×0,5 до 1,0×2,5 мм, преимущественно прямоугольной формы. При этом наблюдается одна или две системы границ блоков. Если присутствуют две системы границ блоков, то обычно они совпадают или параллельны плоскостям разлистования. Наряду с разлистованием и блокованием проявлен катаклаз, наблюдается брекчиевая текстура. В шлифе агрегат средне-крупнозернистого кварца, интенсивно блокован. В каждом блоке отмечается разлистование, подчеркнутое полосами деформации, которые часто находятся в комбинации с локальными трещинами. Системы полос разлистования субпараллельны. Наблюдаются три системы границ блоков: две из них совпадают или параллельны плоскостям разлистования. Границы третьей системы не совпадают с плоскостями разлистования, они менее правильные и расположены под углом к плоскости разлистования. По полосам деформации

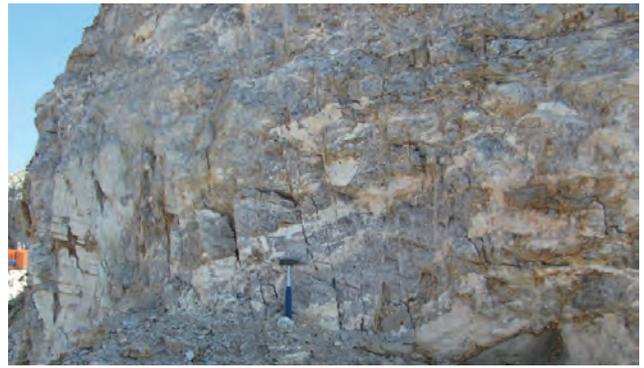


Рис. 3. Крупные блоки кварц-полевошпатовых пород, в которых преобладает серый крупнокристаллический кварц

местами формируется новообразованный гранулированный кварц в виде тонких цепочек. Зерна новообразованного кварца мелкие, изометричной формы размером 0,01–0,05 мм, с прямолинейными границами и однородным погасанием. Гранулированный кварц не содержит ГЖВ и следов деформации. Некоторые блоки сложены более крупными зернами размером до 1,0–2,0 мм.

Нередко в сером крупнозернистом кварце встречаются обособления неправильной формы и линзовидные полосы прозрачного льдистого кварца, интенсивно разлистванного, иногда с прослоями молочно-белого непрозрачного кварца. Эти слои разлистования различной мощности и степени деформации отчетливо проявлены и в шлифах. Мощность слоев от 0,1 мм до 1,0 см. Каждый разлистанный слой содержит следы хрупкой и пластической деформации.

Содержание элементов-примесей в молочно-белом и сером кварце практически одинаково (табл. 1).

Температуры гомогенизации газовой-жидких включений в кварце и полевошпате. Температуры гомогенизации газовой-жидких включений достаточно точно соответствуют температурам образования минералов, которые кристаллизуются из гидротермальных растворов. Сопоставление температуры гомогенизации газовой-жидких включений в синтетическом кварце с температурой синтеза показало, что первичные ГЖВ вполне адекватно отражают состав минералообразующей среды и являются своеобразными «проботборниками», консервирующими материнский раствор [10]. Они позволяют достаточно надежно определить интервал температур, при которых происходило отложение кварца. Установлено, что поправки к температуре гомогенизации линейно возрастают с ростом давления и при давлениях до 90 МПа не превышают +50°C [8, 9]. Поэтому, анализируя состав и температуру гомогенизации ГЖВ, можно решить вопрос о составе минералообразующей среды и генезисе месторождения кварца.

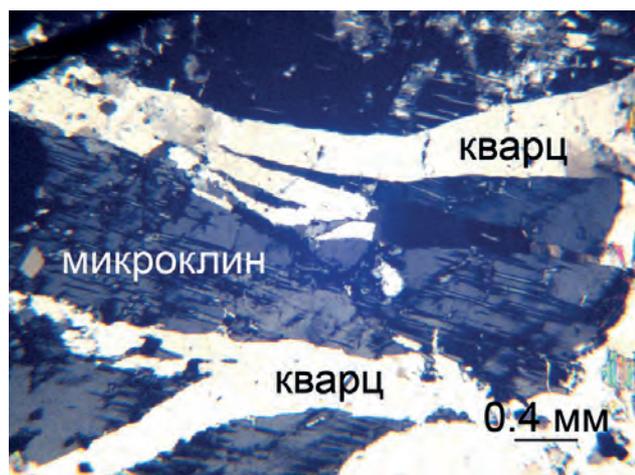


Рис. 4. Замещение микроклина кварцем:

обр. Хр-14-14; с анализатором

Микротермометрические исследования газовой-жидких включений выполнены в лаборатории геологического факультета Южно-Уральского государственного научно-исследовательского университета на микрокриотермостоліке THMSG-600 (Linkam) с микроскопом Olympus, позволяющем производить измерения температур фазовых переходов в интервале от -196 до $+600^{\circ}\text{C}$. Управляющее программное обеспечение LinkSys V-2.39. Точность измерений $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ в интервале температур от -20 до $+80^{\circ}\text{C}$ и $\pm 1^{\circ}\text{C}$ за пределами этого интервала.

Температуры гомогенизации определены в трех типах кварца: 1 – кварц из кварц-полевошпатового пегматоида,

залегающего в контакте с основным кварцевым телом, 2 – серый крупноблочный полупрозрачный кварц и 3 – молочно-белый кварц. Кроме того, исследованы газовой-жидкие включения в полево шпате из пегматоида. Изучались двух- и трехфазные включения размером >5 мкм. Температуры частичной и полной гомогенизации фиксировались в момент исчезновения газовой пузырька и до полного растворения солевой фазы в трехфазных ГЖВ при нагревании препарата в термокамере.

Кварц из пегматоида. В кварце из пегматоида замеры производились в двухфазных ГЖВ размером <5 мкм. Замерено 43 включения. ГЖВ в кварце пегматоида образуют густонасыщенные ленточные скопления и узкие цепочки, которые пересекаются или простираются параллельно, или расположены обособлено. Форма включений разнообразная: овальная, прямоугольная, трапециевидная, трубчатая. Размеры включений в основном <5 мкм, поэтому определить температуру эвтектики в них невозможно.

В кварце из пегматоида установлено три интервала температур гомогенизации: $270-340^{\circ}\text{C}$ (11 включений); $200-270^{\circ}\text{C}$ (19 включений) и $135-200^{\circ}\text{C}$ (12 включений). Распределение температур гомогенизации представлено в табл. 2 и на рис. 5.

В калиевом полево шпате изучены одиночные крупные флюидные включения (ФВ) и мелкие (<5 мкм), образующие густонасыщенные ленточные или неправильной формы поля. Проведены замеры в 41 включении и выделено 2 типа ГЖВ. Наиболее распространенные – двухфазные (водно-солевой раствор-газовый пузырек) и единичные трехфазные включения: темная жидкость+прозрачная светлая жидкость+подвижный газовый пузырек (2 включения). Для мелких ГЖВ характерна изометричная форма, для крупных – удлиненная прямоугольная, угловатая, редко овальная.

1. Химический состав (ppm) кварца месторождения Гора Хрустальная

Образец	Al	Ca	Ba	Cr	Cu	Fe	K	Li	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Sb	Ti	Zn	Сумма
<i>Светло-серый кварц</i>																	
X-11-17	147,75	–	1,45	0,36	0,06	16,53	46,95	0,79	6,72	0,48	11,81	0,26	0,12	0,04	6,64	0,51	240,66
X-1-17/o	43,56	–	0,33	0,09	0,09	4,26	18,90	0,36	2,37	0,15	2,47	0,05	0,08	0,10	5,67	0,64	79,30
<i>Серый прозрачный кварц</i>																	
X-11-15	134,95	19,15	0,93	0,38	0,10	20,51	28,67	1,40	6,34	0,56	30,90	0,25	0,08	0,05	8,03	0,56	233,87
X-11-15/o	37,81	–	0,65	0,07	0,13	5,08	12,92	0,77	2,20	0,16	5,17	0,05	0,11	0,03	5,68	0,62	71,75
<i>Молочно-белый кварц</i>																	
X-11-8	184,06	21,78	2,49	0,52	0,14	20,55	37,59	1,72	9,82	0,58	22,07	0,36	0,27	0,06	7,71	1,75	289,85
X-1-8/o	51,83	–	0,31	0,10	0,12	5,90	3,37	1,97	2,31	0,14	17,37	0,12	0,10	0,04	5,16	2,91	91,96

Примечание. Анализы выполнены на ИСП-АЭС спектрометре Varian 720-ES; аналитики: Р.Т.Зайнуллина и П.А.Ардышев; X-11-17 – исходный кварц, X-11-17/o – кварц глубокого обогащения.

Размеры ГЖВ составляют 5–10 мкм, газовые пузырьки занимают от 5 до 15% площади включения. Термометрические исследования для ГЖВ более 7 мкм показали, что гомогенизация основной массы включений происходила при T 250–300°C, два крупных включения (с газовым пузырьком до 50% от площади включения) гомогенизировались при T 310–315°C.

Серый, полупрозрачный кварц выполняет основной объем кварцевого тела. В кварце этого типа изучены включения в трех образцах. В образце Хр-12-1 наблюдаются очень мелкие ГЖВ (1–2 мкм), расположенные как по границам зерен, так и одиночные. Форма включений в основном изометричная. Исследовано 10 включений. В образце Хр-11-7 проведены термометрические исследования в 43 флюидных включениях. Наиболее часто встречаются трубчатые ГЖВ (25 включений) до 7 мкм в длину и 1,5 мкм в ширину, направленные в одну сторону с температурой гомогенизации от 170 до 287°C. Гомогенизация происходит в жидкую фазу, даже если газовый пузырек занимает 50% от объема включения. В образце ГХ-13-14 исследовано 15 включений. В основном это удлиненные трубчатые включения размером от 1 до 7 мкм, образующие цепочки и изометричные включения размером от 1,5 до 3 мкм, создающие поля из включений, и три двухфазных включения. Включения гомогенизировались в жидкую фазу. Встречено одно ГЖВ размером 10×14 мкм с газовым пузырьком, занимающим до 50% от площади включения, термические исследования которого позволили отнести его к 3 типу гомогенизации (гомогенизация с критическими явлениями, характерная для флюидов, имеющих критическую плотность растворов солевой системы).

Молочно белый кварц. В молочно-белом кварце исследованы флюидные включения, образующие пунктирно-точечные и ленточные протяженные цепочки, приуроченные к трещинам, облачные скопления вокруг пересечения трещин и единичные включения, приуроченные к зонам роста. Выделено 2 типа газовой-жидких включений: трехфазные включения и наиболее распространенные двухфазные (водно-солевой раствор+газовый пузырек). Форма включений: трубчатая, удлиненная с отростком, изометричная, угловатая и форма отрицательного кристалла; размеры включений 5–10 мкм (см. табл. 2). При нагревании трехфазные ГЖВ гомогенизировались в 2 этапа: 1 – исчезновение пузырька газа (частичная гомогенизация) при температурах 24–31°C (в среднем 27°C), 2 – растворение солевой фазы при температурах от 270 до 320°C. Для двухфазных ГЖВ установлено три интервала температур гомогенизации: 150–200°C, 210–270°C и 290–350°C. Криотермометрические данные представлены в табл. 2 и отображены на рис. 5.

Генезис месторождения Гора Хрустальная. Изложенные результаты изучения геологического строения месторождения Гора Хрустальная, петрографии и

2. Результаты криотермометрических исследований ГЖВ в кварце

Образцы	Температура гомогенизации, °С
<i>Кварц из пегматоида</i>	
Хр-2-3	200–270 (19)
	270–340 (11)
	135–200 (12)
<i>Калиевый полевой шпат из пегматоида</i>	
Хр-13-6	150–200 (6)
	200–250 (20)
	250–300 (9)
	300–315 (2)
<i>Серый полупрозрачный кварц</i>	
Хр-12-1	150–200
	200–270 (1)
	270–340 ?
Хр-11-7	150–200 (11)
	200–270 (29)
	270–340 (6)
	340–380 (2)
ГХ-13-14	150–200 (6)
	200–270 (5)
	371 (1)
<i>Молочно-белый кварц</i>	
Хр-12-2	24–31 (частичная)
	270–320 (4) (полная)
	150–200 (25)
	210–270 (46)
	290–350 (8)

Примечание. Анализы выполнены в микрокриотермокамере THMSG-600 (Linkam) с микроскопом Olympus: аналитик Н.К.Никандрова; в скобках указано число измерений.

температур гомогенизации газовой-жидких включений позволяют определить основные особенности процесса формирования этого уникального месторождения кварца. При внедрении более молодого Екатеринбургского массива биотитовых гранитов на его контакте с Северским массивом образовалась зона интенсивной трещиноватости пород мощностью более 100 м. В этой зоне сохранилась узкая полоса амфиболитов, которая на западе контактировала с кварцевыми диоритами, а на востоке – с биотитовыми гранитами Екатеринбургского массива. В результате неравномерного прогрева пород в зоне трещиноватости возникла конвективная циркуляция флюида, в которой происходил вынос кремнезема из области высоких температур и его отложение при понижении температуры.

При формировании месторождения одновременно протекали два процесса. В зоне трещиноватости происходило отложение кварца в виде мономинеральных кварцевых жил. Одновременно, при фильтрации раствора, из которого отлагался кварц, в диориты и амфиболиты,

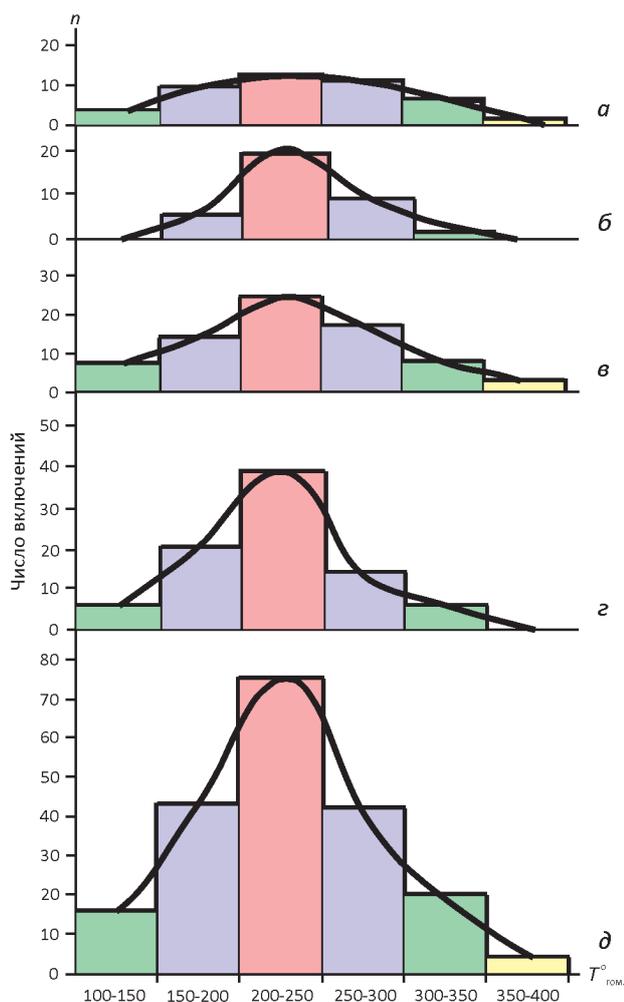


Рис. 5. Распределение температур гомогенизации ГЖВ:

а – в кварце из пегматоида; б – в калиевом полево м шпате из пегматоида; в – в сером полупрозрачном кварце; г – в молочно-белом кварце; д – интегральная кривая распределения температур гомогенизации

на их контакте с кварцем формировался слой метасоматического пегматоида, замещающего диориты и амфиболиты. Этот слой представлял собой внешнюю зону метасоматической колонки, минеральный состав которой определялся составом замещаемых пород. По мере развития процесса пегматоид постепенно замещался кварцем.

Процесс замещения начинается с образования в полево м шпате округлых скоплений кварца и завершается полным замещением полево м шпата. Подобные метасоматические образования описаны в монографии [6].

В последующем происходила перекристаллизация кварца и очистка его от включений полево м шпата. В итоге было сформировано крупное мономинеральное тело кварца, сложенное крупноблочным и молочно-белым кварцем. Процесс формирования месторождения начался при T 350–400°C и завершился при T около 150°C.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борисенко А.С. Изучение солевого состава растворов газозо-жидких включений в минералах методом криометрии // Геология и геофизика. 1977. № 8. С. 16–28.
2. Бушляков И.Н., Соболев И.Д. Петрология, минералогия и геохимия гранитоидов Верхисетского массива. – М.: Наука, 1976.
3. Емлин Э.Ф., Синкевич Г.А., Якишин В.И. Жильный кварц Урала в науке и в технике. – Свердловск: Средне-Уральское кн. изд-во, 1988.
4. Мельников У.П., Оболкин В.Д., Евстропов А.А. Месторождение жильного кварца Гора Хрустальная // Советская геология. 1981. № 6. С. 36–39.
5. Мельников Ф.П., Прокофьев В.Ю., Шатагин Н.Н. Термобарогеохимия. – М., 2008.
6. Никаноров А.С. Гранитные пегматиты. – М.: Недра, 1979.
7. Оболкин В.Д., Мельников Е.П., Евстропов А.А. Вещественный состав силексита месторождения Гора Хрустальная (Средний Урал) // Известия АН СССР. Сер. геологическая. 1981. № 6. С. 119–129.
8. Поленов Ю.А. Эндогенные кварцево-жильные месторождения Урала. – Екатеринбург, 2008.
9. Смирнов В.Н., Иванов К.С. Геодинамические условия формирования гранитоидов Верхисетского батолита (восточный склон среднего Урала) // Доклады Академии наук. 2013. Т. 451. № 1. С. 65–67.
10. Хетчиков Л.Н., Дороговин Б.А., Самойлович Л.А. Зависимость поправки к температурам гомогенизации и взрывания газозо-жидких включений в минералах от давления, плотности и состава растворов // Геология рудных месторождений. 1968. Т. X. № 3. С. 87–97.
11. Шапошников А.А., Ермаков И.П. О величине расхождения температур гомогенизации газозо-жидких включений с истинными температурами кристаллизации консервирующего их искусственного кварца // Минералогическая термометрия и барометрия. Т. I. – М.: Наука, 1968. С. 95–102.
12. Bodnar R.J., Vityk M.O. Interpretation of microthermometric data for $H_2O-NaCl$ fluid inclusions // Fluid inclusions in minerals: methods and applications. Pontignana-Siena. 1994. Pp. 117–130.
13. The upper three-phase region in the system SiO_2-H_2O / G.C.Kennedy, C.J.Wasserberg, H.C.Heard, R.C.Newton // Amer. J. Sci. 1962. Vol. 260. Pp. 501–521.