

НАДЕЖНЫЕ МЕТОДЫ ОРГАНИЗАЦИИ ГОРНЫХ РАБОТ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОНЦЕНТРАТОВ ОСОБО ЧИСТОГО КВАРЦА

ПОЛЕНОВ Ю. А., ОГОРОДНИКОВ В. Н., САВИЧЕВ А. Н.

Минерально-сырьевая база кварца России, используемого в высокотехнологичных производствах, традиционно объединяет месторождения пьезооптического кварца, горного хрусталя, гранулированного, прозрачного и молочно-белого жильного кварца. Востребованность и обеспеченность различными видами кварцевого сырья неоднозначна. Требованиям особо чистого кварца среди кварцево-жильных образований Кыштымского кварценосного района в большей степени отвечают гранулированный кварц кыштымского типа, метасоматический кварц егустинского и уфалейского типов, бесцветный стекловидный кварц щербаковского типа. В связи с отсутствием в природе кварцевых объектов, полностью однородных по зернистости, текстурно-структурным особенностям и наличию минеральных примесей, на первый план выходит проблема организации селективной отработки разных минерало-технологических типов кварца из одного рудного тела, что в промышленных масштабах для кварцевого сырья не производится из-за нерентабельности, а также отсутствия линий глубокого обогащения с использованием новейших способов с целью выделения из неоднородного кварцевого сырья концентратов особо чистого кварца.

Ключевые слова: жильный кварц; особо чистый кварц; гранулированный кварц; селективная отработка жил; глубокое обогащение; Кыштымский кварценосный район.

Природное кварцевое сырье, а именно получаемые из него особо чистые кварцевые концентраты находят широкое применение в различных отраслях промышленности высоких технологий – радиоэлектронной, полупроводниковой, электро- и светотехнической, оптической, авиационной, космической и др. Россия относится к крайне ограниченному числу стран, которые не только широко используют в промышленности кварцевое сырье, но и имеют собственную сырьевую базу. Минерально-сырьевая база кварца России, применяемого в высокотехнологичных производствах, традиционно объединяет месторождения пьезооптического кварца, горного хрусталя, гранулированного, прозрачного и молочно-белого жильного кварца. Востребованность и обеспеченность разными видами кварцевого сырья неоднозначна [1].

Созданная в 1970-х гг. сырьевая база для плавки, основу которой составили Уральские месторождения гранулированного и прозрачного жильного кварца, полностью удовлетворяла потребности промышленности того периода как в количественном, так и в качественном отношении.

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

Огородников Виталий Николаевич – доктор геолого-минералогических наук, доцент, заведующий кафедрой геологии. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет. E-mail: igg@ursmu.ru

Савичев Александр Николаевич – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет.

Анализ использования кварцевого сырья в СССР во второй половине XX-го столетия убеждает в том, что стабильное обеспечение различного профиля государственных предприятий кварцевым сырьем осуществлялось путем одновременной разработки во многих регионах страны большого числа месторождений и отдельных кварцевых объектов, имеющих стабильные параметры. Предприятия требовали поставки продукции с объектов с запасами, обеспечивающими производство на многие годы. Исходя из качества поставляемого сырья, промышленные предприятия разрабатывали свои технологии использования получаемого кварцевого материала, что обеспечивало им выпуск продукции, соответствующей ГОСТам. В связи с подобной ситуацией экспедиции 6-го ГУ Мингео СССР (в дальнейшем – ВПО «Союзкварцсамоцветы») отрабатывали десятки кварцевых объектов одновременно. Только крупнейшие в этой системе ПО «Уралкварцсамоцветы» и ПО «Казкварцсамоцветы» с 1965 до 1992 г. вели добычу жильного кварца на Ларинском, Маукском, Кыштымском, Кузнечихинском, Вязовском, Агордяшском, Светлореченском, Новотроицком, Караяновском, Пугачевском, Актасском, Мулалинском месторождениях жильного кварца, в полной мере обеспечивая потребность промышленности страны в кварцевом сырье [2].

С распадом СССР централизованное проведение геологоразведочных и добычных работ на кварцевое сырье в нашей стране прекратилось. А с переходом предприятий на рыночные формы хозяйствования при полном прекращении государственного финансирования произошло резкое сокращение, вплоть до полного прекращения, добычи большинства видов кварцевого сырья. Действующие промышленные предприятия, работающие с кварцевым сырьем, оказались в сложной ситуации. С одной стороны, резко сократился ассортимент кварцевого сырья, с другой стороны, недоработаны современные отечественные промышленные технологии обогащения кварца.

Основная проблема заключается в отсутствии в природе особо чистого кварца. Исследования авторов, базирующиеся на длительных полевых и лабораторных работах по изучению генотипов кварца в пределах Уфалейского метаморфического комплекса, подтвердили наличие нескольких разновидностей кварца, имеющих различие в текстурно-структурных особенностях (таблица). Авторами выделены следующие типы жильного кварца: метаморфической дифференциации, слюдяногорского, уфалейского, егустинского, пугачевского, кыштымского и щербачковского, каждый из которых образуется в определенном геодинамическом режиме, с участием определенного родоначального магматического комплекса, при соответствующих термодинамических параметрах, которые предопределяют его чистоту. Подавляющее количество кварцевых тел в той или иной степени претерпели преобразования под воздействием более поздних метаморфических, метасоматических и гидротермальных процессов, что привело к существенному усложнению первоначального строения жильного кварца, слагающего кварцевые тела, и это требует особого подхода при разработке технологических схем обогащения добываемого кварцевого материала.

Анализ технологии производства кварцевой продукции показал, что повсеместно используются близкие по сути технологические схемы переработки сырья без учета его полигенности [3]. Детальные исследования кварцевых объектов так называемого *гранулированного кварца* убедительно доказывают неоднородность слагающих их компонентов жильного кварца. Этот вывод особенно важен, поскольку *гранулированный кварц* в нашей стране является наиболее перспективным особо чистым кварцем (по современной терминологии, сырьевой источник для высококачественных кварцевых концентратов – HRK). Наиболее жесткие требования предъявляются к кварцу, применяемому для получения прозрачного

кварцевого стекла (плавленого стекла). Содержание SiO_2 в исходном кварцевом сырье не должно быть ниже 99,98 %, а суммарное содержание отдельных элементов не должно превышать $8 \cdot 10^{-3}$ ppm (ТУ 5726-002-1149665-97).

Генетическая типизация жильного кварца Уфалейского кварценосного района

Геодинамический режим, мегацикл	Родоначальный магматический комплекс (возраст)	Генетический формационный тип кварцевых жил	Минерально-технологический тип	Тип кварца по структурным особенностям	Эталонные кварцевые жилы
Метаморфизм карельского мегацикла 2,05–1,75 млрд лет	Гранито-гнейсы уфалейской свиты 1,85–1,8 млрд лет	Метаморфогенный, первично-зернистый	Прожилки метаморфической дифференциации	Светло-серый, мелко-, средне-зернистый 1–3 мм	–
Рифтогенез рифейского мегацикла 1,35–1,0 млрд лет	Чусовской комплекс субщелочных гранитоидов, гиганто-мигматиты 881 млн лет	Метаморфогенный, вторично-зернистый, перекристаллизованный	Слюдяногорский	Серый, полупрозрачный, средне-, крупнозернистый, грануломорфный 2–10 мм	Кварцевая жила № 170
Байкальский (кадомский) коллизионный мегацикл 620–500 млн лет	Битимский комплекс щелочных гранитов, альбититы, карбонатиты 579–533 млн лет	Гидротермально-метасоматический, 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, слабодымчатый, тонкозернистый, льдисто-подобный 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, гранулированный, 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

Оценивая состояние сырьевой базы жильного кварца для плавки, необходимо отметить следующее. Разведанные и оцененные запасы кварца для плавки составляют более 4,6 млн т. Однако недостаточная изученность технологических

свойств большей части запасов, низкий уровень отечественных технологий обогащения обеспечивает получение лишь рядовых по качеству концентратов для наплава стекла, используемого в светотехнике и для производства изделий общетехнического назначения. Сырьевая база кварца для высоких технологий в настоящий момент не подготовлена [1].

Получение кварцевого концентрата особой чистоты возможно только из вполне определенных разновидностей природного кварца. При разработке технологии обогащения кварца и получении кварцевых концентратов высокой чистоты актуальны детальные характеристики распределения зерен по размерам [4–7].



Рис. 1. Гистограмма распределения зерен по размерам в образцах гранулированного кварца [4]

На основании детальных исследований кварца Кыштымского района Е. Л. Котовой [5] проведена дифференциация и группировка кварцевых индивидов по их морфологии и анатомии, характеру распределения в пространстве кварцевого агрегата жил, что позволило выделить четыре типа индивидов кварца. *Первый тип* представлен зернами с сильно изрезанными границами срастания, его отличает наличие большого количества минеральных и газовой-жидких включений, большое количество блоков волнистого погасания. *Ко второму типу* отнесены зерна с более гладкими, чем у первого типа, границами срастания друг с другом, небольшим количеством минеральных и газовой-жидких включений, меньшим количеством блоков волнистого погасания. *В третий тип* объединены зерна со слабо изрезанными границами, в них практически отсутствуют включения, почти не наблюдаются блоки волнистого погасания. *Четвертый тип* зерен кварца включает индивиды с плоскими или гладкими границами срастания, иногда это следы простых форм. В зернах отсутствуют какие-либо включения. Выделенные Е. Л. Котовой типы индивидов кварца во многом совпадают с выделенными авторами данной статьи [6, 7] онтогенетическими типами слюдяногорского, кыштымского, уфалейского, егустинского типов жильного кварца.

При визуальной документации жильного кварца месторождений Кыштымского района часто создается впечатление об однородности кварца, слагающего кварцевые объекты, что не всегда соответствует действительности. Это убедительно доказано работами М. А. Игуменцевой [4], Е. Л. Котовой [5] и исследованиями авторов [6, 7].

Так, детальные исследования наиболее крупных кварцевых жил Кыштымского (жила 175) и Кузнечихинского (жила 191 и 414) месторождений, а также жилы Беркутинской убедительно показали, что эти объекты сложены кварцем нескольких генетических типов, что подчеркивается неоднородностью гранулометрического состава индивидов, слагающих жильный кварц (рис. 1). В такой ситуации выделение кварцевых концентратов особо чистого кварца без селективной отработки кварцевых жил малоэффективно и очень затратно на стадии обогащения.

В связи с отсутствием в природе кварцевых объектов, полностью однородных по зернистости, текстурно-структурным особенностям и наличию минеральных примесей, на первый план выходит проблема селективной отработки кварцевых тел, что в промышленных масштабах для кварцевого сырья не производится из-за нерентабельности.

Задача селективной отработки кварца из одного рудного тела и создания линий глубокого обогащения с использованием новейших способов для получения особо чистых кварцевых концентратов не может быть решена без государственной поддержки и научного сопровождения.

Работа выполнена в рамках темы 0393-2016-0024 государственного задания ИГД УрО РАН, рук. д-р геол.-минерал. наук А. Ю. Кисин.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Борисов Л. А., Серых Н. М., Федотов В. К., Шатнов Ю. А. Минерально-сырьевая база кварцевого сырья России – состояние и основные направления ее развития // Неметаллические полезные ископаемые России: современное состояние сырьевой базы и актуальные проблемы научных исследований. М.: ИГЕМ РАН, 2004. С. 41–44.
2. История поисков, разведки и освоения Уральских хрусталеносных месторождений (1937–1991): науч. монография / под ред. Ю. А. Поленова. Екатеринбург: УГГУ, 2017. 114 с.
3. Серых Н. М., Гулин Е. Н., Кайряк А. Д. Инновационная технология изучения обогатимости кварцевого сырья при оценке ресурсного потенциала на особо чистый кварц // Неметаллические полезные ископаемые России: современное состояние сырьевой базы и актуальные проблемы научных исследований. М.: ИГЕМ РАН, 2004. С. 203–206.
4. Игуменцева М. А. Кварц Кыштымского и Кузнечихинского месторождений: состав, технологические свойства. Екатеринбург: УрО РАН, 2012. 166 с.
5. Котова Е. Л. Онтогенетический анализ жильного кварца Кыштымского района для оценки качества кварцевого сырья: дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Санкт-Петербург, 2014. 120 с.
6. Огородников В. Н., Поленов Ю. А., Недосекова И. Л., Савичев А. Н. Гранитные пегматиты, карбонатиты и гидротермалиты Уфалейского метаморфического комплекса. Екатеринбург: УрО РАН, 2016. 273 с.
7. Поленов Ю. А., Огородников В. Н., Савичев А. Н. Использование современной генетической классификации жильного кварца при проведении кварцетрической съемки и ведении геологической документации горных выработок // Известия вузов. Горный журнал. 2016. № 7. С. 69–74.

Поступила в редакцию 8 февраля 2018 года

RELIABLE METHODS OF MINING ORGANIZATION TO GET CONCENTRATES OF HIGH-PURITY QUARTZ

Polenov Iu. A., Ogorodnikov V. N., Savichev A. N. – The Ural State Mining University, Ekaterinburg, the Russian Federation. E-mail: polenov_yu@mail.ru

Russian mineral raw material base of quartz, which is used in high-technology manufacturing, traditionally unites the deposits of piezooptical quartz, rock crystal, granular quartz, transparent quartz, and milky vein quartz. Necessity and availability of various types of quartz raw material is ambiguous. Among the quartz veined bodies of Kyshtym quartziferous region, granular quartz of kyshtym type, metasomatic quartz of egustinsky and ufaley type, and colorless glassy quartz of sherbakovsky type in a greater degree meet the requirements of high-purity quartz. Due to lack of quartz objects in nature, which are totally homogeneous in coarseness, textural-structural features, and the presence of mineral impurities, the problem of organizing selective mining of various mineral-technological types of quartz out of one ore body comes into the picture, which is not fulfilled on an industrial scale for quartz raw material because of unprofitability, and organization of the lines of deep concentration with the use of the innovative methods with the purpose of educing high-purity quartz concentrates out of heterogeneous quartz raw material.

Key words: vein quartz; high-purity quartz; granular quartz; selective vein mining; deep concentration; Kyshtym quartziferous region.

REFERENCES

1. Borisov L. A., Serykh N. M., Fedotov V. K., Shatnov Iu. A. [Mineral raw material base of quartz raw material in Russia – state and basic directions of its development] *Nemetallicheskie poleznye iskopaemye Rossii: sovremennoe sostoianie syr'evoi bazy i aktual'nye problemy nauchnykh issledovaniy* [Non-metallic minerals in Russia: modern state of raw material base and current problems of scientific investigations]. Moscow, IGM RAS Publ., 2004, pp. 41–44.
 2. *Istoriia poiskov, razvedki i osvoeniia Ural'skikh khrustalenykh mestorozhdenii (1937–1991): nauch. monografiia / pod red. Iu. A. Polenova* [Scientific monograph “History of search, exploration, and exploitation of Ural crystal bearing deposits (1937–1991)”. Edited by Polenov Iu. A.]. Ekaterinburg, UrSMU Publ., 2017. 114 p.
 3. Serykh N. M., Gulin E. N., Kairiia A. D. [Innovative technology of studying quartz raw material washability under the estimation of resource potential for the high-purity quartz]. *Nemetallicheskie poleznye iskopaemye Rossii: sovremennoe sostoianie syr'evoi bazy i aktual'nye problemy nauchnykh issledovaniy* [Non-metallic minerals in Russia: modern state of raw material base and current problems of scientific investigations]. Moscow, IGM RAS Publ., 2004, pp. 203–206.
 4. Igumentseva M. A. *Kvarts Kyshtymskogo i Kuznechikhinskogo mestorozhdenii: sostav, tekhnologicheskie svoistva* [Quartz of Kyshtym and Kuznechihinsky deposits: composition and technological properties]. Ekaterinburg, UB RAS Publ., 2012. 166 p.
 5. Kotova E. L. *Ontogenicheskii analiz zhil'nogo kvartsa Kyshtymskogo raiona dlia otsenki kachestva kvartsevogo syr'ia: dis. ... kand. geol.-mineral. nauk* [Ontogenetic analysis of vein quartz of Kyshtym region to estimate the quality of quartz raw material. Cand. geol.-min. sci. diss.]. St. Petersburg, 2014. 120 p.
 6. Ogorodnikov V. N., Polenov Iu. A., Nedosekova I. L., Savichev A. N. *Granitnye pegmatity, karbonatity i gidrotermal'ity Ufaleiskogo metamorficheskogo kompleksa* [Granite pegmatites, carbonatities, and hydrothermalites of Ufaley metamorphic complex]. Ekaterinburg, UB RAS Publ., 2016. 273 p.
 7. Polenov Iu. A., Ogorodnikov V. N., Savichev A. N. [The use of modern genetic classification of gangue quartz when performing quartz-metric survey and maintaining geological documentation of mine workings]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal – News of the Higher Institutions. Mining Journal*, 2016, no. 7, pp. 69–74. (In Russ.)
-