

С учетом значений обоих показателей для каждого объекта рассчитывается интегральная оценка его относительной геолого-экономической значимости (по отношению к базовой стоимости). Для объектов I группы, весьма благоприятных для освоения, сумма корректирующих показателей принимается равной **2,75-2,25** ед.; для II группы, благоприятной для освоения – **2,25-1,50** ед.; для III группы, среднего уровня благоприятности – **1,50-0,75**; для IV группы, мало благоприятных для освоения – **<0,75** ед. В качестве примера приведен расчет интегрального показателя благоприятности освоения прогнозных ресурсов по Желаннинскому узлу (табл. 2).

Таблица 2

Расчёт интегрального показателя благоприятности освоения прогнозных ресурсов прозрачного кварца по Желаннинскому узлу

№№ пп	Определяющие параметры	Группа благоприятности	Показатель благоприятности
1	Масштабы минерализации	I	0,4
2	Категория запасов-ресурсов	I	0,4
3	Уровень разведанности	I	0,3
4	Интенсивность минерализации (выход концентрата)	I	0,35
5	Технология переработки сырья	I	0,4
6	Географо-экономические условия	III	0,3
7	Горнотехнические условия	III	0,2
Интегральная оценка благоприятности			2,35
Группа объектов по уровню благоприятности освоения			I

Разработанные интегральные показатели благоприятности освоения рекомендуется к применению при расчётах стартовой стоимости лицензируемых прогнозных объектов для определения первоначального взноса (бонуса). Реально предлагается увеличение этого взноса для проявлений I группы благоприятности. Для площадей с ухудшенными параметрами минерализации и условий размещения (группы III и IV) предлагается введение льготных экономических подходов. В том числе, для объектов с крайне неблагоприятными условиями освоения предлагается полное освобождение от первоначальных взносов за приобретение потенциального месторождения (бонуса). Возможны, видимо, и другие льготы для освоения объектов двух последних групп – освобождение от налогов на начальный период, снижение их в последующие годы освоения и т.д.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дегтярев В.С. Геолого-экономическая оценка месторождений твердых полезных ископаемых на ранних стадиях геологоразведочных работ. Москва. Изд-во «Недра». 1989. – 89с..
2. Гатов Т.А. Экономическая оценка месторождений цветных металлов. М: Издательство «Недра», 1975. – С. 229-241
3. Методика геолого-экономической переоценки запасов месторождений твердых полезных ископаемых по укрупненным технико-экономическим показателям (кроме месторождений угля) / М.Н. Денисов, В.П. Василенко, В.А. Алискеров, Н.И. Поздняков. М: ВИЭМС, 2002. – 30 с.
4. Методические рекомендации по анализу и оценке экономической эффективности геологоразведочных работ на твердые полезные ископаемые. ВИЭМС.Москва. 1979. – 53 с.
5. Методические рекомендации по разработке технико-экономических докладов и целесообразности детальной разведки месторождений твердых полезных ископаемых. ВИЭМС.Москва.1986. – С.10-86
6. Погребницкий Е.О., Терновой В.И. Геолого-экономическая оценка месторождений полезных ископаемых. Ленинград: Издательство «Недра», 1974. – С. 7-15,129-174.
7. Русанов Д.К. Экономическая оценка минеральных ресурсов. М: Изд. «Недра», 1987. – С.17-34, 51-62.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА КВАРЦЕВОГО СЫРЬЯ С ЦЕЛЬЮ ПРОГНОЗА ЕГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Быдтаева Н.Г., Киселева Р.А., Милеева И.М

ЦНИГРИ, г. Москва, bdt-aleks @ mail.ru

Технологические показатели сырья – совокупность признаков, характеризующих эффективность его обогащения: дробимость, раскрываемость минеральных ассоциаций, степень разделения на полезные и сопутствующие компоненты [1]*. Существует большое количество природных разновидностей кварцевого сырья, каждая из которых является отдельным технологическим типом (горный хрусталь, пьезооптический кварц, кварциты, кварцевые пески и др). Требования к природному сырью предъявлялись до настоящего времени

* Поскольку кварцевое сырье – практически мономинеральный агрегат, целью его обогащения является не разделение компонентов, а очистка кварца от примесей

только для пьезооптического кварца (отсутствие трещин, свилей, включений и двойников). Строгих качественных ограничений к остальному природному сырью нет, существующие ТУ определяют свойства предварительно обогащенного концентрата (кварцевой крупки) и различаются соответственно назначению кварца. Наиболее жесткие требования предъявляются крупке, используемой для плавки прозрачного кварцевого стекла (ТУ-5726-002-11496665-97). Здесь лимитируются содержания элементов-примесей, коэффициент светопропускания, количество высокотемпературной воды, содержания минеральных примесей. Не учтены, однако, два важных показателя – содержание структурных примесей и состав остаточной флюидной фазы, влияющие на качество стекла.

Федеральные программы развития электронной промышленности, дальнейшее развитие волоконно-оптических линий связи, ужесточение требований к качеству изделий из специальных кварцевых стекол ставят задачу обеспечения промышленности

высококачественными кварцевыми концентратами (особо чистым кварцем – ОЧК) [2]. Это привело к необходимости оперативной переоценки ресурсов и запасов природного кварцевого сырья, пригодного для получения ОЧК. Однако типизация природного кварца по свойствам, определяющим качество концентрата, в настоящее время не разработана.

Объекты изучения. Нами изучены свойства кварцевого сырья двух природных типов: а) гранулированного жильного кварца (достаточно традиционное сырье для плавочного кварца) – Уфалейский кварценосный район Среднего Урала, месторождения Кыштымское и Кузнечихинское; б) кварциты (нетрадиционное кварцевое сырье) – Восточный Саян, месторождение Бурал-Сардык.

Месторождения гранулированного кварца Уфалейского кварценосного района приурочены к породам гнейсо-амфиболитового комплекса [3], представляющего собой мегамеланж, связанный с долгоживущими тектоническими шовными зонами. В настоящее время Уфалейский комплекс представляют в качестве субдупцированной плиты, имеющей двучленное строение: западная часть край фундамента Русской платформы, а в восточной – вскрыт глубинный срез интенсивно меланжированной субдукционной зоны с метаморфизмом повышенных давлений [4]. Высокобарический комплекс обладает зональным строением. Восточная часть рассматривается как эклогит-сланцевая, западная – как эклогит-сланцево-мигматитовая.

Породы района слагают тектонические пластины: егустинскую (допалеозойские амфиболиты и палиогнейсы), слюдяногорскую (развитые по допалеозойским породам биотит-амфиболитовые blastsмилониты, габбро-амфиболиты, плагиопегматиты); куртинскую (бластомилониты дистен-силлиманитовой фациальной серии). Уфалейский кварценосный район с востока ограничен Главным Уральским глубинным разломом, с запада – Серебрянским разломом. В районе выделены два типа гранулированного кварца, перспективные для получения ОЧК: уфалейский (тонко-среднезернистый, неравномернозернистый, с зубчатыми границами) и кыштымский (средне-крупнозернистый равномернозернистый с ровными границами).

В Восточном Саяне (Республика Бурятия) выявлено и разведано месторождение кварцитов Бурал-Сардык. Оно располагается в тектоническом покрове, надвинутом на гранито-гнейсовый гарганский комплекс, приурочено к кремнисто-карбонатным породам иркутской свиты, слагающим одну из чешуй надвига. Вмещающие породы метаморфизованы в условиях зеленосланцевой и эпидот-амфиболитовой фаций. Основной промышленный интерес представляют участки метасоматической переработки осадочно-метаморфогенных кремневидных темных микрокварцитов, где формируются осветленные новообразования – «суперкварциты», отличающиеся повышенной химической чистотой [5].

Типоморфные свойства природного кварца. Наиболее важными типоморфными свойствами природного кварца, определяющими его технологические показатели, являются [6]:

1. Структурно-текстурные особенности;
2. Элементы-примеси в различных формах:
 - минеральной,
 - флюидной,
 - структурной (в кристаллической решетке кварца).

Структурно-текстурные особенности определяют степень дробимости кварца. Несмотря на то, что кварц составляет 90-98% исходного сырья, выход крупки при дроблении колеблется от 9,6 до 29,2 (Кузнечихинское месторождение) и 32,9 (Кыштымское месторождение). Причины малого выхода полезного компонента в настоящее время изучены недостаточно. По предварительным представлениям, агрегаты, в которых размеры зерен сопоставимы с размерами частиц получаемого концентрата ($0,5 \pm 0,1$ мм), характеризуются лучшей дробимостью. Равномернозернистые агрегаты с ровными границами зерен определяют меньшие потери при обогащении, чем неравномернозернистые. Дефектность структуры (наблюдаемые в зернах субструктуры) [7, 8] понижает предел упругости прочности измельченных частиц, что влечет за собой переизмельчение кварца и увеличение потерь при дроблении. Кроме того, дробимость кварца зависит от его текстурных особенностей (катаклазированнойности, разлистованности, трещиноватости) [7].

Пробы гранулированного кварца Кыштымского и Кузнечихинского месторождений представлены следующими разновидностями:

- кварц кыштымского типа: равномернозернистый, величина зерен от 1-2мм, границы ровные, изредка – ступенчатые (рис. 1);
- кварц уфалейского типа: неравномернозернистый, величина зерен 0,3-1,0мм, границы ступенчатые, реже зубчатые. Более крупные зерна встречаются реже, чем мелкие (рис. 2);
- кварц неравномернозернистый, зерна размером 0,1-4,0мм с извилистыми, зубчатыми, иногда – фьордовыми границами (рис. 3).

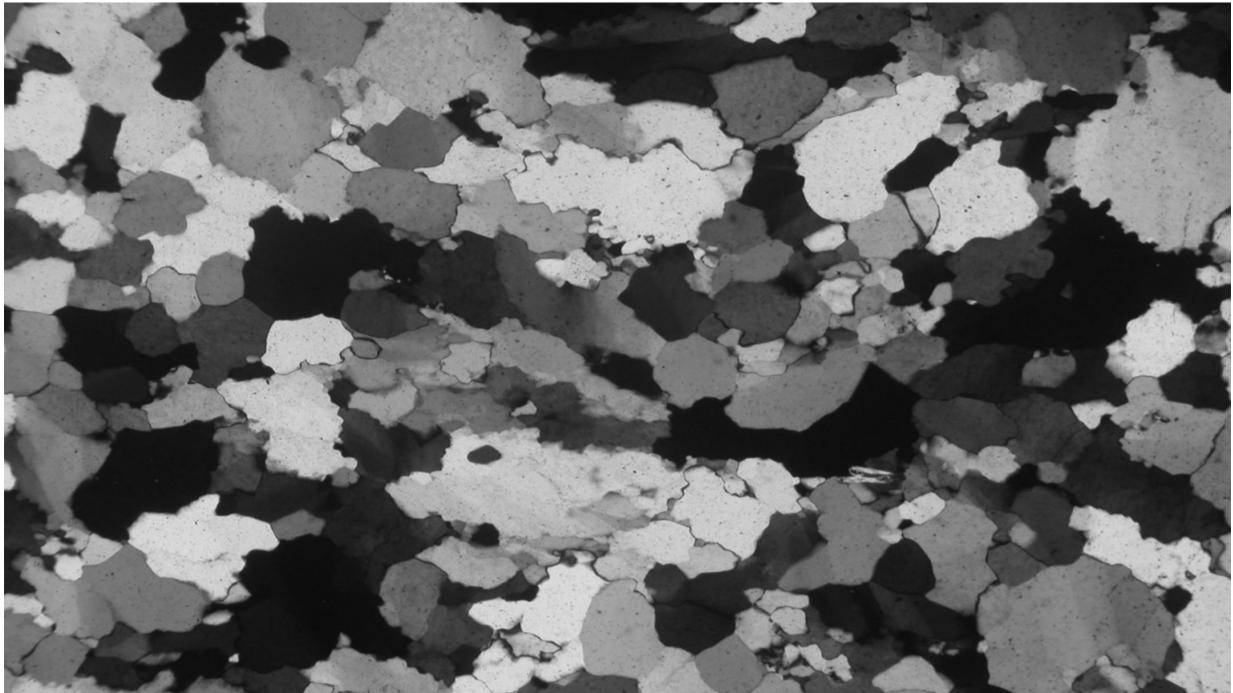


Рис. 1. Гранулированный кварц «уфалейского» типа. Кузнечихинское месторождение ж – 191; x2, николи +.

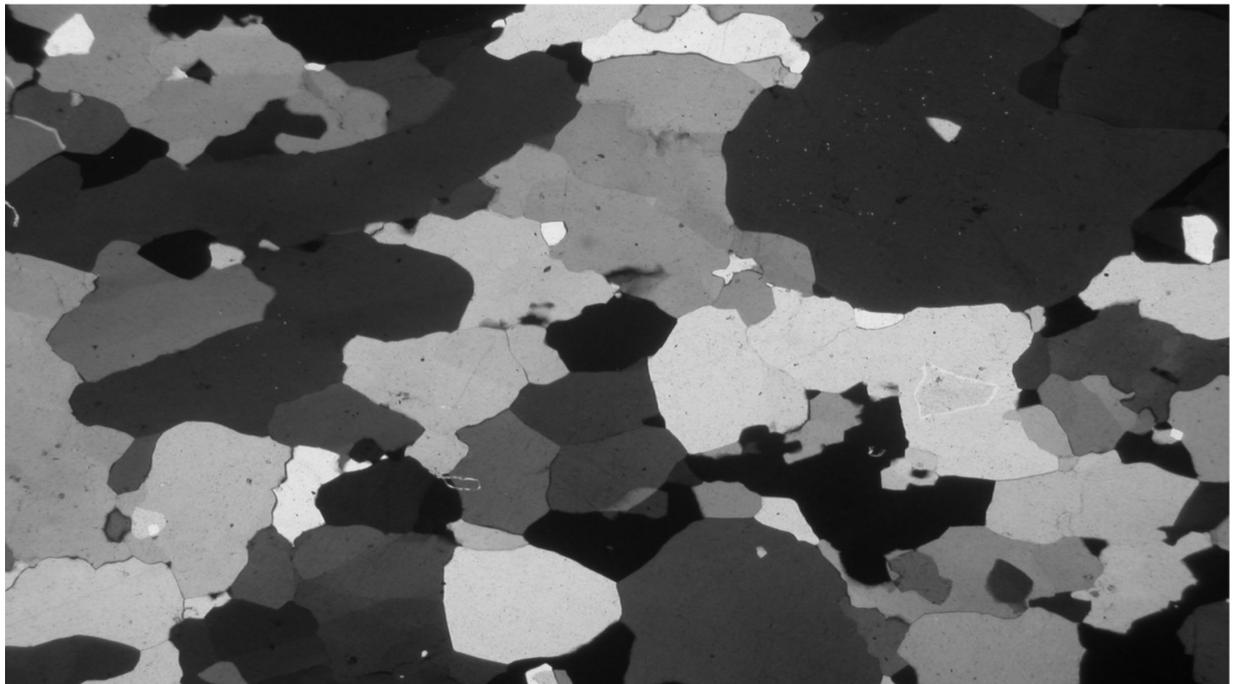


Рис. 2 Гранулированный кварц «кыштымского» типа. Кыштымское месторождение ж-175; x2, николи +

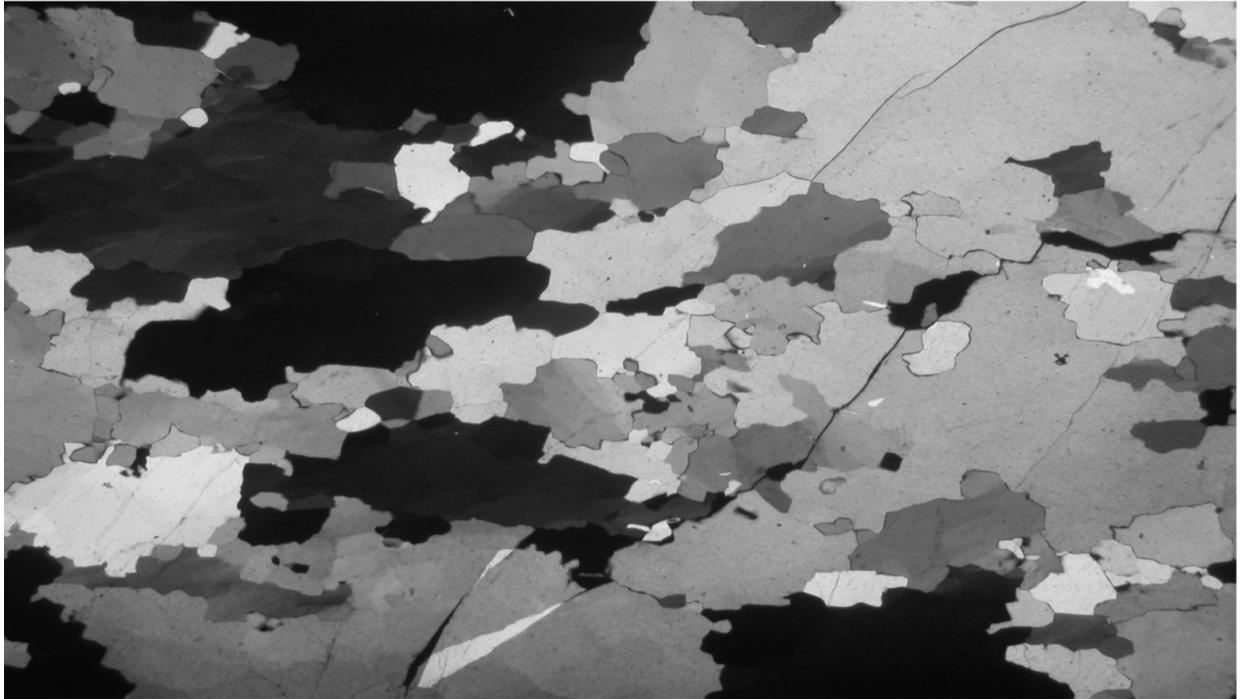


Рис. 3 Гранулированный неравномернозернистый кварц. Кузнечихинское месторождение ж-413; x2, николи +

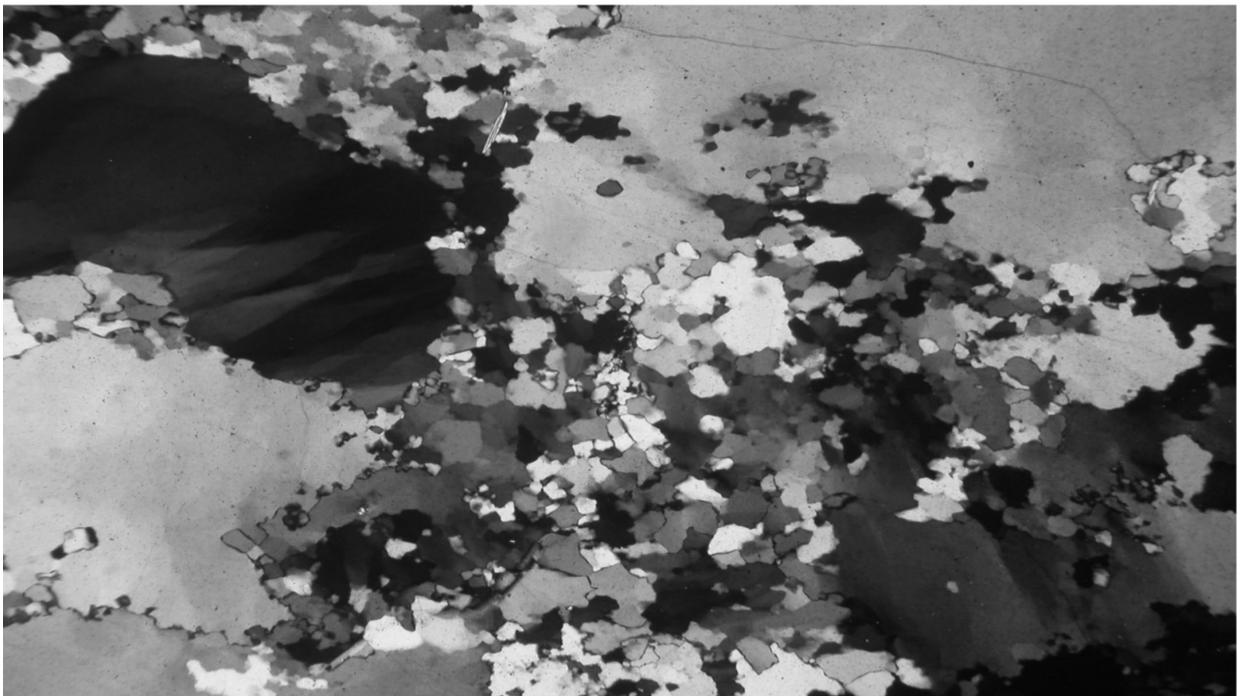


Рис. 4 Суперкварцит. Месторождение Бурал-Сардык; x2, николи +

Кварциты Восточного Саяна (суперкварциты) – породы неравномернозернистой структуры. Основная масса породы представлена агрегатом кварцевых зерен размером 0,1-0,4мм, с включениями зерен размером 1.5-2.0 x 3-4 мм обычно линзовидными, субпараллельно расположенными. Количество их от 5 – до 50% породы. Границы зерен ступенчатые, зубчатые, извилистые (рис. 4).

Минеральные примеси ограничивают светопропускание кварцевого стекла, понижает его однородность и прозрачность. Окрашенные участки в стеклах создают:

- окислы и гидроокислы железа, сульфиды тяжелых металлов (коричневые);
- рутил и другие титановые минералы (темно-зеленые);

– кальций и магний содержащие минералы (флюорит, кальцит, доломит, апатит, тальк – белесые участки «седого» стекла).

Бесцветные включения с дефектом двупреломления и рябь создают алюмосиликаты (слюды, полевые шпаты), а также эпидот, цоизит, гранат [9].

Современные технологии обогащения кварцевого сырья (термодробление, применение высокоинтенсивных и высокоградиентных магнитных сепараторов, современные методы флотации, высокотемпературного хлорирования и др.) позволяют освободиться практически от всех минеральных примесей [10, 11]. Не полностью удаляются только микроскопические иголки рутила. Рутил имеет более высокую температуру плавления, чем кварц. Это приводит к образованию пузырьков при перегреве расплава.

Изученный нами гранулированный кварц разных жил Кыштымского и Кузнечихинского месторождений (табл. 1) довольно сильно различается по составу минеральных примесей. Для Кыштымского месторождения характерен более сложный и разнообразный состав примесей, количество их большее, чем в кварце Кузнечихинского месторождения. Распространены карбонаты, сульфиды; рутил (крупные зерна) установлен только в жиле 175. Кварц Кузнечихинского месторождения более чистый, минеральные примеси в основном представлены слюдами, амфиболом, эпидотом. В единичном случае отмечен рутил.

Суперкварциты месторождения Бурал-Сардык бедны минеральными примесями, в них установлены единичные включения серицита, карбоната, гематита.

Газово-жидкие (флюидные) включения играют большую роль при технологическом переделе кварцевого сырья. Часть из них удаляется при термодроблении, наиболее мелкие могут сохраняться и после него. Как отражение количества газово-жидких включений в действующих ТУ приняты показатель светопропускания и содержание высокотемпературной воды. Однако показатель светопропускания зависит не только от количества включений, но и от трещиноватости, поэтому для более точного определения ГЖВ в исходном сырье нужны дополнительные характеристики. Рекомендуется оценивать декрептоактивность кварца, которая характеризует общее количество ГЖВ и их способность растрескиваться при термодроблении. Почти полное отсутствие пиков на декрептограммах кварца из жил 414, 175 и суперкварцитов БС-47 (рис. 5) характеризует малое содержание ГЖВ в кварце этих объектов.

Таблица 1

Минеральные примеси в различных типах кварцевого сырья

Месторождение	жила	Тип кварца	Кол-во примесей (%)	Состав примесей
Кыштымское	56	гранулированный кварц	1	Слюды, гидроокислы железа, полевой шпат, пирит, карбонат, актинолит
	175		3	Амфибол, слюды, сфен, рутил, апатит, сульфиды, карбонат, гидроокислы железа, полевой шпат
	314		2,3	Карбонат, гидроокислы железа, пирит
Кузнечихинское	191		0,5	Слюды, эпидот, лимонит
	192		0,9	Слюды, лимонит
	193		0,2	Слюды, полевой шпат, амфибол, рутил, везувиян, гидроокислы железа
	194		0,5	Слюды, амфибол, эпидот, карбонат, полевой шпат, гидроокислы железа
	195		0,1	Мусковит, полевой шпат, эпидот
	264-267		0,3	Слюды, амфибол, эпидот, полевой шпат, гранат
	280-284		0,4	Слюды, полевой шпат, эпидот, лимонит
	255		1	Полевой шпат, слюды, гидроокислы железа
	414		0,1	Слюды, лимонит, амфибол
Бурал-Сардык			суперкварциты	Ед.включения

Не менее важными характеристиками являются размеры и распределение включений, т.к. мелкие включения не растрескиваются, а переходят в стекло, ухудшая его качество при плавке. Для более точной оценки этих параметров Л.А.Данилевской [8] предложена методика анализа включений в шлифах и тонких пластинках с использованием измерительной сетки (объектив 60х, окуляры 6х). Этот простой и малозатратный метод позволяет выделить включения, удаляемые при термодроблении (0,01-0,03мм), отжиге до 1400-1550° (0,005-0,01мм) и практически не удаляемые (<0,005мм), оценить их количество и отбраковать трудно-обогатимое сырье.

Состав остаточной флюидной фазы в кварце также играет большую роль при получении стекла. Во-первых, в ней могут содержаться элементы-примеси (Na, K, Ca). Во-вторых, включения содержат H₂O, CO₂, СО и углеводороды. Выделение части воды и СО₂ происходит при низких температурах. При высоких температурах выделяются оставшаяся высокотемпературная вода и СО. Сырье с большим содержанием этих примесей не обеспечивает получения в роторных электропечах стекол с низким содержанием пузырьков [12]. При оценке концентрата состав флюидов в нем детально определяется масс-спектрометрическим методом [12]. На ранних стадиях геологоразведочных работ оценить количество воды и основных газов можно хромотографическим методом с нагреванием до 600° С.

На рис. 6 показаны результаты хроматографического анализа, проведенного Салазкиным А.Н. (ГЕОХИ РАН). Гранулированный кварц довольно четко подразделяется на две группы:

- в кварце уфалейского типа при относительно низком содержании воды и CO_2 почти всегда присутствует CO (на Кузнечихинском месторождении – больше, на Кыштымском – меньше);
- в кварце кыштымского типа содержание воды и CO_2 больше, CO практически отсутствует;
- в суперкварцитах месторождения Бурал-Сардык при небольшом содержании воды количества CO_2 и CO близкие. Содержания CO по сравнению с гранулированным кварцем Урала повышены. Следует обратить внимание и на то, что сумма углеводородов также существенно больше, чем в гранулированном кварце.

Структурные примеси являются основным препятствием к использованию кварцевого сырья, т.к. при обогащении они не удаляются [8, 10]. Для их изучения широко пользуются весьма информативными методами: ЭПР, ИКС [13].

Однако при изучении дефектности кварца с их помощью возникает ряд методических трудностей, увеличивающих время выполнения и стоимость анализов. Для качественной оценки структурных примесей могут быть использованы экспрессные и малозатратные термо- и рентгенолюминесцентные методы, качество которых согласуется с ЭПР [14]. Изучение люминесцентных свойств гранулированного кварца Кыштымского и Кузнечихинского месторождений, а также кварцитов месторождения Бурал-Сардык [15] позволило разделить изученное сырье на группы (табл. 2)

I – практически не содержащее структурных примесей;

II-III – содержание небольшого количества структурных примесей;

IV – с большим содержанием структурных примесей;

в I и II группу входят, в основном, пробы кварца уфалейского типа, в III и IV – кыштымского; кварциты встречаются во всех группах.

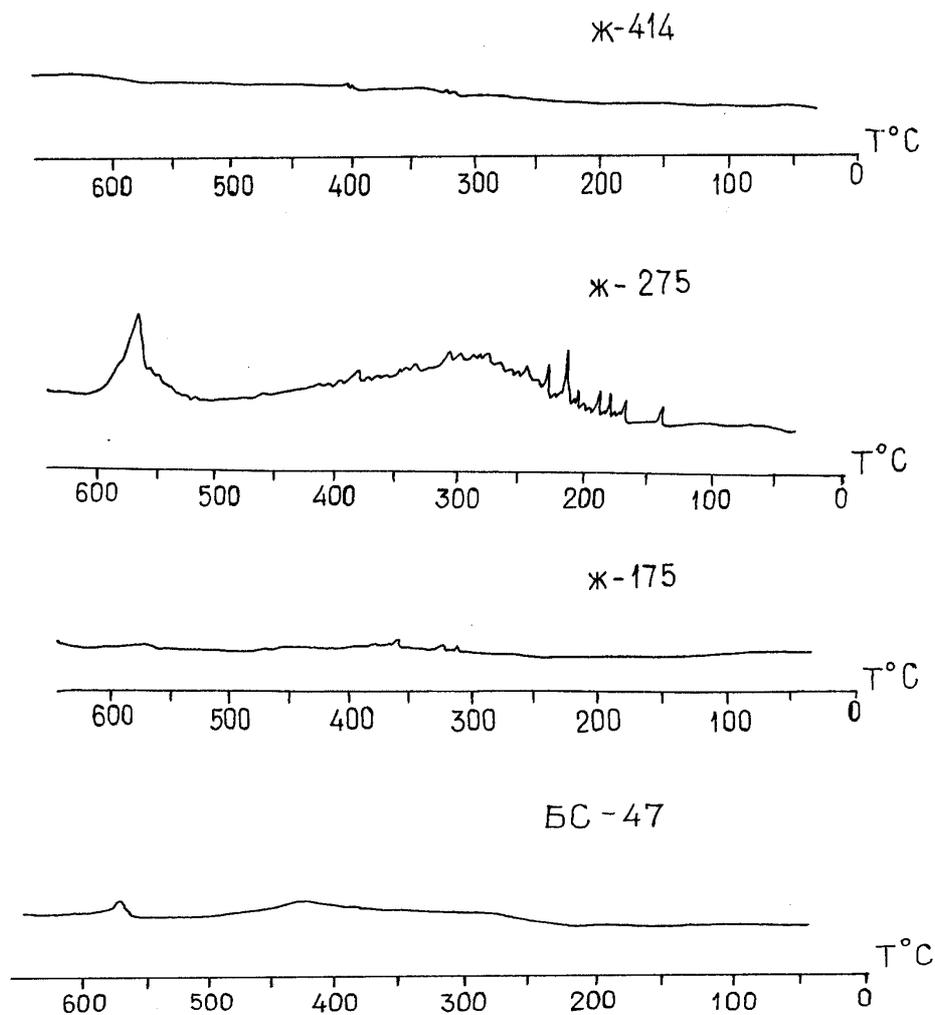


Рис. 5 Декреттограммы гранулированного кварца Уфалейского кварценосного района (ж-414, ж-175 – кварц уфалейского типа, ж-275 – кыштымского типа и суперкварцитов Восточного Саяна (БС-47))

Характеристика спектров люминесцентного излучения различных типов кварцевого сырья

Тип спектра	Характеристика спектра	Месторождение № жил	ТЛ (t°C)			РЛ (λ, им)		
			100-120	130-150	200	РЛ ₁ 480-570	РЛ ₂ 360-380	РЛ ₂ (370) РЛ ₂ (500)
I	Основную роль играют собственные дефекты (излучение на λ 450-460 Нм, 620, 680-700 Нм) После прогрева до 400°C появляется РЛ 360-380 нм при одновременном частичном разрушении полосы на λ 450-460 Нм. На кривой ТЛ макс. 100-110°C	Кузнечихинское: ж-192,	15			18	150	8,3
		ж- 193, ж-195; Кыштымское: ж- 179 Бурал-Сардык (БС): 47 Кузнечихинское:ж- 414	27 124 23			20 28 17 15 20	130 225 200 114 225	6,5 8 11,8 7,6 11,2
II	Тип переходный между I и III типами	Кузнечихинское ж-413	24			35	140	4
		ж-191 Кыштымское ж-170	6	8 50		25 27	100 150	4 5,5
III	Присутствуют собственные дефекты, но наиболее интенсивно проявлены примесные центры AlO ₄ ⁺ /Li ⁺ . Максимум излучения на λ=470-520 Нм. После прогрева до 400°C полоса РЛ частично разрушается. На кривой ТЛ макс. 130-150°C.	Кыштымское ж-314		166		100	120	1,2
		ж-175 Бурал-Сардык Бс-2	55 1	82 1	2	110 15	165 15	1,5 1
IV	В типе снижена роль собственных дефектов, что проявляется в более слабой интенсивности излучения в полосе с λ=370 Нм в спектрах РЛ 2. Повышенная роль AlO ₄ ⁺ центров с компенсаторами особенно интенсивно проявляется при повторных облучениях т.е. при увеличении времени рентгенизации, интенсивность РЛ 480-520 Нм при этом возрастает в 2-3 раза, в то время как РЛ на λ=370 Нм сильно падает.	Кыштымское ж-3 Бурал-Сардык Бс-1	1	65 1	2	52 18	25 9	0,5 0,5

Примечание: ТЛ- термолюминесценция после облучения рентгеном; РЛ₁- рентгенолюминесценция исходных образцов, РЛ₂ – рентгенолюминесценция образцов, прокаленных до 400⁰ РЛ₂(370)/РЛ₁(500) – характеризует отношение собственных дефектов матрицы SiO₂ к дефектам, обусловленным наличием в структурной решетке центров AlO₄⁺, компенсированных Li⁺ (возможно и Na⁺, Cu⁺, Ag⁺, H⁺)

Основные выводы. Исходя из характеристик, полученных при изучении различных типов кварцевого сырья, можно разделить их по степени перспективности для получения высококачественного концентрата. Наиболее перспективным представляется гранулированный кварц уфалейского типа. В нем содержится меньшее количество структурных примесей и газовой-жидких включений. Размеры зерен гранулированного кварца, соизмеримые с размерами крупки, и довольно простые границы зерен позволяют ожидать достаточный выход крупки после обогащения. Вторым по перспективности, вероятно, следует считать суперквацицы месторождения Бурал-Сардык (типа БС-47) с небольшим содержанием структурных и минеральных примесей, газовой-жидких включений. Понижает качество сырья повышенное СО и углеводородов в составе остаточной флюидной фазы и неравномернозернистая структура кварцитов.

Гранулированный кварц Кыштымского типа, несмотря на ожидаемые малые потери при дроблении, характеризуется большим содержанием структурных примесей и газовой-жидких включений.

Таким образом, предварительная оценка природного кварцевого сырья на ранних стадиях геологоразведочных работ может быть проведена с помощью комплекса малозатратных экспресс-методов. Комплекс включает петрографический, минералогический, хроматографический термо- и рентгенолюминесцентные методы и позволяет отбраковать труднообогатимое сырье, избегая неоправданных затрат на обработку технологических проб и опытные плавки заведомо непригодного сырья.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стандарт Российского геологического общества. Твердые полезные ископаемые и горные породы. Геолого-технологическое картирование. СТО РосГео 09-007-98 М. 1998, 41 с.
2. Серых Н.М., Федотов В.К. Достижения и проблемы кварцевой подотрасли в преддверии 300-летия геологической службы России.// Разведка и охрана недр. 1999, №3, с. 2-3
3. Савичев А.Н. Уфалейский кварцево-жильный район (закономерности размещения кварца различных генетических типов, минералого-технологическое картирование и прогноз). Автореферат кандидатской дисс. Екатеринбург, 2005, 24 с.

4. *Белковский А.И.* Кыштымское месторождение прозрачного жильного кварца: геодинамическая, «возрастная» позиция и генезис кварцевых жил (Средний Урал). // Матер. межд. семинара «Кварц, кремнезем». Сыктывкар, 2004, с.189-191.
5. *Воробьев Е.И., Спиридонов А.М., Непомнящих А.И., Кузьмин М.И.* Сверхчистые кварциты Восточного Саяна (Республика Бурятия). Доклад РАН 2003, т.390 №2, с. 219-223.
6. Минералургия жильного кварца. Ред. Кузьмин В.Г., М. Недра, 1999, 255 с.
7. *Кораго А.А., Козлов А.В.* Текстуры и структуры жильного кварца хрусталеносных областей. Л.Недра, 1988, 159 с.
8. *Данилевская Л.А.* Геология, минералогия проявлений кварцевого сырья и критерии прогноза его качества на территории Карельского кратона. Кандидатская дисс., КНЦ РАН, Петрозаводск, 2003, 188 с.
9. Методические рекомендации по оценке качества кварцевого сырья для плавки и оптического стекловарения. М. 1983, 69 с.
10. *Jung L.* High puritg quartz. Quartz Technology Jnc. New jersey, 1992, 550 с.
11. *Данилевская Л.А., Скамницкая Л.С., Щитцов В.В.* Кварцевое сырье Карелии. Петрозаводск, 2004, 220с.
12. *Крейсберг В.А.* Некоторые особенности вскрытия и анализа газово-жидких примесей в кварце. Разведка и охрана недр. 1999, №3. С. 21.
13. Природный кварц и его физико-химические свойства. М. Недра, 1985, 124 с.
14. *Вотьяков С.Л., Крохалев В.Я., Пуртов В.К., Краснобаев А.А.* Люминесцентный анализ структурного несовершенства кварца. Екатеринбург, 1993, 69 с.
15. *Борозновская Н.Н., Быдтаева Н.Г.* Люминесценция как индикатор микродефектности при оценке качества кварцевого сырья.// Рудные месторождения. Минералогия. Геохимия. Томск, 2003, вып. 3, с. 12-27.

СТРУКТУРНЫЕ ПРИМЕСИ В КВАРЦЕ КАК ВАЖНЫЙ КРИТЕРИЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА КВАРЦЕВОГО СЫРЬЯ И ПРОГНОЗА ЕГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Данилевская Л.А.¹ Раков Л.Т.²

¹Институт геологии КарНЦ РАН,
²ВИМС

Основными показателями качества кварцевых концентратов являются содержание элементов-примесей в кварце и газонасыщенность. При этом элементы-примеси могут входить в кварц в виде минеральных, флюидных и структурных примесей. В последнее время в связи с переходом промышленности на новые технологии наплава кварцевых стекол и ужесточением требований к качеству конечной продукции резко повысились требования к кварцевым концентратам по общему содержанию элементов-примесей. Так для наплава кварцевых труб в печах ПНД содержание Al<25 ppm, Ti<0,8 ppm, Fe<0,8 ppm, сумма щелочей <6,0 ppm, для производства формоустойчивых реакторов для эпитаксиальных процессов содержание Al<25 ppm, Ti<1,2 ppm, Fe<0,8 ppm, сумма щелочей <6,0 ppm, для производства кварцевых тиглей для выращивания монокристаллического кремния содержание Al<10 ppm, Ti<1,0 ppm, Fe<0,3 ppm, Cu<0,5 ppm, Na-1 ppm, K-1 ppm, Li-0,5 ppm [12].

В свою очередь развитие современных технологий обогащения кварцевого сырья позволяет говорить о возможности практически полного удаления минеральных примесей в кварце, за исключением субмикроскопических минеральных примесей, например, волосовидных включений рутила. Примером этому является ЮТА-кварц (мировой стандарт высокочистого кварца), который производится из плагио-пегматито-гнейсов в результате технологической обработки сырья с применением высокоинтенсивной магнитной сепарации, флотации, высокотемпературного хлорирования [1].

Структурные примеси в кварце при современных технологиях переработки являются практически неудаляемыми, поэтому их концентрация фактически определяет предел обогатимости кварцевого сырья. Именно поэтому изучение структурных примесей в кварце является одной из важнейших задач при изучении обогатимости кварцевого сырья на стадиях поисково-оценочных работ.

Несмотря на то, что кварц является устойчивым минералом к изоморфизму и характеризуется стабильной структурой, в его решетку входят структурные примеси, *концентрации* которых могут значительно варьировать. Количество структурных примесей в кварце зависит от его генезиса и определяется в основном термодинамическими условиями образования, химизмом растворов, скоростью роста [4, 5, 7, 13 и др.].

При изучении структурных примесей в кварце наиболее эффективным является метод электронного парамагнитного резонанса (ЭПР), позволяющий характеризовать закономерности распределения и состав парамагнитных дефектов в кварце. Существует несколько классов структурных дефектов, обусловленных причинами их вызывающими [8]:

1) генетические дефекты – возникают в процессе минералообразования за счет внедрения изоморфных ионов или возникновения нарушений кристаллической структуры типа вакансий и междоузельных атомов Si и O. Наиболее типичные изоморфные примеси – Al, Ti, Ge, с которыми связано образование различных парамагнитных центров в зависимости от иона-компенсатора. К данному классу также относятся центр O₂³⁻, кото-