

## РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В КВАРЦЕВО-ЖИЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЯХ УРАЛА И ИХ ИНДИКАТОРНАЯ РОЛЬ

© 2013 г. Ю. А. Поленов, В. Н. Огородников, А. Н. Савичев

Уральский государственный горный университет,  
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30  
E-mail: fgg.gl@m.ursmi.ru

Поступила в редакцию 03.04.2013 г.

В настоящей статье, по материалам авторов, приводятся результаты исследования закономерностей распределения РЗЭ в различных типах жильного кварца эндогенных кварцево-жильных образований Урала. Исследование различных типов кварца на содержание в них РЗЭ выявило возможность интерпретации полученных данных для расшифровки генезиса кварцево-жильных образований, поскольку содержания структурных примесей и РЗЭ 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.

Ключевые слова: Урал, редкоземельные элементы, кварцевые жилы.

### ВВЕДЕНИЕ

На первоначальном этапе изучение кварцевых жил и определение в них содержания РЗЭ велось с целью оценки возможности использования жильного кварца для получения высококачественного кварцевого стекла. Для его плавки требуется природный особо чистый кварц.

По мере накопления материалов по исследованию различных типов кварца на содержание в них РЗЭ появилась возможность интерпретации полученных данных для расшифровки генезиса кварцево-жильных образований, поскольку содержания структурных примесей и РЗЭ 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.

### ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ТИПЫ КВАРЦЕВО-ЖИЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ

Изучение онтогении кварцево-жильных образований Кочкарского, Теренсайского, Березовского, Уфалейского и других кварцево-жильных и рудных полей позволило выделить среди кварцевых жил несколько групп, которые можно рассматривать как самостоятельные формации и субформации кварцево-жильных образований, каждая из которых имеет свой механизм образования и занимает определенную геологическую позицию [6–9]. Разработанная классификация кварцево-жильных образований приведена в табл. 1. Формация принята нами в значении, как это изложено в работах Г.Н. Вертушкова и его учеников [2], а субформация

рассматривается как онтогенический тип кварцево-жильного образования.

Выполнение требований перерабатывающей промышленности к качеству поставляемого природного жильного кварца привело к необходимости выделения минералого-технологических типов кварца. Наиболее востребован в настоящее время особо чистый кварц. Под этим термином понимается кварц, содержащий вредные примеси в геохимических формах и в количествах, позволяющих получать кварцевые концентраты требуемой в микроэлектронике чистоты. К этой категории, как будет показано далее, относится гранулированный кварц.

**Формация первично-зернистого кварца** включает в себя *метаморфогенные кварцевые прожилки и мелкие жилы метаморфической дифференциации, тела метасоматических кварцитов*, образовавшихся в результате замещения горных пород кварцем на стадии кислотного выщелачивания, и *кварцевые жилы выполнения*, сложенные стекловидным, молочно-белым кварцем и мелкозернистым друзовидным кварцевым агрегатом.

*Субформация кварцевых прожилков и мелких жил метаморфической дифференциации* формируется в результате перемещения вещества внутри метаморфических пород при метаморфизме, вдоль кристаллизационной сланцеватости, преимущественно под воздействием температуры, при участии поровых растворов. В породах метаморфизованных в условиях амфиболитовой и эпидот-амфиболитовой фаций, в зонах пониженных давлений, формируется метаморфическая полосчатость, контрастно подчеркнутая кварцево-полевошпатовыми и кварцевыми прожилками ме-

**Таблица 1.** Формации, субформации и минерально-технологические типы кварцево-жильных образований Урала [6].

| Геодинамический режим | Формация                                                                 | Субформация (онтогенетический тип)                                         | Генетический тип                | Структура кварца                                                   | Минералогический тип (эталон) |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| 1                     | 2                                                                        | 3                                                                          | 4                               | 5                                                                  | 6                             |
| Ранняя коллизия       | Кварцево-жильные образования первично-зернистого кварца                  | Жилы перекристаллизации (метаморфической дифференциации)                   | Метаморфогенный                 | Грануломорфная, мелко-, среднезернистая, с ровными границами зерен |                               |
|                       |                                                                          | Тела замещения (метасоматические кварциты)                                 | Гидротермально-метасоматический | Мелкозернистая с зубчатыми границами зерен                         | Серебровский                  |
|                       |                                                                          | Жилы выполнения (включая рудные)                                           | Гидротермальный                 | Шестоватая, крупно-гигантозернистая (молочно-белого кварца)        | Караяновский, Березовский     |
| Поздняя коллизия      | Кварцево-жильные образования первично-зернистого кварца                  | Пегматитовые ядра                                                          | Магматогенно-гидротермальный    | Шестоватая, крупно-гигантозернистая                                | Светлинский                   |
|                       |                                                                          | Жилы выполнения                                                            | Гидротермальный                 | Шестоватая, крупно-гигантозернистая (стекловидного кварца)         | Пугачевский, г. Хрустальная   |
|                       |                                                                          | Минерализованные полости                                                   | Гидротермально-метасоматический | Кристаллы в полости                                                | Астафьевский, Додо            |
|                       |                                                                          | Тела замещения (метасоматический кварц)                                    | Гидротермально-метасоматический | Мелкозернистая с зубчатыми границами зерен                         | Грейзеновые месторождения     |
|                       | Кварцево-жильные образования вторично-зернистого гранулированного кварца | Жилы перекристаллизации (по жилам метаморфической дифференциации)          | Метаморфогенный                 | Гетеробластовая, крупнозернистая с ровными границами зерен         | Слюдяногорский                |
|                       |                                                                          | Жилы, сложенные неоднородно гранулированным кварцем (по телам замещения)   | Метаморфогенно-метасоматический | Гетеробластовая, мелко-среднезернистая                             | Уфалейский                    |
|                       |                                                                          | Тела, сложенные однородно гранулированным кварцем (по жилам выполнения)    | Метаморфогенно-метасоматический | Гранобластовая, средне-крупнозернистая с ровными границами зерен   | Кыштымский                    |
| Постколлизийный       | Кварцево-жильные образования первично-зернистого кварца                  | Тела, сложенные тонкозернистым (метасоматическим, льдистоподобным кварцем) | Гидротермально-метасоматический | Гранобластовая, тонкозернистая с зубчатыми границами зерен         | Егустинский                   |
|                       |                                                                          | Тела выполнения, сложенные друзовидным кварцем и полосчатым переливом      | Гидротермально-метасоматический | Друзовые агрегаты, мелкозернистый кварцевый агрегат (перелив)      | Шайтанский                    |

таморфической дифференциации. Мощность таких прожилков обычно 2–3 см, редко больше. Такие прослои достаточно выдержаны по мощности на протяжении первых метров, а зоны кварцевых прослоев прослеживаются на расстоянии первых десятков метров.

Жилы метаморфической дифференциации образуются в условиях амфиболитовой фации метаморфизма ( $T = 650\text{--}700^\circ\text{C}$ ) при относительно высоком давлении (5–8 кбар). Эти жилы характеризуются высокой степенью прозрачности кварца (Т%), более 80%, низкими значениями потерь при прокаливании (ППП), менее 1%, но при этом достаточно высокими содержаниями макро, и микропримесей, а также структурных элементов-примесей ( $Al > 30\text{--}50$  г/т), что делает их малоприспособными для использования в промышленности.

*Субформация метасоматических кварцевых тел замещения (метасоматических кварцитов).* На примере Уфалейского гнейсово-амфиболитового блока (Южный Урал), установлено, что активное развитие тектоники на завершающих этапах метаморфизма, заканчивается созданием мощных шов-

ных зон и сопровождается широким развитием метасоматических процессов кислотного выщелачивания, с образованием метасоматических кварцевых тел замещения (кварцитов). Минеральные парагенезисы метасоматитов свидетельствуют о температурах  $450\text{--}550^\circ\text{C}$  и давлении 5–8 кбар, что обусловило относительно низкий уровень структурных примесей (15–35 г/т). Тела метасоматических кварцитов являются хорошей основой для последующего позднеколлизийного образования тел гранулированного кварца уфалейского типа.

*Субформация первично кристаллизованного кварца жил выполнения* объединяет жилы, сложенные молочно-белым, реже стекловидным, замутненным, крупно-гигантозернистым кварцем, сформированным в раннеколлизийный этап (*караяновский тип*) и стекловидные кварцевые жилы, образованные во время поздней коллизии (*пугачевский тип*). Установлено, что жилы, локализованные в породах, метаморфизованных на уровне амфиболитовой и эпидот-амфиболитовой фаций, сложены полупрозрачным, реже стекловидным кварцем, а жилы зон зеленосланцевой фации представ-

лены молочно-белым кварцем. Несмотря на низкий показатель светопропускания ( $T = 30\text{--}45\%$ ), низкие температуры растворов и высокое флюидное давление в зоне влияния ГУГР (6–8 кбар) способствуют формированию жильного кварца с низкими значениями содержания структурного алюминия ( $Al = 14.0\text{--}21.1$  г/т).

Раннеколлизионные кварцево-жильные тела являются основой для последующих позднеколлизионных образований, которые, накладываясь и перерабатывая реликтовые тела в условиях высокого флюидного давления в шовных зонах, формируют кварц, который относится к разряду особо чистого.

**Формация вторично-зернистого кварца** включает жилы *перекристаллизации* по прожилкам и мелким жилам метаморфической дифференциации; кварцевые тела, сложенные *неоднородно гранулированным кварцем* по кварцево-жильным телам замещения; кварцевые жилы, сложенные средне-крупнозернистым *однородно гранулированным кварцем* и кварцевые жилы, сложенные *тонкозернистым (льдиноподобным) кварцем*. Перечисленные типы кварца в практике относят к одной категории – гранулированного кварца. Следует иметь в виду, что гранулированный кварц является вторичным по отношению к первичному кварцу, слагавшему кварцево-жильные тела на первоначальной стадии их образования. Нами выделяются четыре субформации гранулированного кварца.

*Субформация жил перекристаллизации по прожилкам и мелким жилам метаморфической дифференциации (слюдяногорский тип)*. Позднеколлизионные преобразования реликтовых кварцево-жильных тел протекают под действием высокотемпературной перекристаллизации. Перекристаллизация – явление, происходящее при процессах метаморфизма, выражающееся в увеличении размеров зерна (бластез минералов), в том числе и кварца, в преобразовании текстуры и структуры породы без изменения ее химического состава. Перекристаллизации способствует высокое литостатическое и стрессовое давление. Кварц жил перекристаллизации (слюдяногорский тип) характеризуется гетеробластовым, средне-крупнозернистым строением. При высоких температурах и большом давлении (6–10 кбар) в шовных зонах образуется высоко прозрачный кварц ( $T > 80\%$ ) с невысоким содержанием структурной примеси алюминия (не превышает 20 г/т), что делает его пригодными для промышленного освоения. К этому типу относится кварц жилы 170 Кыштымского месторождения.

*Субформация кварцево-жильных образований, сложенных тонко-среднезернистым, неоднородно гранулированным кварцем по кварцево-жильным телам замещения (уфалейский тип)*. Этот тип гранулированного кварца является результатом процессов дислокационного метаморфизма, способствовавшего перекристаллизации с укрупнени-

ем кварцевых зерен до 2–5 мм жильных тел замещения серебровского типа. Типовым представителем тел уфалейского типа является уникальное по размерам и запасам кварцевое тело № 175 Кыштымского месторождения. Кварцево-жильные тела уфалейского типа сложены тонко-среднезернистым (0.5–2 мм) агрегатом зерен кварца гетеробластовой структуры. Наиболее характерной структурной особенностью данной разновидности кварца является неоднородное строение агрегата, сформированное под влиянием двух коллизий, выраженное в наличии нескольких групп гранул: тонко-мелкозернистых грануломорфных участков исходных индивидов метасоматических тел замещения, кварцитов, новообразованных метаморфогенных, средне- крупнозернистых гранул, являющихся результатом процессов перекристаллизации и новообразованных тонко-мелкозернистых гранул, являющихся продуктом наложенного процесса кислотного выщелачивания нового этапа метаморфогенно-метасоматических преобразований. В гранулированном кварце по метасоматическим кварцитам, зерна, чаще всего, имеют неровные зубчатые границы, с большим количеством выступов и углублений. При процессах перекристаллизации появляется уже более прямолинейный, полигональный рисунок границ зерен, типичный для грануломорфного, бластезного кварца.

Грануломорфный кварц этих жил обладает рядом свойств, положительно выделяющих его среди других субформаций гранулированного кварца. К таким свойствам относятся: высокий коэффициент светопропускания, низкие значения потерь при прокаливании, повышенные отношения “влаги–газ”, что связано с незначительным содержанием в нем газово-жидких включений. Наложение на них метасоматических процессов приводит к появлению тонкозернистого особо чистого кварца.

*Субформация кварцевых жил, сложенных средне-крупнозернистым однородно гранулированным кварцем по жилам выполнения (кыштымский тип)*. Кварцево-жильные образования этого типа являются продуктом рекристаллизации первичнозернистого стекловидного и молочно-белого кварца жил выполнения, претерпевших высокотемпературный дислокационный метаморфизм в стадию поздней коллизии. Однородный гранулированный кварц “кыштымского” типа представляет собой равномернозернистый агрегат прозрачных или слабозамутненных, четко индивидуализированных зерен. Гранулы в агрегате различно ориентированы и разделены сложными поверхностями соприкосновения, имеют изометрическую или удлинненную форму с ровными округлыми контурами границ. Широко распространенной разновидностью гранобластовой структуры является мозаичная структура, когда кварцевый агрегат обладает полигональными, часто шестиугольными слабо удлинненными



ми контурами границ. Такая разновидность кварца наиболее широко представлена на Кыштымском месторождении.

Размер гранул кварца в жильных телах зависит от температурного режима метаморфизма, поэтому наиболее крупно-гранулированные структуры кварца фиксируются в зоне влияния ГУТР, где уровень метаморфизма достигал амфиболитовой фации. По мере удаления от него гранулированный кварц обладает среднезернистой, часто фрагментарной, катакластической структурой. Основным процессом, приводящим к образованию кварца “кыштымского” типа является рекристаллизация крупно-гигантозернистого кварца жил выполнения. В результате дислокационного метаморфизма, сопровождаемого высокими термическими воздействиями, происходит разукрупнение первичного зерна. По нашим наблюдениям, если температура рекристаллизации достигала уровня  $\alpha$ - $\beta$  превращений, кварц приобретал все черты, характерные для гранулированного кварца “кыштымского” типа. Кварц характеризуется содержанием структурной примеси алюминия в пределах 10–20 г/т и относится к категории особо чистого кварца.

*Субформация кварцевых жил, сложенных тонкозернистым метасоматическим кварцем (егустинский тип).* Наложение на кварцевые жилы, представленные кварцем уфалейского и кыштымского типов, метасоматических процессов кислотного выщелачивания приводит к их метасоматической перекристаллизации и образованию кварца тонко-мелкозернистой структуры, с извилистыми, зубчатыми границами зерен. Такое преобразование приводит к дополнительному очищению кварцевого агрегата и делает кварц особо чистым с содержанием структурного алюминия менее 10 г/т.

Как показала практика геологоразведочных и эксплуатационных работ, наряду с кварцевыми телами перекристаллизации, замещения, выполнения, чаще встречаются кварцево-жильные образования сложной онтогении, формирование которых проходило не в одну, а в несколько стадий, и в которых документируются процессы перекристаллизации, выполнения и замещения кварца, причем иногда в несколько стадий. Такие кварцевые жилы являются полигенными и полихронными образованиями. К типовым телам сложной онтогении относятся кварцево-жильные тела, сложенные гранулированным кварцем, и рудные кварцевые жилы.

Предложенная классификация кварцево-жильных образований, как представляется, дает возможность проследить динамику развития названных образований, то есть их первичный генезис и сложную трансформацию “первичного” кварца в гранулированный, а также вносит ясность в представления о первичном кварце, на который накладывается рудная минерализация.

## ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КВАРЦА

Кварц – основной минерал кварцево-жильных образований, которые являются объектами добычи рудных и нерудных 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 по разным направлениям имеет большой практический интерес.

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 (около 80% от всей суммы примесей).

Концентрация структурно связанного алюминия в кварце снижается с падением температуры и повышением давления в минералообразующей системе (рис. 1), что определяется относительным удалением кварцево-жильного поля от кровли гранитных массивов, поверхности высокометаморфизованного гнейсового блока или шовных зон региональных разломов [11]. Ряд авторов отмечают прямую корреляцию между количеством сульфидов и золота с содержанием алюминия в кварце [1, 12].

Минеральными параметрами, характеризующими качество природного кварцевого сырья, являются его химическая чистота, минеральный состав и прозрачность кварца – светопропускание (Т%). Общепринятыми методами для определения химического состава кварца являются химико-спектральный и пламенно-фотометрический анализы, которые характеризуют валовое содержание в кварце наиболее распространенных микропримесей: алюминия, железа, титана, кальция, магния, натрия, калия, лития, германия, меди, хрома, свинца, никеля и др.

Проведенный анализ химического состава элементов-примесей, светопропускания (Т%) жильного кварца и кристаллов горного хрусталя Уральских месторождений (рис. 2) показал, что процессы хрусталеобразования усиливают прозрачность кварца, в то же время, в них увеличивается количество структурных примесей лития и германия, а также незначительно увеличивается количество меди, свинца, хрома, никеля.

Количество алюминия несколько снижается по сравнению с жильным кварцем, что свидетельствует

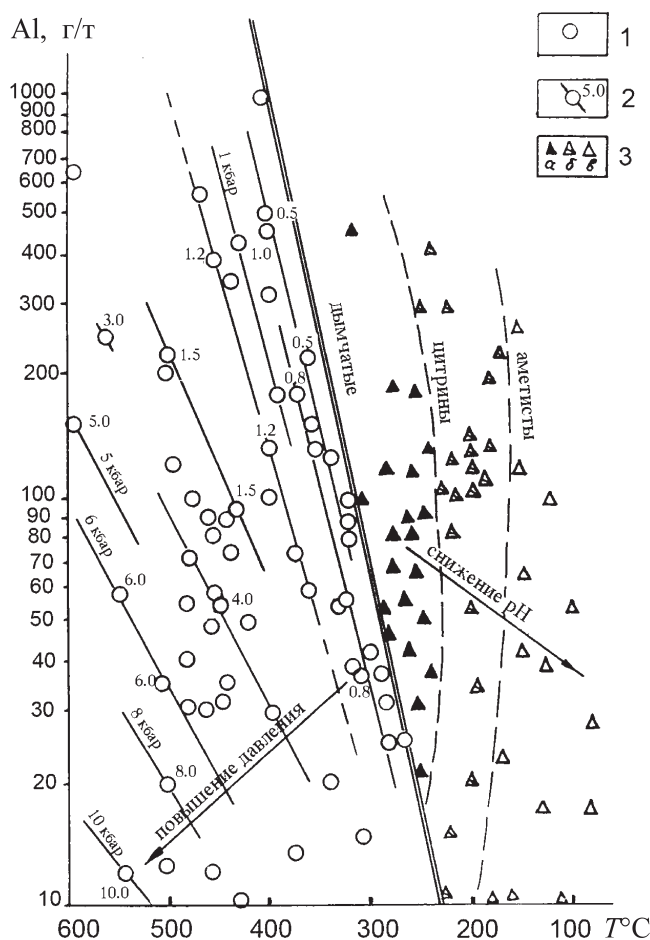


Рис. 1. Зависимость структурной примеси алюминия от  $P$ - $T$ - $pH$  параметров образования жильного кварца и кристаллов горного хрусталя [3].

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).

ет о более низких температурах при хрусталеобразовании. Другие элементы-примеси, связанные с минеральными и газовой-жидкими включениями, испытывают устойчивую тенденцию к снижению при перекристаллизации и новообразовании кварцевых жил, а процессы их грануляции приводят к значительному снижению примесей в кварце. Так, было установлено, что наиболее чистым относительно структурных примесей является стекловидный и гранулированный кварц высокобарических зон Новотроицкого, Уфалейского и Пугачевского типов, используемых для получения особо чистого прозрачного стекла [5, 10].

Жильный кварц шеелитоносных, золоторудных месторождений (Айдырлинского, Кумакского, Кочкарского, Великопетровского) в основе своей является “безрудным”, на который накладывается сульфидная, золоторудная и шеелитовая минерализация, и по содержанию алюминия может использо-

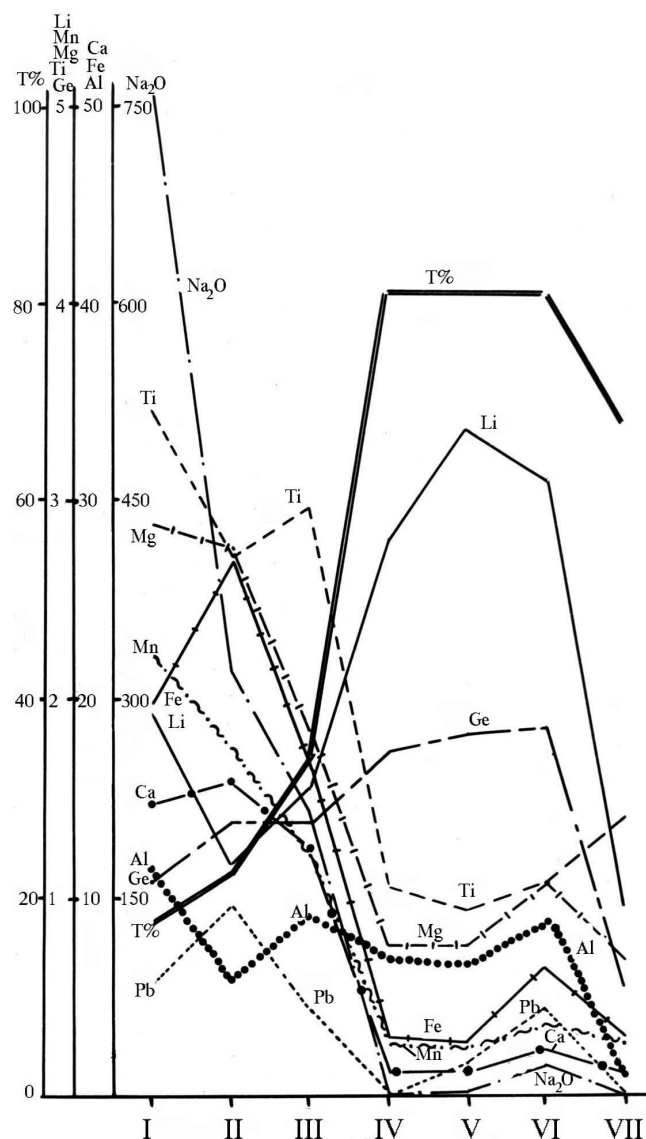
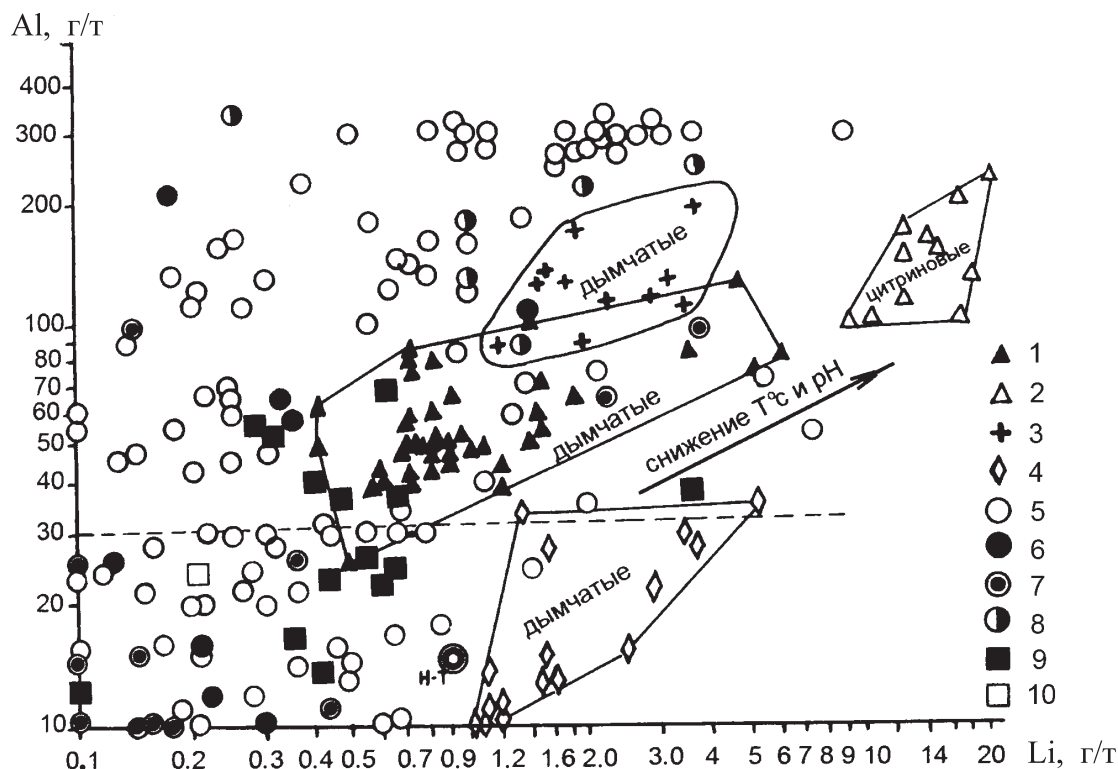


Рис. 2. Сопоставление средних содержаний элементов-примесей и величины показателя светопропускания ( $T\%$ ) в жильном кварце и горном хрустале различных месторождений Урала [3].

I – молочно-белый жильный кварц без признаков хрусталеобразования; II – кварц хрусталеносных полостей и кварц-карбонатные жилы; III – хрусталеносные кварцевые жилы; IV-VI – кристаллы горного хрусталя: первого сорта (IV), второго сорта (V), третьего сорта (VI); VII – особо чистый кварц Новотроицкого месторождения.

ваться для производства прозрачного рядового технического стекла и в качестве шихты для выращивания искусственных кристаллов кварца (рис. 3).

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 предшествую-



**Рис. 3.** Соотношение содержаний алюминия (г/т) и лития (г/т) в кварце золоторудных, шеелитоносных и хрусталенозных кварцево-жильных месторождений [3].

1–4 – кристаллы хрусталенозных месторождений: Приполярного Урала (1, 2), дымчатые (1), цитриновые (2); Южного Урала – дымчатые (3, 4), Астафьевского (3), Светлинского (4); 5–8 – жильный кварц различных месторождений: Айдырлинского золоторудного (5), Березовского и Великопетровского золоторудных, шеелитоносных (6), Кумакского золоторудного (7), Кочкарского золоторудного (8); 9 – гранулированный кварц Кыштымского месторождения; 10 – стекловидный кварц Пугачевского месторождения; Н-Т – особо чистый кварц Новотроицкого месторождения.

шего метаморфизма жильмещающих 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 [4, 11].

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” [12]. В практике геологоразведочных и добычных работ устойчиво закрепились термины “рудный” и “безрудный” кварц, подразумевая, что “рудный” кварц является “грязным” и не пригоден для стекловарения. Наши исследования [4–9] показали, что кварц золоторудных, редкометальных месторождений в основе является “безрудным”, с наложенной рудной минерализаци-

ей, которая удаляется методами обогащения. Сам же кварц в большинстве своем пригоден для стекловарения ( $Al < 30$  г/т), что видно из рис. 2, 3.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ФАКТОРНОГО АНАЛИЗА ЖИЛЬНОГО КВАРЦА

Для изучения химической специализации жильного кварца кварцевых тел различных онтогенетических типов были отобраны образцы кварца, визуально не содержащие включений других минералов. Эти кварцы были исследованы на содержание 50 химических элементов. HR/IMS анализ проб выполнен в ИГГ УрО РАН на масс-спектрометре Element 2. Был исследован кварц Светлинского, Теренсайского, Уфалейского, Вязовского, Ларинского, Березовского, Гумбейского, Великопетровского, Айдырлинского и некоторых других кварцево-жильных и рудных полей. На основе полученной базы данных был проведен факторный анализ по программе STATISTICA-7.

Ниже приводится интерпретация результатов факторного анализа, как она видится авторам. Жильный кварц кварцевых жил по сравнению с вмещающими породами имеет повышенную чистоту

ту, но состав микро- и изоморфных примесей и состав газовой-жидких включений (ГЖВ) в жильном кварце отражают состав гидротермальной системы, существовавший при формировании кварцево-жильных тел при определенном влиянии на них вмещающих горных пород. Так, фактор-1:

15.95  $\underline{Be, Sr, Y, Zr, Nb, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, Th}$

—  
характеризует обстановку **AR-PR времени, внедрения** субщелочных гранитоидов и образования анортоклазовых редкоземельных пегматитов (иттровой специализации) с иттроэпидотом и метасоматических кварцитов во вмещающих гнейсах.

Фактор-2: 7.62  $\underline{Ti, V, La, Ce, Pr, Nd, Sm}$

—  
характеризует рифтогенную обстановку рифейского времени, внедрения в рифтогенных шовных зонах нефелиновых сиенитов и карбонатитов, с формированием пегматитов и альбититов с редкоземельной минерализацией. Редкоземельные минералы рассматриваемых пегматитов в большинстве своем характеризуются резким преобладанием редких земель цериевой группы над иттриевыми землями. Эти преобразования отражаются на составе ГЖВ в метасоматических кварцитах.

Фактор-3: 4.35  $\underline{Mn, Zn, Tl, (Li, Be, Co, Ni, Sn, U)}$

—  
характеризует обстановку ранней коллизии палеозоя, с внедрением гранитоидов тоналит-гранодиоритовой формации и образованием редкометаллических (Li-Be) пегматитов и шеелит-золото-кварцевых и безрудных кварцевых жил выполнения.

Фактор-4: 3.72  $\underline{Cu, Ag, Sb, (Te, Bi)}$

Положительные значения этого фактора характеризуют безрудные кварцевые жилы, а отрицательные значения указывают на шеелитовые и золоторудные кварцевые жилы.

Фактор 5: 4.03  $\underline{Ge, Rb, Cs, Ba(Eu)}$

—  
характеризует обстановку поздней коллизии верхнего палеозоя с внедрением нормальных микроклиновых гранитов с образованием хрусталеносных и керамических пегматитов, безрудных кварцевых жил выполнения и гранулированных кварцево-жильных тел.

Геологические наблюдения над конкретными кварцево-жильными телами в метаморфических комплексах Урала и проведенный факторный анализ показывает, что образование различных кварцевых жил происходит в породах ранее претерпевших различные метаморфогенно-магматогенные воздействия, имеющих полигенный и полихронный характер. Телескопирование, наложение магматогенно-гидротермальных флюидов, в том или ином виде сохраняется в газовой-жидких включениях в кварце и позволяет делать определенные генетические выводы.

## ХАРАКТЕРИСТИКА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЗЭ В ЭНДОГЕННЫХ КВАРЦЕВО-ЖИЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЯХ

При анализе поведения редких, рассеянных, редкоземельных, благородных и радиоактивных элементов в кварцево-жильных телах различных формаций и субформаций установлено, что наиболее информативными являются редкоземельные элементы (РЗЭ). Они имеют наиболее широкий интервал изменений, что наглядно видно на примере кварца Уфалейского метаморфического комплекса, а поэтому далее будем анализировать только характер поведения РЗЭ.

Ниже характеризуется распределение РЗЭ, (табл. 2) в эндогенных кварцево-жильных образованиях, характеристика которых дана в табл. 3.

На сводной спайдер-диаграмме распределения РЗЭ в кварцево-жильных образованиях месторождений кварцево-жильной и хрусталеносной минерализаций и в рудных кварцевых жилах золотой и вольфрамовой специализаций выделяются четыре поля (рис. 5).

Поле молочно-белого кварца оконтурено по крайним пробам Р-3/3 и Свл-51/4, соответствует типичному для жил выполнения кварцу крупно-гигантозернистой структуры, генетически связанных с массивами раннеколлизийных гранитоидов тоналит-гранодиоритовой формации.

Поле стекловидного кварца оконтуренное по крайним пробам Хр-1 и КУ-21/7, отвечает стекловидному кварцу бесцветной, иногда дымчатой окраски, крупно-, гигантозернистой структуры, характерному для жил выполнения, генетически связанных с массивами позднеколлизийных гранитоидов гранитной формации.

Следующее поле оконтурено по крайним пробам С4/2 и С1/1, по содержанию РЗЭ характеризует кристаллы кварца из наложенных хрустальных гнезд и пегматитов Светлинского хрусталеносного месторождения.

Поле № 1 (рис. 4) совпадает с полями молочно-белого и стекловидного кварца. Это поле гранулированного кварца (оконтурено по крайним пробам 175-уф и У-32/1), который является продуктом преобразования жил первично-зернистого кварца под действием высокотемпературного и высокобарического метаморфизма. Поле гранулированного кварца практически не затрагивает площадь кристаллов кварца и чистейшего стекловидного кварца.

Прослеживается четко выраженная закономерность в поведении РЗЭ в разных типах кварца. В целом, содержание РЗЭ в жильном кварце и кристаллах очень низкое. Количество РЗЭ понижается с увеличением прозрачности кварца или, точнее, с уменьшением содержания в кварце газовой-жидких включений. В гранулированном кварце концентрация РЗЭ находится на уровне



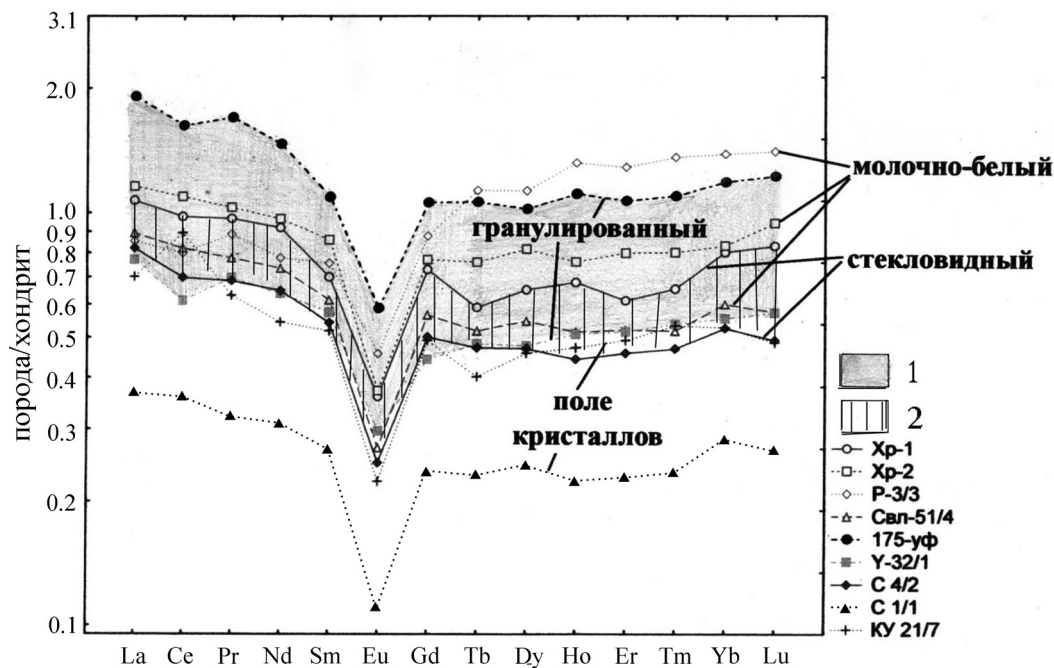


Рис. 4. Хондрит-нормированное распределение РЗЭ в кварцево-жильных телах различных формаций.

1 – поле гранулированного кварца, 2 – поле стекловидного кварца.

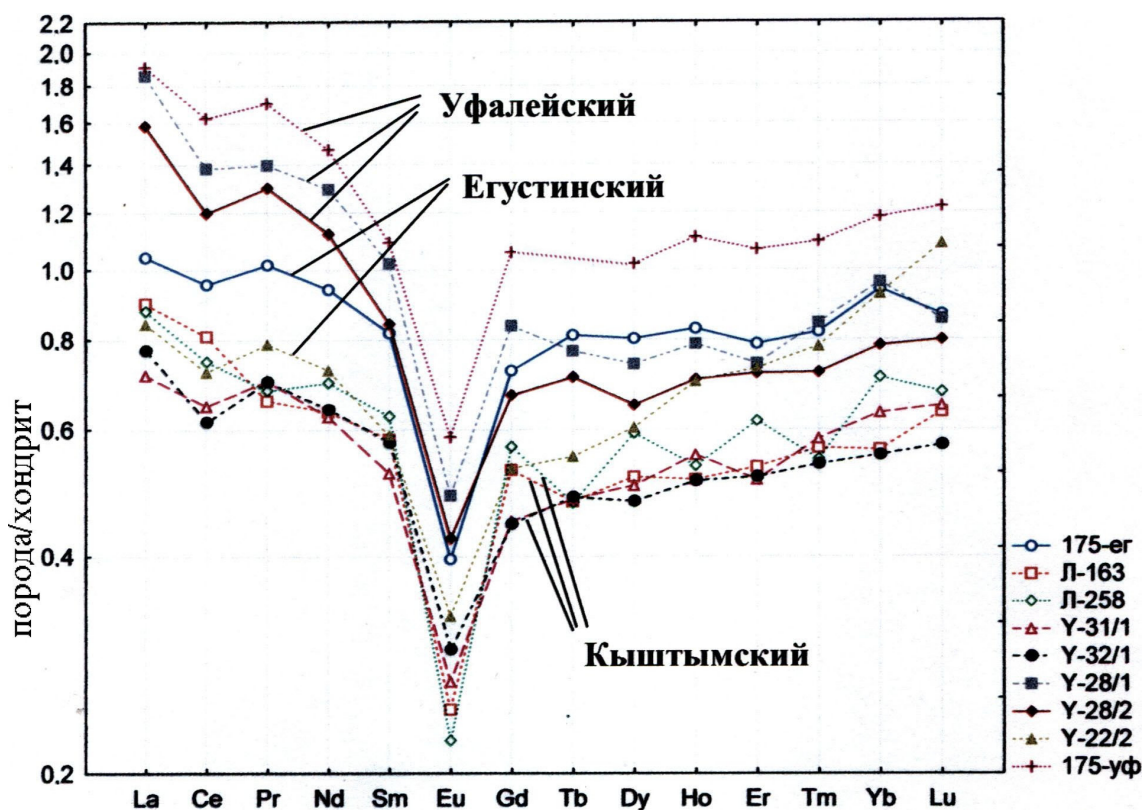


Рис. 5. Хондрит-нормированное распределение РЗЭ в кварцево-жильных объектах гранулированного кварца Уфалейского рудного поля. Описание образцов – см. табл. 3.

не их содержания в молочно-белом и стекловидном кварце.

На рис. 5 представлена спайдер-диаграмма распределения РЗЭ в гранулированном кварце, на ко-



Таблица 2. Содержание редкоземельных элементов в кварцево-жильных образованиях Урала

| Образец     | La    | Ce     | Pr    | Nd    | Sm    | Eu    | Gd    | Tb     | Dy    | Ho    | Er    | Tm    | Yb    | Lu    |
|-------------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Хр-1        | 0.262 | 0.626  | 0.093 | 0.436 | 0.107 | 0.020 | 0.148 | 0.022  | 0.165 | 0.038 | 0.101 | 0.016 | 0.132 | 0.021 |
| Хр-2        | 0.284 | 0.700  | 0.099 | 0.459 | 0.132 | 0.021 | 0.157 | 0.028  | 0.207 | 0.043 | 0.132 | 0.020 | 0.137 | 0.023 |
| Б-1         | 0.261 | 0.641  | 0.091 | 0.414 | 0.116 | 0.019 | 0.147 | 0.024  | 0.173 | 0.036 | 0.103 | 0.018 | 0.140 | 0.018 |
| ГО-1/1      | 0.276 | 0.671  | 0.085 | 0.428 | 0.116 | 0.018 | 0.135 | 0.025  | 0.175 | 0.037 | 0.119 | 0.020 | 0.132 | 0.021 |
| ГО-1/2      | 0.244 | 0.567  | 0.081 | 0.365 | 0.121 | 0.018 | 0.127 | 0.024  | 0.154 | 0.034 | 0.110 | 0.018 | 0.120 | 0.017 |
| ГО-1/1А     | 0.248 | 0.789  | 0.084 | 0.405 | 0.111 | 0.015 | 0.136 | 0.025  | 0.169 | 0.037 | 0.121 | 0.019 | 0.133 | 0.019 |
| АС-46       | 0.264 | 0.641  | 0.099 | 0.417 | 0.107 | 0.020 | 0.141 | 0.02   | 0.163 | 0.036 | 0.120 | 0.018 | 0.128 | 0.020 |
| СР-1        | 0.24  | 0.565  | 0.081 | 0.365 | 0.113 | 0.019 | 0.139 | 0.024  | 0.161 | 0.035 | 0.112 | 0.018 | 0.137 | 0.020 |
| НОВ-1       | 0.272 | 0.615  | 0.086 | 0.383 | 0.116 | 0.017 | 0.140 | 0.024  | 0.169 | 0.037 | 0.117 | 0.019 | 0.135 | 0.018 |
| НУР-2/2     | 0.221 | 0.522  | 0.074 | 0.362 | 0.097 | 0.013 | 0.117 | 0.018  | 0.145 | 0.030 | 0.108 | 0.013 | 0.105 | 0.018 |
| КТ-6        | 0.257 | 0.600  | 0.085 | 0.427 | 0.122 | 0.020 | 0.140 | 0.025  | 0.175 | 0.038 | 0.124 | 0.018 | 0.133 | 0.020 |
| Р-3/3       | 0.209 | 0.510  | 0.085 | 0.369 | 0.116 | 0.023 | 0.179 | 0.042  | 0.287 | 0.074 | 0.213 | 0.034 | 0.228 | 0.035 |
| КУ-2/4      | 0.235 | 0.559  | 0.093 | 0.431 | 0.124 | 0.026 | 0.149 | 0.030  | 0.221 | 0.050 | 0.154 | 0.025 | 0.169 | 0.027 |
| Свл-51/4    | 0.219 | 0.524  | 0.075 | 0.348 | 0.094 | 0.015 | 0.115 | 0.019  | 0.138 | 0.029 | 0.086 | 0.013 | 0.098 | 0.014 |
| Свл-51/7    | 0.231 | 0.574  | 0.080 | 0.376 | 0.105 | 0.017 | 0.123 | 0.021  | 0.151 | 0.031 | 0.095 | 0.015 | 0.112 | 0.016 |
| Вз-4        | 0.441 | 1.007  | 0.115 | 0.476 | 0.111 | 0.019 | 0.108 | 0.013  | 0.096 | 0.019 | 0.056 | 0.008 | 0.058 | 0.009 |
| Л-163       | 0.219 | 0.512  | 0.063 | 0.301 | 0.089 | 0.014 | 0.107 | 0.017  | 0.131 | 0.028 | 0.088 | 0.014 | 0.092 | 0.016 |
| Л-258       | 0.214 | 0.476  | 0.065 | 0.33  | 0.096 | 0.012 | 0.116 | 0.017  | 0.150 | 0.030 | 0.102 | 0.013 | 0.116 | 0.017 |
| У-31/1      | 0.174 | 0.413  | 0.067 | 0.296 | 0.080 | 0.015 | 0.091 | 0.017  | 0.127 | 0.031 | 0.084 | 0.014 | 0.104 | 0.016 |
| У-32/1      | 0.189 | 0.391  | 0.067 | 0.302 | 0.088 | 0.017 | 0.090 | 0.018  | 0.120 | 0.028 | 0.085 | 0.013 | 0.091 | 0.014 |
| У-28/1      | 0.454 | 0.882  | 0.134 | 0.612 | 0.157 | 0.028 | 0.170 | 0.028  | 0.187 | 0.044 | 0.122 | 0.021 | 0.158 | 0.021 |
| У-28/2      | 0.387 | 0.763  | 0.128 | 0.530 | 0.129 | 0.024 | 0.136 | 0.026  | 0.164 | 0.039 | 0.119 | 0.018 | 0.129 | 0.020 |
| У-22/2      | 0.206 | 0.460  | 0.076 | 0.344 | 0.090 | 0.019 | 0.108 | 0.020  | 0.153 | 0.039 | 0.121 | 0.020 | 0.152 | 0.027 |
| 175-уф      | 0.468 | 1.036  | 0.164 | 0.695 | 0.168 | 0.034 | 0.216 | 0.164  | 0.259 | 0.062 | 0.177 | 0.028 | 0.195 | 0.031 |
| 175-ег      | 0.255 | 0.609  | 0.098 | 0.445 | 0.126 | 0.023 | 0.148 | 0.030  | 0.204 | 0.047 | 0.131 | 0.021 | 0.155 | 0.022 |
| А-828       | 1.653 | 3.817  | 0.523 | 2.419 | 0.826 | 0.546 | 1.07  | 0.177  | 1.173 | 0.252 | 0.799 | 0.139 | 1.027 | 0.150 |
| В-9         | 0.237 | 0.583  | 0.083 | 0.403 | 0.094 | 0.018 | 0.126 | 0.022  | 0.146 | 0.033 | 0.102 | 0.015 | 0.111 | 0.017 |
| В-10        | 1.413 | 1.009  | 0.430 | 1.999 | 0.555 | 0.108 | 0.572 | 0.079  | 0.498 | 0.097 | 0.274 | 0.041 | 0.279 | 0.038 |
| В-11        | 0.349 | 0.805  | 0.107 | 0.523 | 0.129 | 0.025 | 0.168 | 0.027  | 0.197 | 0.040 | 0.115 | 0.020 | 0.131 | 0.020 |
| В-12        | 2.861 | 2.282  | 0.89  | 3.923 | 0.934 | 0.174 | 0.909 | 0.130  | 0.787 | 0.159 | 0.454 | 0.068 | 0.439 | 0.060 |
| В-13        | 0.511 | 1.059  | 0.160 | 0.703 | 0.205 | 0.031 | 0.214 | 0.036  | 0.254 | 0.060 | 0.166 | 0.027 | 0.348 | 0.031 |
| КЖ-5        | 0.392 | 0.875  | 0.121 | 0.523 | 0.146 | 0.021 | 0.170 | 0.030  | 0.206 | 0.045 | 0.136 | 0.023 | 0.147 | 0.020 |
| Бл-В        | 0.201 | 0.485  | 0.072 | 0.302 | 0.097 | 0.015 | 0.111 | 0.019  | 0.126 | 0.030 | 0.087 | 0.014 | 0.096 | 0.015 |
| Коч-А       | 0.240 | 0.581  | 0.086 | 0.395 | 0.106 | 0.023 | 0.127 | 0.023  | 0.150 | 0.034 | 0.104 | 0.016 | 0.115 | 0.018 |
| БЕР-П       | 1.014 | 1.745  | 0.186 | 0.708 | 0.114 | 0.018 | 0.118 | 0.019  | 0.144 | 0.029 | 0.100 | 0.015 | 0.095 | 0.018 |
| АС-46       | 0.264 | 0.641  | 0.099 | 0.417 | 0.107 | 0.020 | 0.141 | 0.022  | 0.163 | 0.036 | 0.120 | 0.018 | 0.128 | 0.020 |
| КС-4        | 0.289 | 0.601  | 0.082 | 0.378 | 0.092 | 0.015 | 0.115 | 0.020  | 0.145 | 0.031 | 0.099 | 0.015 | 0.095 | 0.018 |
| КС-3        | 0.203 | 0.476  | 0.06  | 0.337 | 0.085 | 0.015 | 0.102 | 0.017  | 0.128 | 0.028 | 0.085 | 0.014 | 0.095 | 0.014 |
| свл 52 11 2 | 3.012 | 6.401  | 0.852 | 3.621 | 0.858 | 0.169 | 0.873 | 0.127  | 0.713 | 0.165 | 0.512 | 0.082 | 0.608 | 0.110 |
| свл 52 16 1 | 2.857 | 5.583  | 0.710 | 3.016 | 0.703 | 0.224 | 0.875 | 0.116  | 0.701 | 0.152 | 0.451 | 0.073 | 0.534 | 0.093 |
| свл 52 16 2 | 0.191 | 0.451  | 0.066 | 0.316 | 0.099 | 0.025 | 0.106 | 0.020  | 0.160 | 0.038 | 0.115 | 0.018 | 0.124 | 0.019 |
| свл 52 16 3 | 0.336 | 0.724  | 0.099 | 0.426 | 0.131 | 0.040 | 0.170 | 0.037  | 0.299 | 0.079 | 0.245 | 0.041 | 0.262 | 0.039 |
| Е-3         | 0.266 | 0.489  | 0.061 | 0.258 | 0.061 | 0.011 | 0.070 | 0.011  | 0.078 | 0.015 | 0.046 | 0.006 | 0.050 | 0.006 |
| КС-12/1     | 24.99 | 149.03 | 32.66 | 195.4 | 82.99 | 33.71 | 126.4 | 23.09  | 146.5 | 25.92 | 58.81 | 6.208 | 25.86 | 2.246 |
| ГУМ-25      | 67.11 | 189.13 | 24.27 | 97.76 | 22.40 | 12.60 | 18.52 | 2.782  | 16.44 | 2.740 | 6.546 | 0.815 | 4.132 | 0.433 |
| ГУМ         | 75.55 | 337.81 | 56.34 | 256.6 | 61.00 | 30.32 | 51.29 | 7.917  | 50.42 | 9.462 | 25.72 | 3.421 | 17.55 | 1.673 |
| Бер-1       | 14.51 | 95.67  | 27.91 | 231.3 | 161.1 | 96.26 | 227.3 | 31.50  | 157.5 | 21.81 | 40.80 | 3.596 | 13.33 | 1.054 |
| Бер-2       | 3.703 | 20.72  | 5.797 | 48.13 | 31.56 | 18.45 | 46.48 | 6.801  | 35.03 | 5.060 | 9.410 | 0.812 | 3.082 | 0.237 |
| ГУМ-25К     | 0.198 | 0.514  | 0.068 | 0.325 | 0.089 | 0.018 | 0.112 | 0.019  | 0.127 | 0.028 | 0.079 | 0.013 | 0.088 | 0.013 |
| Бер-1к      | 0.398 | 0.877  | 0.112 | 0.528 | 0.161 | 0.044 | 0.207 | 0.033  | 0.213 | 0.040 | 0.114 | 0.019 | 0.122 | 0.019 |
| КС-13к      | 0.530 | 2.079  | 0.412 | 2.405 | 0.927 | 0.331 | 1.337 | 0.241  | 1.553 | 0.272 | 0.656 | 0.075 | 0.342 | 0.037 |
| Бер-2к      | 0.237 | 0.605  | 0.095 | 0.444 | 0.132 | 0.029 | 0.183 | 0.027  | 0.181 | 0.040 | 0.111 | 0.017 | 0.127 | 0.021 |
| Хр-1        | 0.262 | 0.626  | 0.093 | 0.436 | 0.107 | 0.020 | 0.148 | 0.022  | 0.165 | 0.038 | 0.101 | 0.016 | 0.132 | 0.021 |
| СР-1        | 0.240 | 0.565  | 0.081 | 0.365 | 0.113 | 0.019 | 0.139 | 0.0248 | 0.161 | 0.035 | 0.112 | 0.018 | 0.137 | 0.020 |
| НОВ-1       | 0.272 | 0.615  | 0.086 | 0.383 | 0.116 | 0.017 | 0.140 | 0.024  | 0.169 | 0.037 | 0.117 | 0.019 | 0.135 | 0.018 |
| КУ 21/7     | 0.171 | 0.571  | 0.060 | 0.258 | 0.079 | 0.012 | 0.100 | 0.015  | 0.116 | 0.026 | 0.081 | 0.013 | 0.086 | 0.012 |
| КЕИ-16      | 0.262 | 0.629  | 0.083 | 0.379 | 0.119 | 0.019 | 0.128 | 0.023  | 0.159 | 0.035 | 0.102 | 0.016 | 0.135 | 0.017 |
| У-4/2       | 0.205 | 0.979  | 0.081 | 0.377 | 0.084 | 0.016 | 0.105 | 0.020  | 0.131 | 0.030 | 0.097 | 0.014 | 0.105 | 0.017 |
| У-4/1       | 0.168 | 0.425  | 0.066 | 0.303 | 0.087 | 0.015 | 0.098 | 0.019  | 0.134 | 0.032 | 0.094 | 0.014 | 0.104 | 0.017 |

Таблица 2. Окончание

| Образец   | La    | Ce     | Pr    | Nd    | Sm    | Eu    | Gd    | Tb    | Dy    | Ho    | Er    | Tm    | Yb     | Lu    |
|-----------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| С 3/1     | 0.104 | 0.260  | 0.036 | 0.169 | 0.046 | 0.007 | 0.055 | 0.009 | 0.071 | 0.014 | 0.044 | 0.006 | 0.051  | 0.007 |
| С 3/3     | 0.195 | 0.524  | 0.068 | 0.322 | 0.091 | 0.014 | 0.108 | 0.019 | 0.140 | 0.027 | 0.085 | 0.013 | 0.101  | 0.015 |
| КС-3      | 0.203 | 0.476  | 0.067 | 0.337 | 0.085 | 0.015 | 0.102 | 0.017 | 0.128 | 0.028 | 0.085 | 0.014 | 0.095  | 0.014 |
| КС-2      | 0.201 | 0.494  | 0.068 | 0.321 | 0.088 | 0.015 | 0.108 | 0.019 | 0.127 | 0.027 | 0.096 | 0.013 | 0.094  | 0.013 |
| КС-13     | 0.530 | 2.079  | 0.412 | 2.405 | 0.927 | 0.331 | 1.337 | 0.241 | 1.553 | 0.272 | 0.656 | 0.075 | 0.342  | 0.037 |
| КС-5      | 11.32 | 24.39  | 2.535 | 9.315 | 1.784 | 0.346 | 1.227 | 0.150 | 0.807 | 0.137 | 0.411 | 0.064 | 0.446  | 0.074 |
| КС-6      | 1.212 | 2.718  | 0.303 | 1.300 | 0.317 | 0.052 | 0.307 | 0.040 | 0.234 | 0.043 | 0.146 | 0.021 | 0.148  | 0.022 |
| КС-4      | 0.289 | 0.601  | 0.082 | 0.378 | 0.092 | 0.015 | 0.115 | 0.020 | 0.145 | 0.031 | 0.099 | 0.015 | 0.095  | 0.018 |
| С 3/2     | 0.164 | 0.379  | 0.048 | 0.221 | 0.060 | 0.009 | 0.074 | 0.012 | 0.091 | 0.018 | 0.055 | 0.008 | 0.0649 | 0.009 |
| С 4/2     | 0.201 | 0.446  | 0.066 | 0.307 | 0.083 | 0.014 | 0.102 | 0.017 | 0.119 | 0.025 | 0.075 | 0.011 | 0.086  | 0.012 |
| С 1/1     | 0.090 | 0.230  | 0.031 | 0.148 | 0.041 | 0.006 | 0.048 | 0.008 | 0.062 | 0.012 | 0.038 | 0.006 | 0.046  | 0.006 |
| С 1/3     | 0.170 | 0.432  | 0.059 | 0.279 | 0.07  | 0.013 | 0.095 | 0.016 | 0.115 | 0.024 | 0.072 | 0.012 | 0.086  | 0.013 |
| С 4/1     | 0.108 | 0.269  | 0.036 | 0.175 | 0.049 | 0.007 | 0.060 | 0.009 | 0.072 | 0.015 | 0.046 | 0.006 | 0.051  | 0.007 |
| У-12/4    | 32.14 | 60.63  | 7.100 | 25.67 | 4.554 | 0.791 | 4.200 | 0.641 | 4.058 | 0.975 | 2.747 | 0.408 | 2.466  | 0.332 |
| У-14/4    | 3.198 | 10.476 | 0.925 | 3.570 | 0.728 | 0.168 | 0.745 | 0.116 | 0.742 | 0.173 | 0.493 | 0.074 | 0.529  | 0.083 |
| У-13/1    | 11.54 | 26.44  | 3.325 | 13.75 | 3.716 | 0.786 | 4.263 | 0.857 | 6.037 | 1.458 | 4.349 | 0.707 | 4.565  | 0.664 |
| У-33/1    | 8.244 | 27.51  | 2.454 | 9.173 | 1.854 | 0.369 | 1.684 | 0.215 | 1.055 | 0.199 | 0.482 | 0.065 | 0.416  | 0.059 |
| У-33/2    | 5.39  | 12.03  | 1.640 | 6.397 | 1.223 | 0.232 | 1.185 | 0.183 | 1.143 | 0.267 | 0.762 | 0.122 | 0.825  | 0.133 |
| и 48 28   | 15.17 | 30.36  | 3.461 | 12.42 | 2.250 | 1.674 | 2.361 | 0.324 | 1.726 | 0.363 | 1.054 | 0.14  | 0.931  | 0.136 |
| свл 52 36 | 0.449 | 0.906  | 0.118 | 0.542 | 0.194 | 0.077 | 0.325 | 0.086 | 0.922 | 0.257 | 0.792 | 0.123 | 0.761  | 0.119 |
| КТ-11/7   | 13.01 | 33.31  | 4.775 | 23.19 | 4.288 | 0.740 | 1.973 | 0.122 | 0.346 | 0.028 | 0.047 | 0.005 | 0.039  | 0.004 |
| КТ-11/4   | 8.902 | 19.61  | 3.009 | 14.86 | 4.532 | 1.249 | 2.516 | 0.157 | 0.516 | 0.086 | 0.265 | 0.036 | 0.294  | 0.040 |
| у 48 8    | 0.403 | 0.373  | 0.324 | 1.777 | 1.735 | 0.732 | 1.607 | 0.154 | 1.018 | 0.274 | 0.944 | 0.215 | 1.940  | 0.366 |
| у 34 2    | 0.683 | 1.467  | 0.232 | 1.018 | 0.294 | 0.115 | 0.355 | 0.060 | 0.445 | 0.095 | 0.263 | 0.036 | 0.223  | 0.031 |
| КС-5      | 11.32 | 24.39  | 2.535 | 9.315 | 1.78  | 0.346 | 1.221 | 0.150 | 0.807 | 0.137 | 0.411 | 0.064 | 0.446  | 0.074 |
| У-44/1    | 7.95  | 15.89  | 1.99  | 7.445 | 1.45  | 0.388 | 1.317 | 0.175 | 0.867 | 0.169 | 0.428 | 0.063 | 0.456  | 0.068 |
| У-37/3а   | 1.32  | 4.507  | 0.529 | 2.251 | 0.534 | 0.129 | 0.582 | 0.097 | 0.652 | 0.146 | 0.397 | 0.067 | 0.468  | 0.073 |

торой прослеживается три поля. Верхнее поле характеризует поведение РЗЭ в кварце уфалейского типа (пробы 175-уф, У-28/1, У-28/2), среднее – в кварце егустинского типа (пробы 175-ег, У-22/2), а нижнее – в кварце кыштымского типа (пробы Л-258, У-31/1, У-32/1, Л-163).

Повышенное содержание РЗЭ отмечено в кварце уфалейского типа, что вполне естественно, поскольку этот тип гранулированного кварца является результатом процесса перекристаллизации с укрупнением зерна первичного мелко-среднезернистого кварца жил мелкозернистого кварца метасоматических кварцитов, которые изначально имели более высокие содержания РЗЭ.

Гранулированный кварц кыштымского типа, который образовался в результате рекристаллизации изначально относительно чистого крупно-гигантозернистого жильного кварца раннеколлизонных жил выполнения с последующей перекристаллизацией и образованием зерен полигональной формы по содержанию РЗЭ сопоставим с кварцем жил выполнения с направленностью в сторону уменьшения содержания РЗЭ.

Характер кривых распределения РЗЭ в метасоматическом кварце егустинского типа (175-ег), образовавшемся по кварцу уфалейского типа (175-уф), полностью аналогичен кривым распределения элементов в гранулированном кварце уфалейского типа, но со значительно понижен-

ным их содержанием. Такой характер распределения РЗЭ явно свидетельствует о том, что при развитии кварца егустинского типа происходит очищение кварца уфалейского типа от РЗЭ. В то же время, кварц егустинского типа (175-ег), сформировавшийся по жилам уфалейского типа, является менее чистым по РЗЭ по сравнению с его разновидностью, развившейся по жилам с кварцем кыштымского типа (У-22/2).

Остановимся более детально на характеристике поля “безрудного” молочно-белого кварца (рис. 4). Для исследования был отобран кварц из жил месторождений кварцево-жильной минерализации (Гора Хрустальная, Светлореченское, Жила Белая, Астафьевское, Светлинское, Новотроицкое, Теренсайское, Гогинское). На рис. 6 представлена спайдер-диаграмма распределения РЗЭ в кварце вышеуказанных месторождений, из которой наглядно видно, что содержание РЗЭ в этих кварцах находится в очень узких пределах, а РЗЭ имеют однотипное поведение.

Из диаграммы следует, что кварц жил Радиомайского (обр. Р-3/3) и Кидышского (обр. Ки 2/4) кварцево-жильных проявлений, а также месторождения “Гора Хрустальная” (обр. Хр-1) имеет относительно повышенное содержание элементов иттриевой группы, что обусловлено расположением этих проявлений в экзоконтакте массивов гранитов (соответственно, Санарского и Верхисетского). Дру-

Таблица 3. Описание образцов, результаты анализа которых отражены на спайдер-диаграммах

| № пробы                                                | Место отбора пробы             | Описание образца                                                   |
|--------------------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| <i>месторождения Среднего Урала</i>                    |                                |                                                                    |
| Хр-1                                                   | месторождение Гора Хрустальная | полупрозрачный, молочно-белый, г/з кварц, разлистованный           |
| Хр-2                                                   | месторождение Гора Хрустальная | полупрозрачный, молочно-белый, г/з кварц, массивный                |
| Ср-1                                                   | месторождение Светлая речка    | слабодымчатый, г/з, полупрозрачный, катаклазированный кварц        |
| Бл-В                                                   | Благodatское месторождение     | молочно-белый, ср/з–кр/з кварц с вольфрамитом                      |
| Бер-1К                                                 | Березовское месторождение      | светло-серый, ср/з, кварц                                          |
| Бер-2К                                                 | Березовское месторождение      | светло-серый, кр/з, масляный кварц с шеелитом                      |
| Бер-П                                                  | Березовское месторождение      | сероватый, кр/з кварц с кристаллами пирита                         |
| Бер-1                                                  | Березовское месторождение      | шеелит ярко-оранжевый                                              |
| Бер-2                                                  | Березовское месторождение      | шеелит слабой оранжевой окраски                                    |
| <i>Уфалейский рудный район (Южный Урал)</i>            |                                |                                                                    |
| 175-уф                                                 | жила 175                       | гранулированный кварц уфалейского типа                             |
| 175-ег                                                 | жила 175                       | гранулированный кварц егустинского типа                            |
| У-31/1                                                 | жила 101                       | гранулированный кварц кыштымского вида                             |
| У-32/1                                                 | жила 314                       | гранулированный кварц кыштымского вида                             |
| У-22/2                                                 | жила 191                       | гранулированный кварц егустинского вида                            |
| У-28/1                                                 | жила 170                       | гранулированный кварц слюдяногорского вида                         |
| У-28/2                                                 | жила 170                       | гранулированный кварц слюдяногорского вида                         |
| У-13/1                                                 | жила 175                       | кварц слюдяной, м/з, массивный                                     |
| У-37/3а                                                | гора Теплая                    | кварц метасоматический                                             |
| <i>Светлинский рудный район (Южный Урал)</i>           |                                |                                                                    |
| С-1/1                                                  | пегматит. Тело № 1             | кристалл дымчатого цвета                                           |
| Свл-51/4                                               | гора Калиновая                 | молочно-белый, г/з кварц                                           |
| Свл-51/7                                               | гора Калиновая                 | молочно-белый, г/з кварц частично гранулированный                  |
| С-4/2                                                  | кварцевая жила 500             | кристалл горного хрусталя                                          |
| Р-3/3                                                  | Радиомайский участок           | молочно-белый, слегка прозрачный, г/з кварц                        |
| Ки-2/4                                                 | Кидешский участок              | молочно-белый, фарфоровидный, кр/з кварц                           |
| Кс-2                                                   | золоторудный карьер            | сероватый, молочно-белый г/з–кр/з кварц                            |
| Кс-3                                                   | золоторудный карьер            | сероватый кр/з кварц по трещинам с сульфидами                      |
| Кс-13                                                  | золоторудный карьер            | светло-серый, слегка прозрачный, ср/з кварц с шеелитом             |
| Кс-12/1                                                | золоторудный карьер            | шеелит бледно-желтый в кр/з, молочно-белом кварце                  |
| <i>Кочкарский рудный район (Южный Урал)</i>            |                                |                                                                    |
| Коч-А                                                  | Кочкарское месторождение       | друзовидный кварц серого цвета, с арсенопиритом                    |
| Е-3                                                    | Еленовская россыпь             | серый кварц, с/з с молибденом в мраморе                            |
| <i>Ларинское месторождение гранулированного кварца</i> |                                |                                                                    |
| Л-163                                                  | Кочневский участок             | светло-серый гранулированный кварц кыштымского типа                |
| Л-258                                                  | Ларинский участок              | серовато-белый фрагментарно гранулированный кварц кыштымского типа |
| Ку-21/7                                                | Кундравлинский участок         | стекловидный кварц с кианитом                                      |
| <i>Джабык-Карагайский рудный район (Южный Урал)</i>    |                                |                                                                    |
| Ас-46                                                  | Астафьевское месторождение     | полупрозрачный г/з кварц с крупными кристаллами пирита             |
| ГУМ-25К                                                | Гумбейское месторождение       | молочно-белый, ср/з кварц с шеелитом                               |
| ГУМ                                                    | Гумбейское месторождение       | шеелит бледно-желтый                                               |
| ГУМ-25                                                 | Гумбейское месторождение       | шеелит бледно-желтый                                               |
| КЖ-5                                                   | Кожубаевское месторождение     | светло-серый, ср/з кварц с сульфидами                              |
| <i>Великопетровское месторождение (Южный Урал)</i>     |                                |                                                                    |
| В-9                                                    |                                | сероватый, маслянистый, кр/з кварц                                 |
| В-10                                                   |                                | сероватый, маслянистый, ср/з кварц с пиритом                       |
| В-11                                                   |                                | серый, м/з–ср/з кварц метасоматический                             |
| В-12                                                   |                                | катаклазированный кварц, сероватый, ср/з                           |
| В-13                                                   |                                | сероватый, м/з–ср/з, кварц метасоматический                        |
| <i>Гогинская площадь (Южный Урал)</i>                  |                                |                                                                    |
| ГО-1/1                                                 |                                | молочно-белый г/з кварц                                            |
| ГО-1/1А                                                |                                | сероватый, г/з кварц                                               |
| ГО-1/2                                                 |                                |                                                                    |
| Нов-1                                                  | Новотроицкое месторождение     | полупрозрачный, г/з кварц                                          |
| Нур-2/2                                                | Нурбайская площадь             | молочно-белый, г/з кварц                                           |
| КТ-6                                                   | г. Кумыс-Тюбе                  | полупрозрачный, кр/з кварц                                         |
| А-828                                                  | Айдырлинское месторождение     | сероватый, ср/з кварц с рудной минерализацией по трещинам          |

Примечание. м/з – мелкозернистый, с/з – среднезернистый, к/з – крупнозернистый, г/з – гигантозернистый



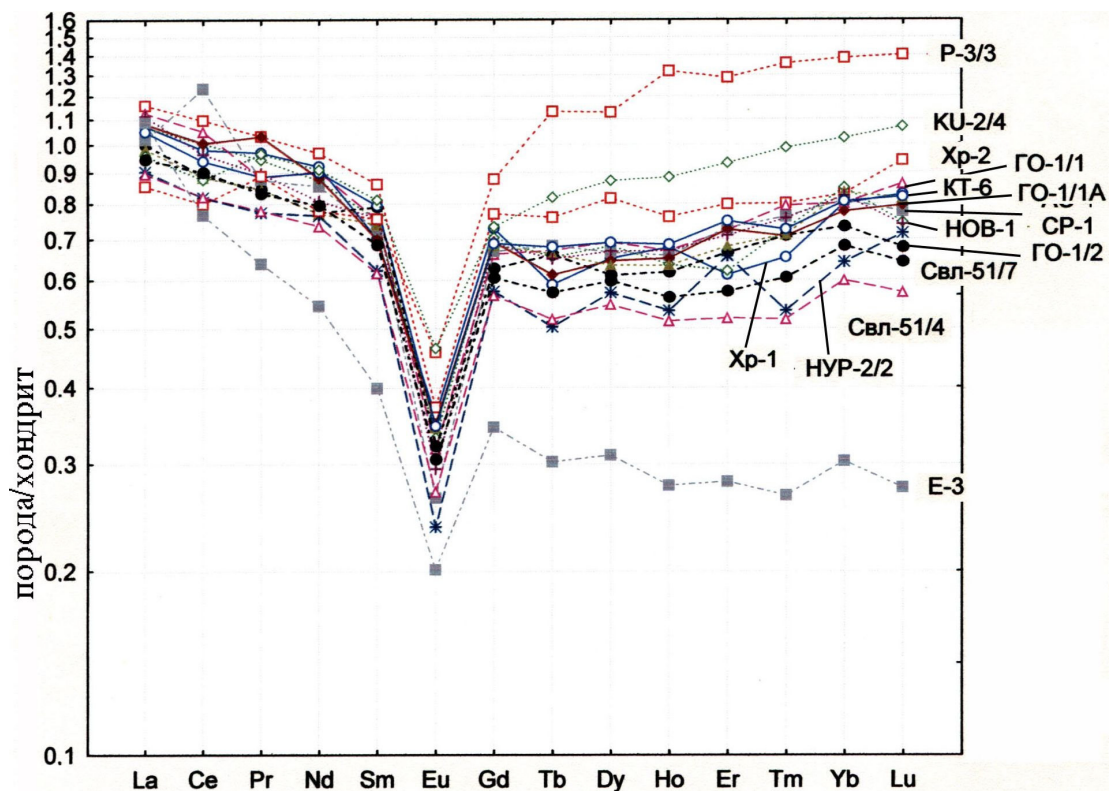


Рис. 6. Хондрит-нормированное распределение РЗЭ в “безрудных” кварцевых жилах.

Описание образцов – см. табл. 3.

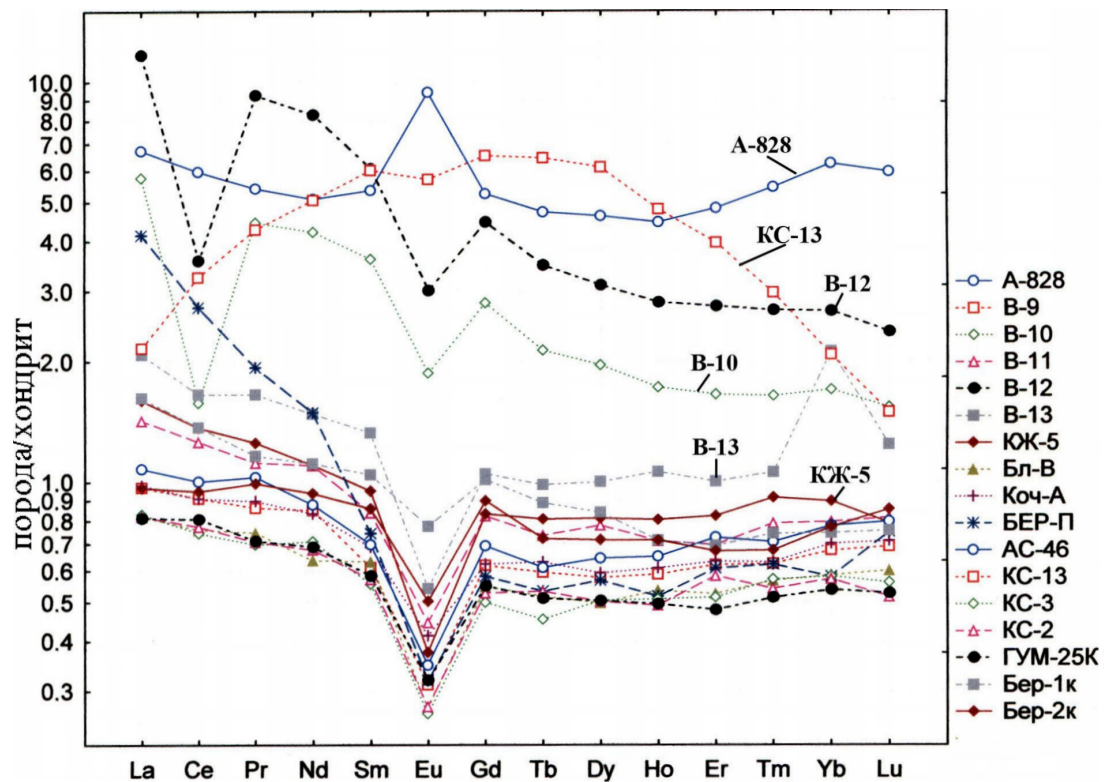


Рис. 7. Хондрит-нормированное распределение РЗЭ в кварцевых жилах золоторудных и флюоритовых месторождениях.

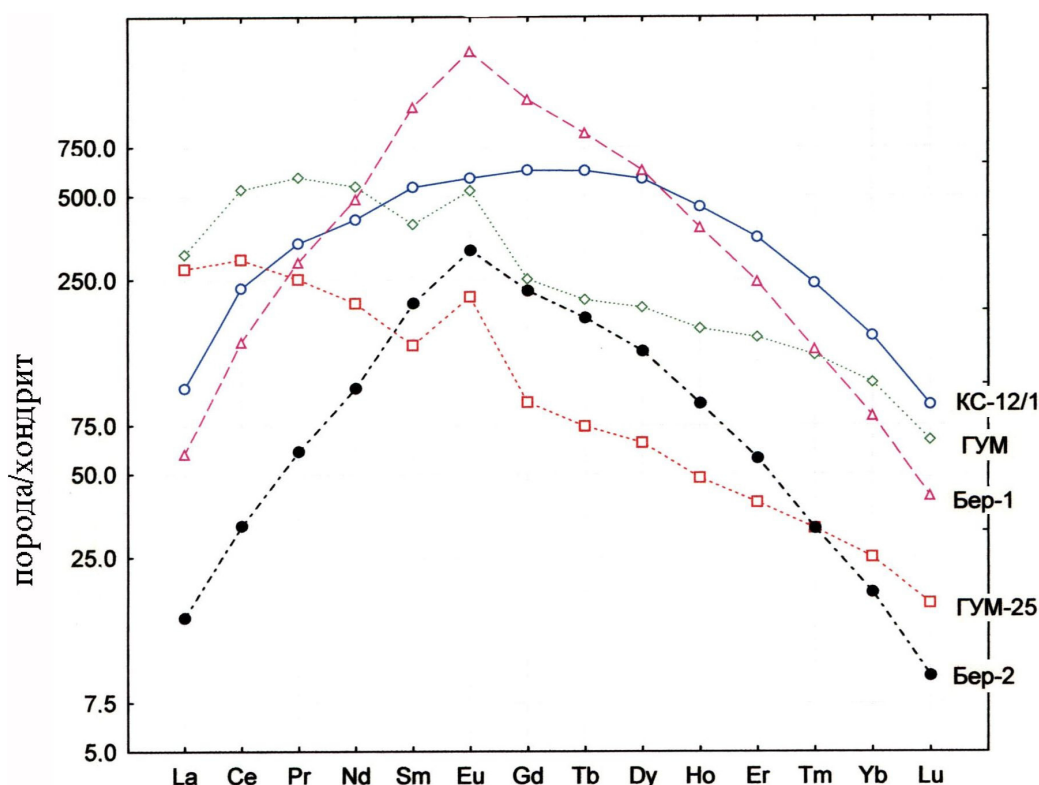


Рис. 8. Хондрит-нормированное распределение РЗЭ в шеелитах шеелитоносных месторождений Урала.

Описание образцов – см. табл. 3.

гим исключением является кварц (обр. Е-3) из жилы, рассекающей толщу крупно-гигантозернистого мрамора (Еленовский карьер, Южный Урал). Благодаря расположению в карбонатной толще кварц имеет низкие содержания редкоземельных элементов цериевой группы и особенно низкие – элементов иттриевой группы.

Был изучен жильный кварц золоторудных и шеелитоносных месторождений Урала: Березовское (Бер-1к, Бер-2к, Бер-П), Кочкарское (Коч-А), Светлинское КС-2, КС-3, КС-13), Великопетровское (В-9, В-10, В-11, В-12, В-13), Айдырлинское А-828), Кожубаевское (КЖ-5), Астафьевское (АС-46). Спайдер-диаграмма распределения РЗЭ в кварце названных месторождений отображена на рис. 7. На диаграмме наглядно выделяется поле содержания РЗЭ, близкое к содержанию РЗЭ в жильном молочно-белом и стекловидном, “безрудном” кварце. Поле с повышенным содержанием РЗЭ и аналогичным характером распределения элементов, как в “безрудном” кварце, отвечает кварцу с наложенной сульфидной минерализацией. Кварц с ранним шеелитом золоторудных месторождений характеризуется совершенно иным распределением РЗЭ, повторяющим характер поведения элементов в собственно шеелитах этих месторождений (рис. 8).

На рис. 9 приведено сравнение распределения РЗЭ в кварцитах и кварцево-жильных образова-

ях. По уровню концентрации РЗЭ в исследуемых образованиях отчетливо выделяют две их группы: первая расположена в верхней части диаграммы и соответствует метасоматическим кварцитам, а вторая занимает нижнюю его часть и отвечает кварцево-жильным образованиям.

На поле кварцево-жильных образований выделяются две зоны: верхняя – зона жил гранулированного кварца Уфалейского рудного поля, а нижняя – зона стекловидных кварцевых жил выполнения и кристаллов горного хрусталя Светлинского рудного поля. Учитывая, что *P-T-X* параметры образования субстанций обеих групп сопоставимы, причину такого различия, очевидно, следует искать, в составе эдуктов (для кварцитов) и вмещающих пород (для кварцево-жильных образований). Представляется, что главными эдуктами в пределах Уфалейского метаморфического блока, где сосредоточена основная масса кварцитов и кварцево-жильных образований, являются гнейсы и амфиболиты, а для кварцевых жил Светлинского поля – кристаллические сланцы.

Таким образом, приведенные данные по химическому составу и физическим свойствам жильного кварца, формам вхождения в него элементов-примесей, их концентрациям дают основания сделать следующие выводы.

1. Схожий характер кривых распределения РЗЭ в кварце жил выполнения месторождений “руд-

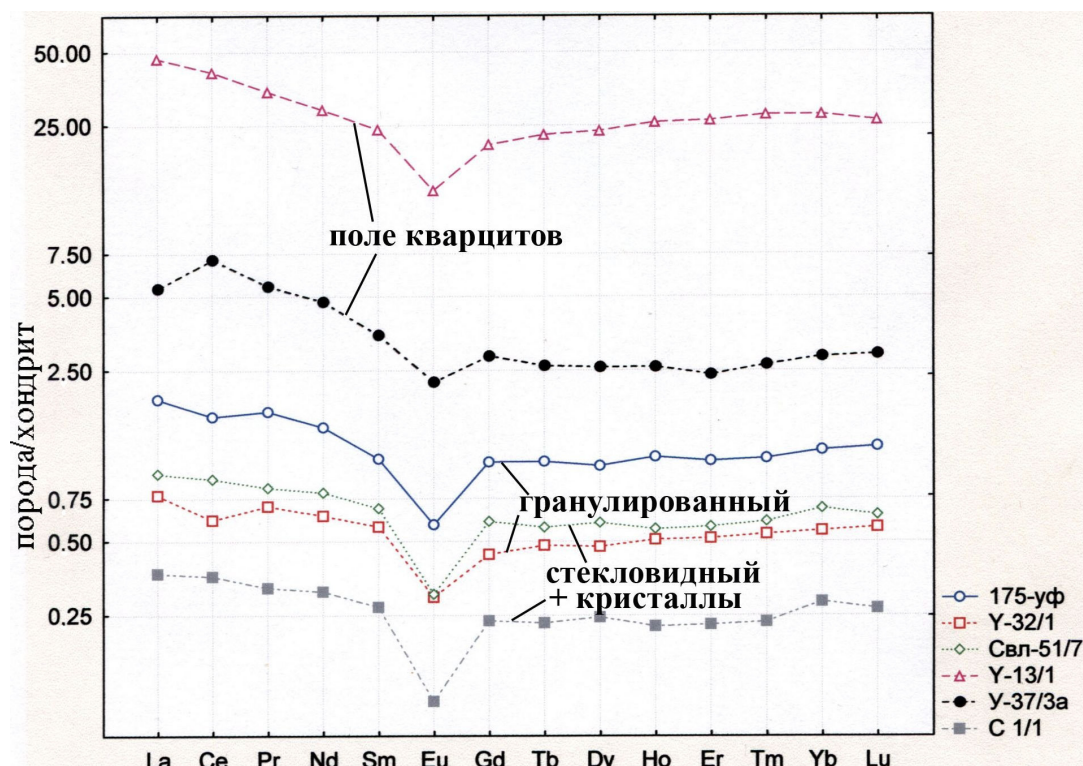


Рис. 9. Хондритнормированное распределение РЗЭ в метасоматических кварцитах и кварцево-жильных образованиях.

Описание образцов – см. табл. 3.

ных” и “нерудных” полезных ископаемых позволяет сделать вывод о наложенности рудной минерализации на жильный кварц тел выполнения, которые служат рудовмещающей средой. Загрязнение рудного кварца элементами-примесями связано с многостадийным наложением рудной минерализации, сопровождающейся развитием мелкозернистого метасоматического кварца, на кварц жил выполнения и замещения.

2. Диаграммы распределения РЗЭ гранулированного кварца совпадают с таковыми для молочно-белого и стекловидного кварца. Такое явление свидетельствует о явном наследовании гранулированным кварцем содержания РЗЭ своего эдукта, что подтверждает заключение о вторичности гранулированного кварца по отношению к первичному кварцу.

3. 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.

Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных исследований № 14-23-24-27 Президиума РАН и Интеграционного проекта “Развитие минерально-сырьевой базы России...”. Частичное финансирование осуществлялось по гос-

бюджетной теме 5.4667.2011(Г-3 УГГУ) “Исследование генетических типов месторождений группы кианита...”.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балицкий В.С. Экспериментальное изучение процессов хрусталеобразования. М.: Недра, 1978. 144 с.
2. Вертушков Г.Н., Борисков Ф.Ф., Емлин Э.Ф. и др. Жильный кварц восточного склона Урала // Труды СГИ. 1970. Т. 2, вып. 66. С. 82–99.
3. Коротеев В.А., Огородников В.Н., Сазонов В.Н., Поленов Ю.А. Минерогения шовных зон Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 2010. 416 с.
4. Огородников В.Н. Закономерности размещения и условия образования кварцево-жильных хрусталоносных и золоторудных месторождений Урала. Автореф. дис... д-ра геол.-мин. наук. Свердловск: УГГА, 1993. 28 с.
5. Огородников В.Н., Сазонов В.Н., Поленов Ю.А. Минерогения шовных зон Урала. Ч. 3. Уфалейский гнейсово-амфиболитовый комплекс (Южный Урал). Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, УГГУ, 2007. 187 с.
6. Поленов Ю.А. Эндогенные кварцево-жильные образования Урала. Екатеринбург: УГГУ, 2008. 269 с.
7. Поленов Ю.А., Огородников В.Н., Сазонов В.Н. РЗЭ в метасоматических кварцитах и кварцево-жильных образованиях Уфалейско-Карабашского блока (Южный Урал) и их индикаторная роль // Горно-геологический журнал. 2007. № 1. С. 9–16.



8. Поленов Ю.А., Огородников В.Н., Сазонов В.Н. и др. Кварцево-жильная минерализация Уфалейского коллизионного блока (Южный Урал) // Литосфера. 2006. № 2. С. 123–134.
9. Поленов Ю.А., Огородников В.Н., Сазонов В.Н., Савичев А.Н. Закономерности размещения и условия образования особо чистого кварца (Уфалейский кварценовый район, Южный Урал) // Докл. АН. 2005. Т. 405, № 2. С. 1–4.
10. Серкова Л.Е. Типоморфные особенности жильного безрудного кварца (по данным ИК- и ЭПР-спектроскопии). Дис. ... канд. геол.-мин. наук. Свердловск: ИГГ УрО РАН. 1990. 206 с.
11. Страшненко Г.И. Геохимические особенности распределения элементов-примесей в кварце // Докл. АН СССР. 1990. Т. 312, № 6. С. 1450–1453.
12. Юргенсон Г.А. Типоморфизм и рудоносность жильного кварца. М.: Недра, 1984. 149 с.

*Рецензент И.Л. Недосекова*

## **Rare-earth elements in quartz-vein formations of the Urals and their indicating role**

**Yu. A. Polenov, V. N. Ogorodnikov, A. N. Savichev**

*Urals State Mining University*

The results of the authors' investigations of rare-earth elements distribution regularities in various endogenic quartz-vein formations of the Urals are presented in the article. The content of REE and structural impurities are revealed of quartz-vein formations genesis and may be used as a criterion of forecast and objects assessment of both metallic and non-metallic raw materials.

Rey words: *the Urals, rare-earth elements, quartz viens.*