

В.В.ЩИПЦОВ, Л.С.СКАМНИЦКАЯ
(Институт геологии КарНЦ РАН),
Ю.АСТАЛА
(компания "Партек Нордкалк", Финляндия)

ОБОГАТИМОСТЬ КВАРЦА ОСНОВНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КАРЕЛИИ

С ростом населения и развитием экономики увеличивается потребность в индустриальных минералах. Устойчивый спрос на строительные материалы, удобрения, наполнители, стекло и керамику, по словам ведущего эксперта П.Харбена из США [1], сохранится в мировой экономике на ближайшее десятилетие.

Работы по получению особо чистого кварца Карелии были проведены в рамках федерального задания Институту геологии КарНЦ РАН и Северной поисково-разведочной экспедиции на прогнозно-минерагеническое изучение Республики Карелия в масштабе 1:1000000 с целью выявления кварцевых объектов, перспективных в отношении минерального сырья для производства специальных кварцевых изделий [2,3].

Определения элементов-примесей в кварце по пробам кускового и обогащенного кварцевого материала выполнены в Токийской лаборатории компании "Tatsumori Ltd" при содействии японских специалистов в области получения особо чистого кварца Х.Ивасаки и Ф.Ивасаки, шведской лаборатории "Analytica Ab" (по соглашению Института геологии и финской компании "Partek Nordkalk") и в лаборатории ВНИИСИМСа (г.Александров).

Качество кварцевого сырья регламентируется требованиями ОСТов и ТУ. Свойства специальных кварцевых материалов и изделий, помимо выбранной технологии производства, зависят от качественных характеристик используемого необогащенного и обогащенного кварцевого сырья. Одной из важнейших характеристик качества кварцевого сырья является наличие элементов-примесей в кварце, которые могут содержаться в различных группах вредных примесей (структурные, твердые минеральные, газовой-жидкие, технологические и гидроокисные пленки).

Твердые минеральные примеси включают в себя различные минералы, в том числе слюды (мусковит, серицит и биотит), полевой шпат (микроклин и плагиоклаз), рутил, кианит, гранат, апатит, сфен, графит и др. Их отрицательное воздействие проявляется в нарушении однородности материалов и изделий, снижении кристаллизационной устойчивости, светопропускании во всех областях спектра.

Доминантной примесью является алюминий, занимающий в кварце различные позиции. В табл.1 показаны возможности очистки кварца одним и тем же технологическим приемом, но с различным конечным эффектом. Финский кварц по сравнению с норвежским значительно хуже очищается из-за присутствия в нем большего количества газовой-жидких включений.

Газовой-жидкие и твердофазовые включения, как правило, присутствуют в кварце в виде микро- и субмикроскопических полостей, называемых вакуолями (от 0,001 до 1 мм). Исследования показали, что содержание газов в кварце может изменяться более чем в 50 раз - от 25×10^{-4} до 1400×10^{-4} г/кг; при этом может меняться не только общая газонасыщенность кварцевых агрегатов, но и состав флюидной компоненты. По массе газовые включения составляют в среднем 20-30% от всего количества примесей в кварце. Среди газов преобладают пары

воды и углекислый газ, но соотношение между ними варьирует на каждом конкретном месторождении.

Таблица 1

Характеристика включений в кварце до и после обработки (ppm)

Элемент	Финский кварц		Норвежский кварц	
	Перед обра- боткой	После обра- ботки	Перед обра- боткой	После обра- ботки
Fe	12	10	10	3
Al	14	14	180	22
K	19	19	15	0,4
Ca	36	13	-	1,5
Mg	0,4	0,3	0,8	0,5
Na	90	57	140	0,3

Мельчайшие газовые включения могут не вскрываться даже при высоких температурах и термодроблении, а это, в свою очередь, приводит при безвакуумном методе наплава к образованию непрозрачного стекла из-за появления в стекле газовых пузырьков. Газово-жидкие включения нарушают однородность и в целом ухудшают свойства изделий.

В большинстве развитых стран кварцевое сырье получают из пород различных генетических типов с использованием методов обогащения. Геологическими объектами для исследований стали различные комплексы пород, в которых при благоприятной обстановке образуется кварц как главный породообразующий минерал. Состав исходных кварцев и кварцсодержащих пород показывает, что все типы кварца имеют природные примеси в исходной массе (табл.2). Чтобы получить рафинированный кварц, необходимы операции по очистке методами обогащения.

На территории Карелии наиболее типичными являются пегматиты и кварцевые жилы Беломорского подвижного пояса (Карельское, Пезостров - табл 3), где распространены породы преимущественно саамского комплекса [4]. Кварцы этой зоны достаточно хорошо изучены и применялись в различных промышленных направлениях.

Теоретический вариант рассматривается в задаче по глубокому обогащению кианнит-кварцевых кварцитов и силицитов Хизоварского кианитового поля (см. табл. 3). По нашему

Таблица 2

Химический состав исходных проб кварцевых пород Карелии (вес. %)
(Анализы выполнены в лаборатории химического анализа Института геологии Кар НЦ РАН)

Месторождение	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O	п.п.п.	Σ
Габброиды													
Пиростров	98,36	<0,01	0,39	0,19	Н.о.	0,16	0,004	0,22	0,07	0,09	0,01	0,13	99,62
Никонова варакка	98,36	<0,01	0,39	0,84	Н.о.	0,21	0,009	0,29	0,08	0,07	0,01	0,05	99,99
Карельское	98,64	0,01	0,26	0,16	Н.о.	0,001	0,05	0,64	0,01	0,01	0,06	0,06	99,89
Кюрьяла	98,40	0,01	0,39	0,06	-	0,002	0,10	0,72	0,05	0,06	0,06	0,10	99,95
Жильный кварц													
Хизоваара Южный	98,40	0,01	0,53	0,11	-	0,004	0,15	0,72	0,03	0,04	0,06	0,06	100,1
Хизоваара Восточный	98,42	0,03	0,91	0,101	0,09	0,001	0,10	0,14	0,02	0,08	0,02	0,08	99,99
Тирояран	98,48	0,02	0,26	0,12	-	0,003	0,10	0,57	0,05	0,06	0,08	0,18	99,92
Фенькина лампы	98,68	-	0,39	0,41	-	0,003	0,10	0,14	0,05	0,05	0,02	Н.о.	99,84
Пажостров	98,30	0,02	0,49	0,43	-	0,008	0,12	0,10	0,04	0,05	0,11	Н.о.	99,66
Гирвас	98,35	0,02	0,30	0,50	-	0,007	0,15	0,07	0,04	0,04	0,09	0,04	99,60
Кварцит													
Хизоваара	83,28	0,03	15,35	0,24	0,08	0,03	0,10	0,14	0,02	0,08	0,09	0,18	99,59
Кизрека	94,56	0,03	3,15	0,31	-	0,002	0,05	0,07	0,10	0,82	0,05	0,50	99,64
Тикшеозеро	98,68	-	0,39	0,06	-	0,002	0,10	Н.о.	0,05	0,09	Н.о.	0,17	99,72
Галечный кварц													
Кювиканда	98,36	0,01	0,26	0,14	-	0,004	0,15	0,64	0,05	0,06	0,04	0,08	99,79
Гранит													
Елетьозеро	71,46	0,16	14,16	1,04	1,22	0,06	0,91	1,96	3,30	4,8	0,15	0,94	100,15

предположению, кварц очищался от алюминия, входящего в кристаллическую решетку кварца, путем замещения его на кремний в кристаллической решетке кварца в процессе кислотного выщелачивания. Возможно, наиболее чистый кварц образуется в гнездах, представленных кварцем, которые обнаруживаются в богатых кианитовых рудах Южной линзы Хизоварского месторождения.

Таблица 3

Характеристика включений из очищенных кварцев Карелии (ppm)

Месторождение	Al	Ca	Mg	K	Na	Li	Fe	Ti	Σ
Пегматит									
Пиртостров	62	2,4	<1	13	7,7	<5	1,0	6	98,1
Никонова варака	180	13	2	17	100	<5	88	6	411
Карельское	150	7,8	<1	6	120	<5	1,7	4	295,5
Кюрьяла	150	6,1	1	<5	95	<5	26	5	293,1
Жильный кварц									
Хизоваара Южный	36	4,1	<1	<5	10	<5	1,1	4	66,2
Хизоваара Восточный	28	7,3	<1	<5	12	<5	1,1	9	68,2
Тироярви	25	14	3	13	55	<5	4,6	<1	120,6
Фенькина лампы	35	15	2,5	11	15	0,1	4,3	0,7	83,6
Пежостров	51	250	22	19	55	<1	10	12	420,0
Гирвас	13	32	1,3	33	140	0,1	6,3	0,7	226,4
Кварцит									
Хизоваара	220	12	1	<5	7,2	<5	39	13	302,2
Кизрека	440	3,4	10	<5	210	<5	18	13	704,4
Тикшеозеро	50	4,6	<1	5	4,8	<5	3,0	4	77,4
Галечный кварц									
Кювиканда	39	29	2	14	14	<5	6,2	13	122,2
Гранит									
Елетьозеро	250	75	18	130	110	<5	94	31	713,0

Выделенный нами кварц из некоторых разновидностей гранитов сохраняет много механических и других примесей и не является на данном технологическом уровне перспективным в практическом отношении (Елетьозеро - табл. 3).

В процессе очистки кварцев мы пытались выяснить предел обогатимости механическими методами при удалении технологических и различных твердых минеральных включений, а также гидроокисных пленок. Пробы для испытаний готовились по единой схеме.

Содержание примесей в кварцевом концентрате из кварцевых блоков в пегматите после магнитной сепарации колеб-

лется от 100 до 411 ppm. Основная часть примесей в кварце этого типа связана с Al и Na (см. табл. 3).

Как правило, результаты магнитной сепарации сопоставимы с данными ручной сортировки, которая заложена в схему обогащения на технологической линии кварцевого цеха Чупинского ГОКа.

Жильный кварц большинства изученных проявлений содержит не менее двух генераций кварца, отличающиеся размерами, их количественным соотношением и свойствами. Это хорошо видно на примере месторождения Фенькина лампы, где кварц первой генерации имеет средний размер 0,1-0,5 мм, а второй - 0,04-0,2 мм.

Имеются две области по крупности кварца, отличающиеся по содержанию газовой-жидких включений. В местах грануляции и перекристаллизации кварца уменьшается количество газовой-жидких включений и улучшается качество кварца, в основном за счет очищения по натрию и калию. По нашим данным, суммарное содержание элементов-примесей в концентрате из этих зон не превышает 83,6 ppm (см. табл. 3).

При обогащении жильных кварцев по схеме обогащения блокового кварца из пегматита содержание примесей в концентрате колеблется в пределах 65,9-72,2 ppm (иногда до 133 ppm) в зависимости от объемов рекристаллизации (грануляции). Определенные трудности вызывает неоднородность кварца. Например, исследованные кварцы из рудопроявлений Пижостров и Гирвас оказались труднообогатимыми по Al, Ca и Na, так как акцессории (серицит, плагиоклаз, эпидот и др.) содержатся в виде очень мелких включений в крупном кварце первой генерации. В целом кварцевые концентраты из жильного кварца имеют лучшие характеристики, чем пегматитовый кварц.

Нами были обследованы пегматиты слюдяно-керамического типа в районе месторождений Никонова Варакка и Пиртостров, где известны кварцы белого, прозрачно-белого, молочно-белого, розоватого и дымчатого цветов. Практически было подтверждено, что и эти пегматитовые кварцы сопоставимы с промышленными чупинскими кварцами.

Образцы из кварцевых жил отобраны как в пределах Беломорского подвижного пояса, так и на Карельском кратоне. Как правило, встреченные кварцевые жилы имеют несложную морфологию и малые размеры. Проанализированные кварцы

(Хизовара Южный, Хизовара Восточный, Тироярви, Фенькина лампы, Гирвас – см.табл.3) за пределами Беломорья дают после обработки более или менее необходимую чистоту со значительно меньшим присутствием газовой-жидких включений, что может объясняться масштабностью проявленных гидротермальных процессов и различной геохимической специализацией. Несомненный интерес представляют кварцевые россыпи на карельском берегу Белого моря Кювиканда.

Кварциты, состоящие из кварца как главного породообразующего минерала, представляют собой возможный источник чистого кварца. По крайней мере, выбранные для исследований кварциты Северной Карелии образованы в различное геологическое время и в различных обстановках. Наши исследования показали, что после определенной обработки из некоторых кварцитов можно получить достаточно чистые кварцы: например, сливные кварциты молочно-белого цвета, залегающие в серых кварцитах ятулийского надгоризонта в северо-восточной части района озера Тикшеозеро (см.табл.3).

Руды, представленные кварцитами, более мелкозернистые и имеют более сложный минеральный состав (кварц, полевой шпат, кианит, рутил и слюды). Их удаление возможно только флотацией [5]. Общие закономерности флотации полевых шпатов, кварца, кианита с собирателями различного типа в широком диапазоне pH и в присутствии различных регуляторов исследованы достаточно широко [6-8]. Полевые шпаты, кианит и кварц разделялись катионными собирателями в кислой среде. При флотации анионными собирателями в щелочной среде селективность отделения кварца, полевых шпатов и кианита ниже, но в том и другом варианте не имеется однозначного представления о влиянии на флотацию крупности зерен минералов. Опыты на мономинералах (кварц, плагиоклаз, кианит) различной крупности с использованием анионного и катионного реагентов показали, что при отделении плагиоклаза от кварца катионными реагентами возникают определенные трудности для зерен крупнее 0,12 мм и мельче 0,06 мм.

Опыты по обогащению кварцитов из нескольких проявлений Карелии проводились в Институте геологии КарНЦ РАН и лаборатории обогащения компании "Partek Nordkalk" (Финляндия) с использованием как отечественных реагентов, так и

реагентов фабрик Кемио и Нильсия по схеме, приведенной на рис.1.

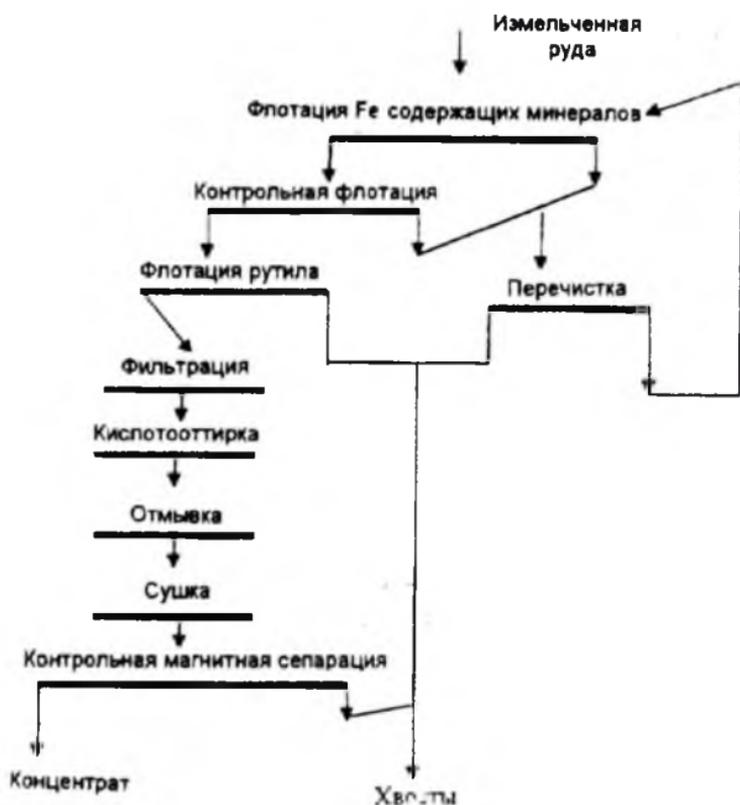


Рис. 1. Схема обогащения кварцитов

По качественным параметрам обогащенный кварц из кварцитов района Тикшеозеро сопоставим с жильным кварцем. Основная часть элементов-примесей в указанном кварце связана с Al (~63%). Кварциты Кизреки и Хизоваары отличаются более сложным составом. Полученные из них кварцевые концентраты содержат не менее 320 ppm примесей, основная часть их связана с Al, Na и K, т.е. полностью удалить плагиоклаз граничных размеров и частично кианит не удастся.

Наиболее полно изучены кварциты месторождения Метчангярви. Опыты по обогащению в лаборатории Института

геологии КарНЦ РАН показали, что во флотоконцентрате остается часть темноцветных минералов. Выход флотоконцентрата составил ~85% при содержании примесей 793 ppm. Обогащение кварцита по схеме, принятой при обогащении пегматита на фабрике Кемио, ухудшило качество кварцевого продукта (рис. 2).

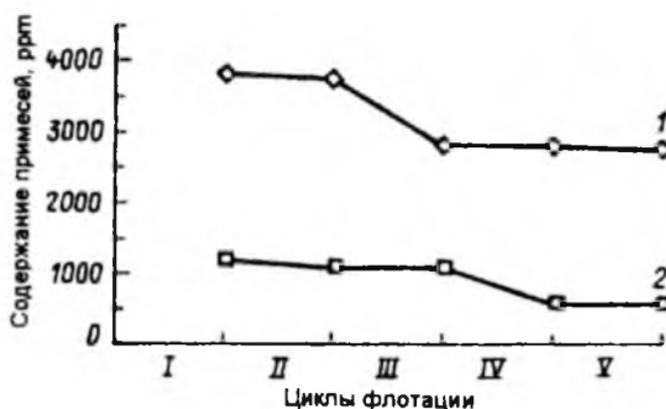


Рис. 2. Изменение качества концентрата кварца в процессе флотации по принципу непрерывного процесса:

1 – флотация; 2 – флотация с доочисткой от рутила

Введение операции по извлечению рутила с помощью различных реагентных рецептур существенно сказывается на качестве кварца. Положительные результаты дает использование сочетаний Hое F 2875-130 г/т и Hostaphat MDAH-40 г/т.

Граниты и кислые вулканиты неперспективны для получения чистого кварца, так как в них зерна кварца содержат многочисленные эмульсионные включения темноцветных минералов. При доводке кварца с целью удаления газовой-жидких включений термообработка при высокой температуре улучшает качество кварца в целом, однако режим процесса не изучен детально.

Исследования по обогащению кварцсодержащих пород Карелии и анализ кварцевых концентратов, полученных при их обогащении, показывают, что традиционный источник кварца из

пегматита уступает по качеству жильному кварцу. Качество кварца из кварцитов определяется их генезисом и при выборе объектов нужна детальная минералого-технологическая оценка.

ЛИТЕРАТУРА

1. *On Industria Minerals // Focus*, vol. 2, issue 4, British Columbia, 1996 - 4 p.
2. *Shchiptsov V.V., Scamnitckaya L.S. Astala. J.Quartz of Karelia (Russia)//Mineral Deposits: Research and Exploration*, A.A.Balkema/Rotterdam/Brookfield, 1997, pp. 751-753.
3. *Предварительная сравнительная оценка различных типов кварцевых проявлений Северной Карелии // В.В.Щипцов, Ю.Астала, Л.С.Скамницкая, В.С.Родионов, Т.Рантанен //Геолого-технологическая оценка индустриальных минералов и пород Республики Карелия и отдельных регионов Европейского континента. - Петрозаводск, 1997. - С 37-46.*
4. *Геология Карелии. - Л.: Наука, 1987. - 231 с.*
5. *Эйгелес М.А.* Некоторые вопросы теории флотации силикатов// Труды ВИМС, вып.6. - М., 1961. - 295 с.
6. *Классен В.И., Мокроусов В.А.* Введение в теорию флотации. - М.: Недра, 1959. - 636 с.
7. *Ревнивцев В.И.* Обогащение полевых шпатов и кварца. - М.: Недра, 1970. - 128 с.
8. *Алексеев В.С.* Теория и практика обогащения кианитовых руд. - М.: Наука, 1976. - 200 с.