

Критерии оценки сырьевой базы промышленного производства высокочистого кварца на основе анализа кварца Кыштымского месторождения и других действующих мировых производителей

Леонид Вадимович КУЗЬМИН^{1*}

Вадим Георгиевич КУЗЬМИН

Юрий Алексеевич ПОЛЕНОВ^{2**}

¹АО «Кыштымский ГОК», Челябинская область, Россия

²Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия

Аннотация

Актуальность. Высокочистый кварц (ВЧК) является одним из важных материалов для высокотехнологичной промышленности. Несмотря на широкую распространенность месторождений кварца, лишь немногие из них могут быть использованы для производства ВЧК. Используемые запасы такого кварца в России имеют ограниченные объемы, в связи с чем актуальным является вопрос поиска и вовлечения новых объектов в качестве стабильной основы для производства ВЧК, в том числе из ранее разведанных месторождений

Целью работы является определение критериев оценки кварцевых месторождений в качестве потенциальной сырьевой базы для производства ВЧК на основе анализа данных сырьевой базы действующих производителей ВЧК (Русский кварц, Sibelco, The Quartz Corp.), а также компаний, выпускающих данную продукцию ранее.

Методология. Проведен анализ свойств кварца из месторождений ведущих мировых производителей ВЧК, даны общие генетические и экономические характеристики таких месторождений. Используются методы сравнения, аналогий, логический анализ, метод экспертных оценок. В качестве оценки качественных характеристик кварца использованы химико-спектральный анализ (ICP-OES), измерение коэффициента светопропускания, ситовой гранулометрический анализ.

Результаты. Определены шесть основных критериев оценки кварцевого сырья и их значения для оценки месторождений кварца в качестве сырьевой базы промышленного производства ВЧК.

Выводы. Матрица критериев, представленная в данной работе, позволяет быстро и с минимальными затратами проводить экспресс-оценку кварцевых месторождений в качестве потенциальной сырьевой базы для производства ВЧК. Такая матрица может быть использована не только при оценке новых объектов, но и для ревизии отчетов по ранее разведанным месторождениям с учетом современных требований промышленности.

Ключевые слова: высокочистый кварц, ВЧК, оценка, критерии качества, месторождение, производители, высокотехнологичная промышленность, сырьевая база, Кыштымское месторождение, HPQ, Sibelco, The Quartz Corp, hi-tech.

Введение

Широко используемый термин «высокочистый кварц (ВЧК)», описывающий продукт, получаемый из кварцевой руды, определяется не только генетическими или минералогическими свойствами кварцевого сырья, но и целым комплексом параметров: применимость в различных отраслях промышленности, технико-экономические параметры месторождений, используемых для производства ВЧК, производственный цикл, технологические возможности обогащения кварцевой руды и др. Эти параметры для ВЧК отличаются изменчивостью во времени, в связи с чем применимость термина «высокочистый кварц» периодически претерпевает изменения.

Учитывая сказанное, потенциальную сырьевую базу для производства ВЧК необходимо рассматривать в раз-

резе генетических, минералогических, технологических и коммерческих критериев.

Поскольку само производство ВЧК требует значительных капитальных вложений и имеет длительный цикл возврата инвестиций, определение правильного источника сырья среди широчайшего ряда кварцевых месторождений имеет критически важное значение. Цена ошибки и неправильного выбора на стадии организации выпуска ВЧК очень велика, что создает необходимость создания матрицы оценки кварцевого сырья, позволяющей быстро и с невысокими затратами предварительно определить вероятность использования того или иного кварцевого объекта для производства ВЧК.

✉ kgok@yandex.ru

**fgg.gl@m.ursmu.ru

На основании многолетнего опыта АО «Кыштымский ГОК» (начиная с 1966 г.) по освоению Кыштымского месторождения гранулированного кварца, а также анализа данных по другим мировым производителям ВЧК, выделяются следующие критерии при предварительной оценке технологической пригодности объектов сырьевой базы для производства ВЧК.

1. Генетические критерии

1.1. Тип кварцевого сырья

В СССР, а позднее и в России, приоритетным типом кварцевого сырья для производства ВЧК традиционно является жильный кварц. Проведенные значительные работы по поиску, опробованию и промышленной эксплуатации кварцевых жил позволили накопить большой объем данных по различным объектам. Мировой опыт показывает, что помимо жильного кварца в производство ВЧК также может быть вовлечен кварц месторождений иного генезиса. К подобным месторождениям относятся разновидности аляскитовых гранитов и пегматитов [1].

Такая оценка подтверждается тем, что все промышленные поставщики, как действующие на момент написания данной статьи, так и поставившие ВЧК в последние 15 лет, опирались на следующие типы сырья:

- аляскитовые граниты (Sibelco, бывш. UNIMIN);
- пегматиты (Sibelco, The Quartz Corp, Norwegian Crystallites AS);
- жильный кварц (ООО «Русский кварц», АО «Полярный кварц», АО «Кыштымский ГОК», ПО Уралкварцсамоцветы).

Другие типы кварцевого сырья (кварцевые пески, кварциты и др.) по совокупности признаков в большей степени считаются технологически или экономически малопригодными для производства ВЧК. В частности, кварц в кварцитах, несмотря на достаточно высокую исходную химическую чистоту и содержание в рудной массе более 98 %, часто имеет относительно мелкозернистую гранулометрию и находится в тесных сростках с другими породообразующими минералами [1], в том числе с большим количеством включений внутри зерен, что не позволяет современным методам промышленного обогащения эффективно достигать необходимого качества. Горный хрусталь, ранее являвшийся одним из основных типов сырья для производства ВЧК, на сегодняшний день также не рассматривается для промышленного использования [1].

Необходимо отметить также, что пригодность кварцевой руды для производства высокочистых кварцевых концентратов далеко не всегда определяется минимальным содержанием сопутствующих минералов в массе руды, т. е. чем более мономинеральна кварцевая руда, тем больше вероятность того, что кварц пригоден для производства ВЧК. С этим, в частности, связано большое количество негативных попыток тестирования объектов молочно-белого жильного кварца, порой отличающегося крайне низким содержанием минеральных примесей (содержание кварца на уровне 99 % в жильной массе), а также высокой химической чистотой. Практика показывает, что мономинеральность рудной массы не может служить основным критерием оценки в случае сырьевой базы ВЧК. Например, в руде месторождения Spruce

Pine (месторождение, на котором базируются компании Sibelco (США) и The Quartz Corp (США)), минерализация достигает 75 % [2–4], т. е. содержание полезного компонента существенно меньше содержания минеральных примесей.

Решающую роль в пригодности кварцевого сырья для производства ВЧК играет не столько качество рудной массы в целом, сколько параметры качества и однородность свойств слагающих ее кварцевых зерен.

2. Минералогические и технологические критерии

2.1. Параметры качества кварца (примеси различного характера в слагающих зернах кварца и в самой кварцевой руде)

Примеси в природном кварце и кварцевой руде, определяющие качество кварца и его применимость в качестве ВЧК, с технологической точки зрения можно разделить на следующие виды [5, 6]:

Газово-жидкие включения (ГЖВ). Наличие ГЖВ в кварце определяется захватом флюидов в процессе роста зерен кварца (первичные включения), а также при залечивании трещин в уже существующих зернах минерализованными растворами (вторичные включения) [1, 5]. Содержание газово-жидких включений, прежде всего, определяет качество получаемого из ВЧК кварцевого стекла в части таких дефектов, как наличие пузырей, кластеров пузырей, капилляров и др., и является таким же важнейшим параметром, как и химическая чистота кварца. Степень поражения кварцевого сырья газово-жидкими включениями может служить для выделения двух его принципиально различных типов: молочно-белого и прозрачного [5]. Экономически обоснованных обогатительных операций, позволяющих получить прозрачное кварцевое стекло из молочно-белого кварцевого сырья, в настоящее время не существует [6].

Структурные примеси и минеральные микропримеси в зернах кварца. Структурные примеси – это элементы-примеси, внедренные в кристаллическую решетку природного кварца. В основном такими элементами являются Li^+ , Na^+ , K^+ , Al^{3+} , Ti^{4+} , Fe^{3+} , Fe^{2+} , V^{3+} , P^{5+} а также H в форме OH^- и молекулярной воды [4].

Минеральные микропримеси в зернах кварца – это включения сторонних минералов размером менее 1 мкм [6], захваченных либо сформировавшихся внутри зерен в процессе роста и последующей перекристаллизации. Минеральный состав таких включений весьма многообразен и, как правило, зависит от состава вмещающих пород и условий формирования кварцевого месторождения.

Минеральные примеси макроуровня, входящие в состав кварцевой руды. Эту группу примесей определяют минеральные включения, слагающие кварцевую рудную массу наряду с кварцем. Они представлены отдельными зёрнами и сростками сторонних минералов, сростками с зёрнами кварца, пленками и примазками на поверхности кварцевых зерен, фрагментами вмещающих пород, в том числе захваченных во время формирования кварцевых тел и пр. Главная отличительная черта минеральных примесей – то, что они могут быть отделены от зерен кварца путем применения стандартных процессов обогащения. Так же, как минеральные микропримеси, примеси макроуровня могут иметь разнообразный состав и зависеть от состава вмещающих пород [5].

Поскольку газовой-жидкие включения, структурные примеси и минеральные микропримеси практически невозможно удалить без полного разрушения кварцевого зерна, их содержание в кварце служит критерием пределов обогатимости кварцевого сырья и, соответственно, возможности применения в производстве ВЧК. Содержание ГЖВ определяет уровень дефектов в получаемом из ВЧК кварцевом стекле в виде пузырей и капилляров, а структурные примеси – предельно достижимую химическую чистоту ВЧК.

Минеральные примеси макроуровня могут быть удалены с помощью современных методов обогащения практически полностью. Их количество и состав определяют оптимальную технологическую схему обогащения кварцевого сырья.

В практике для характеристики чистоты собственно кварца используют термин «монофракция». Под монофракцией понимаются тщательно отобранные кварцевые индивиды с очищенной поверхностью. Гранулометрический состав монофракции должен соответствовать крупности исходного сырья, подготовленного для обогащения. Получение кварцевых концентратов более высокого качества, чем монофракция, традиционными методами обогащения не представляется возможным [6] (за исключением применения метода горячего хлорирования). Дефакто выделение монофракции представляет собой моделирование максимально обогащенного материала, полностью освобожденного от минеральных макропримесей.

Анализ содержания ГЖВ и химического состава монофракции позволяет сделать вывод о пригодности кварца для производства ВЧК с очень высокой степенью достоверности и исключить технологические факторы, влияющие на качество ВЧК.

Содержание газовой-жидких включений. В отечественной практике для измерения содержания ГЖВ используется метод измерения коэффициента светопропускания (Т, %) зерен кварца в иммерсионной жидкости (Методика ГосНИИКС ТУ 21-РСФСР-790-80). Коэффициент светопропускания кварца, используемого для производства ВЧК, должен быть не менее 80 % [7]. Для примера, коэффициент светопропускания кварца используемых кварцевых объектов из месторождений Spruce Pine и жилы № 175 Кыштымского месторождения, находится в диапазоне 84–86 % (табл. 1).

Необходимо отметить, что основная масса ГЖВ в некоторых типах сырья, например в гранулированном

жильном кварце, локализована в межзерновом пространстве и вдоль внутригранулярных трещин [5, 8], легко вскрывается и удаляется при обогащении. Частично ГЖВ, локализованные в зернах кварца, могут также вскрываться при процессах прокаливания, однако эффективность таких операций незначительна.

Химический состав. Химический состав монофракции в основном определяется содержанием структурных примесей и микропримесей. Влияние ГЖВ на химический состав при светопропускании более 80 % незначителен в связи с очень малым количеством таких включений.

В зависимости от направления применения потребители предъявляют различные требования к химической чистоте ВЧК, но в целом текущие стандарты качества говорят о том, что общее содержание нормируемых элементов-примесей не должно превышать 20 г/т. При этом некоторые отрасли лимитируют содержание отдельных элементов в очень ограниченных пределах – например, содержание железа в ВЧК, используемых в фотовольтаике, не должно превышать 0,5 г/т, а содержание бора и фосфора – не более 0,1 г/т. Для полупроводниковой промышленности – содержание железа должно быть не более 0,2 г/т, а содержание меди, хрома, марганца и никеля для наиболее критичных приложений в полупроводниковой промышленности должно быть менее 0,005 г/т по каждому из этих элементов.

Ранее чистота монофракций и промышленных сортов ВЧК весьма отличалась в связи с несовершенством технологии обогащения. Визуальный анализ наиболее очищенных сортов ВЧК в настоящее время показывает практически полное отсутствие минеральных примесей макроуровня, что говорит о достижении максимального уровня очистки от макропримесей существующими технологическими решениями и равенстве качества между такими концентратами и монофракциями. При этом общая химическая чистота ВЧК достигла того же уровня, что у искусственных кристаллов кварца (ИКК), выращенных гидротермальным методом, и есть основания полагать, что уровень содержания суммы примесей 7–8 г/т является предельным для ВЧК, поскольку о промышленных месторождениях с более чистым кварцем для ВЧК на сегодняшний день неизвестно.

Химический состав и сумма примесей в наиболее очищенных сортах ВЧК различного генезиса, произведенных ведущими производителями в 2023 г. (без приме-

Таблица 1. Результаты замеров светопропускания в образцах различных сортов ВЧК из месторождения Spruce Pine и жилы № 175 Кыштымского месторождения

Table 1. Results of light transmission measurements in samples of various grades of HPQ from the Spruce Pine deposit and vein no. 175 of the Kyshtym deposit

Месторождение	Тип сырья	Производитель	Сорт	Светопропускание Т, %
Spruce Pine	Пегматиты	The Quartz Corp	NC4A	84,5
Spruce Pine	Аляскитовые граниты	Sibelco	IOTA 8	84,8
Жила № 175 Кыштымского месторождения	Жильный кварц	Кыштымский ГОК	RQ-2K	85,1

Таблица 2. Химический состав максимально обогащенного ВЧК (не прошедшего горячее хлорирование) ведущих мировых производителей и искусственных кристаллов кварца производства АО «Южноуральский завод «Кристалл», г. Южноуральск, г/т
Table 2. Chemical composition of the most enriched HPQ (not subjected to hot chlorination) from the world's leading manufacturers and artificial quartz crystals produced by AO Yuzhnouralsk Plant Kristall, Yuzhnouralsk, ppm

Элемент	Производитель/тип сырья/сорт			
	Sibelco [9]	Русский кварц [10]	The Quartz Corp [11]	Завод Кристалл [12]
	Аляскитовые граниты	Жильный кварц	Пегматиты	ИКК
	IOTA 4	RQ-2K	NC4A	Химически чистый кварц
Al	8	3,9	13	< 5,0
B	< 0,05	0,07	< 0,1	
Ca	0,7	0,12	0,5	< 0,6
Cr	0,007	< 0,01	< 0,01	< 0,1
Cu	0,004	< 0,010	< 0,01	< 0,1
Fe	0,3	0,2	0,2	< 0,5
K	0,4	0,13	0,5	< 0,5
Li	0,2	0,3	0,4	< 2,0
Mg	0,07	0,05	< 0,1	< 0,1
Mn	0,013	0,004	< 0,1	< 0,1
Na	1,0	0,3	0,8	< 2,5
Ni	0,002	< 0,01	< 0,01	< 0,1
Ti	1,4	2,9	1,2	< 0,4
Сумма примесей	< 12,1	< 8,0	< 16,9	< 12,0

Таблица 3. Размер слагающих зерен в месторождениях, используемых производителями ВЧК
Table 3. Sizes of constituent grains in deposits used by HPQ producers

Месторождение	Производитель	Тип сырья	Размер слагающих зерен
Spruce Pine	Sibelco, The Quartz Corp	Пегматиты	Средний размер > 1,25 мм [3]
Spruce Pine	Sibelco	Аляскитовые граниты	Средний размер 1,25 мм [3]
Жила № 175 Кыштымского месторождения	Кыштымский ГОК	Жильный кварц	Средний размер зерен 1,2 мм; 20–35 % зерен размером 2–5 мм, до 60–80 % – 0,1–0,4 мм [13]
Nedre Oyvollen	Norwegian Crystallites AS	Пегматиты	Средний размер 6 мм [1]

нения метода горячего хлорирования), и искусственных кристаллов кварца производства АО «Южноуральский завод «Кристалл» приведен в табл. 2.

2.2. Размер зерен кварца в рудной массе

Помимо собственно химической чистоты и отсутствия ГЖВ необходимо принимать во внимание размер кварцевого зерна. Стандартный гранулометрический состав ВЧК на текущий момент определяется основной фракцией +75–300 мкм. Средний размер слагающих зерен не должен быть существенно меньше 200 мкм. В противном случае после механической дезинтеграции в концентрате будут присутствовать конгломераты из нескольких «нераскрытых» зерен, что существенно повышает вероятность присутствия минеральных примесей в межзерновом пространстве таких конгломератов, которые не удаляются в последующих процессах обогащения и ведут к потере качества ВЧК. Информация по размеру кварцевых зерен в известных месторождениях ВЧК приведена в табл. 3.

3. Коммерческие критерии

3.1. Однородность (гомогенность) кварца и кварцевой руды

Однородность параметров качества кварца (прежде всего параметров химического состава, содержания газовой-жидких включений и гранулометрии) во всем объеме обрабатываемого объекта являются одним из важных критериев при рассмотрении месторождения в качестве сырьевой базы производства ВЧК. Это обуславливается запросом потребителей, связанным с нежелательностью отклонений в параметрах качества поставляемых ВЧК.

Тестирование нового кварцевого сырья и согласование спецификаций химического состава связаны с длительными и дорогостоящими процедурами сертификации (в полупроводниковой промышленности период сертификации может достигать трех лет). При этом, согласно стандартам управления качеством, до окончания сертификации использовать ВЧК невозможно, что может привести к перерыву или полному сокращению поставок.

Таблица 4. Запасы месторождений кварцевого сырья, используемых для промышленного выпуска ВЧК, тыс. т
Table 4. Reserves of deposits of quartz raw materials used for industrial production of HPQ, thousand tons

Наименование	Производитель		
	Sibelco	The Quartz Corp	Norwegian Crystallites AS
Месторождение	Spruce Pine	Spruce Pine	Nedre Oyvollen
Запасы, тыс. т	> 10 000 [10]	> 10 000 [10]	> 170 [1]

Таблица 5. Матрица критериев и их значений для предварительной оценки сырьевой базы в качестве потенциального источника ВЧК

Table 5. Matrix of criteria and their values for the preliminary assessment of the raw material base as a potential source of HPQ

Критерий	Значение
Тип кварцевого сырья	Жильный кварц, пегматиты, аляскитовые граниты
Светопропускание монофракции Т, %	> 80
Сумма элементов-примесей в монофракции, г/т	< 20
Средний размер зерна, мкм	Не менее 200
Гомогенность параметров качества кварца в объекте отработки (светопропускание, химический состав, гранулометрия)	Да
Подтвержденные запасы кварца в объекте отработки, тыс. т	Не менее 80

Содержание ГЖВ, структурных примесей и микропримесей в природном кварце даже в пределах одного объекта промышленной добычи может очень существенно различаться. Еще более существенно такие колебания свойств кварца проявляются при сравнении различных объектов в пределах одного месторождения. Такая изменчивость напрямую влияет на плавочные свойства ВЧК и качество изготавливаемого кварцевого стекла и требует проводить тестирование для каждого нового объекта и постоянный мониторинг свойств уже эксплуатируемых.

Разнородность содержания и компонентного состава минеральных макропримесей в кварцевой рудной массе имеет меньшую значимость, однако этот фактор также играет свою роль, поскольку требует поиска и постоянного изменения технологических схем обогащения, что играет негативную роль как с экономической точки зрения, так и с точки зрения постоянства качества.

Учитывая сказанное, нельзя рассматривать совокупность кварцевых жил в месторождении как единую сырьевую базу. В целях производства ВЧК каждая кварцевая жила должна оцениваться как отдельный объект.

3.2. Подтвержденные извлекаемые запасы кварца

Согласно ряду источников, экономически обоснованной является отработка месторождения ВЧК с извлекаемыми запасами более 80 тыс. т [1, 14].

В целом эти данные подтверждаются данными по ведущим производителям ВЧК (табл. 4), однако необходимо учитывать, что при рассмотрении данного критерия имеет значение большое количество технико-экономических параметров, начиная от размера инвестиционных вложений и объемов горных работ при разработке кварцевого тела и заканчивая текущим уровнем цен.

Кроме того, с учетом объемов капитальных затрат, длительности инвестиционного цикла, а также длительности тестирования и сертификации ВЧК запасы место-

рождения должны обеспечивать работу предприятия на срок не менее 15–25 лет в зависимости от интенсивности добычи и объемов переработки.

4. Матрица критериев предварительной оценки месторождений ВЧК

Приведенный анализ характеристик месторождений ВЧК позволяет сформировать матрицу критериев для предварительной оценки потенциальной пригодности кварцевых месторождений для производства ВЧК (табл. 5).

Необходимо отметить, что данная матрица предлагается только для предварительной оценки. При детальном рассмотрении и с течением времени значения данных критериев могут изменяться в зависимости от конкретных месторождений ВЧК, причем как в сторону ужесточения, так и в сторону расширения. Так, технико-экономические условия (цена и степень обогащения ВЧК, горнотехнические условия добычи и др.) влияют на минимально необходимый объем подтвержденных запасов ВЧК. В будущем возможно появление новых промышленных типов сырья, например определенных разновидностей кварцитов [15], а постоянно ужесточающиеся требования высокотехнологичной промышленности могут существенно сократить сферы применения кварца из определенных месторождений. В качестве примера можно привести месторождение Nedre Oyvollen (Норвегия), базовый источник сырья для компании NorwegianCrystallitesAS. После того как требования к химической чистоте ВЧК изменились с «менее чем 50 г/т» в начале 2000-х гг. до «менее чем 20 г/т» в 2010-х гг., кварц Nedre Oyvollen (с общим содержанием примесей более 35 г/т) был фактически вытеснен с рынка ВЧК, оставаясь только в узком применении в качестве наполнителей ЕМС, а компания Norwegian Crystallites AS ушла с рынка, будучи поглощенной компаниями Norsk Mineral (Норвегия) и Imerys (Франция) [16].

Заключение

Применение матрицы критериев предварительной оценки месторождений ВЧК на основании имеющихся отчетов по ранее разведанным месторождениям кварца дает возможность произвести выборку потенциальных кварцевых объектов для производства ВЧК согласно современным требованиям промышленности и с минимальными

временными и денежными затратами (а в случае необходимости – с минимальным дополнительным опробованием уже известных объектов). Расширяется также перечень новых источников ВЧК за счет других генетических типов сырья, ранее не рассматривавшихся в нашей стране для этой цели, но успешно использующихся за рубежом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Quartz: Deposits, Mineralogy and Analytics. Ed. by J. Götze, R. Möckel. Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag, 2012. 360 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-22161-3>
2. Swanson S. E., Veal W. B. Mineralogy and petrogenesis of pegmatites in the Spruce Pine District, North Carolina, USA // Journal of Geosciences. 2010. Vol. 55. Issue 1. P. 27–42. <https://doi.org/10.3190/jgeosci.062>
3. Brobst D. A. Geology of the Spruce Pine District, Avery, Mitchell, and Yancey Counties North Carolina // Geological Survey Bulletin. 1962. No. 1122-A. <https://doi.org/10.3133/b1122A>
4. Крылова Г. И., Скобель Л. С., Митрофанов А. А., Балакирев В. Г. Геологические и минералого-геохимические сведения о кварце с торговой маркой ЮТА (США, штат Северная Каролина). Возможности поиска его аналогов в России // Уральский геологический журнал. 2003. № 4 (34). С. 81–122.
5. Минералургия жильного кварца / под ред. В. Г. Кузьмина, Б. Н. Кравца. М.: Недра, 1990. 294 с.
6. Кузьмина Н. И. Критерии определения пределов обогатимости различных природных типов кварцевого сырья // Разведка и охрана недр. 2007. № 10. С. 49–51.
7. Огородников В. Н., Поленов Ю. А., Недосекова И. Л., Савичев А. Н. Гранитные пегматиты, карбонатиты и гидротермалиты Уфалейского метаморфического комплекса. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН; УГГУ, 2016. 283 с.
8. Поленов Ю. А. Эндогенные кварцево-жильные образования Урала. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2008. 269 с.
9. Sibelco. High Purity Quartz. URL: <https://www.sibelco.com/materials/high-purity-quartz>
10. The Quartz Corp. High Purity Quartz. URL: <https://thequartzcorp.com/quartz/>
11. Русский кварц. Продукция. URL: <https://russianquartz.com/produksiya/>
12. Южноуральский завод «Кристалл». Продукция. URL: <http://www.kristallplant.com/produkcija>
13. Огородников В. Н., Поленов Ю. А., Савичев А. Н. Особо чистый кварц Уфалейского кварценосного района (Южный Урал) // Известия УГГУ. 2018. Вып. 1(49). С. 23–32. <https://doi.org/10.21440/2307-2091-2018-1-23-32>
14. Бурьян Ю. И., Борисов Л. А., Красильников П. А. Кварцевое сырье – важнейший вид минеральных ресурсов для высокотехнологичных отраслей промышленности // Разведка и охрана недр. 2007. № 10. С. 9–12. EDN: <https://elibrary.ru/kdrzib>
15. Жабоедов А. П., Непомнящих А. И., Соломеин О. Н. Разработка технологии получения кварцевого концентрата из кварцитов Восточного Саяна // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2016. Т. 6. № 4. С. 92–99. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2016-6-4-92-99>
16. Norsk Mineral. URL: <https://www.nomin.no/our-history/-article318-270.html>

Статья поступила в редакцию 12 октября 2023 года

Criteria for assessing the raw material base for the industrial production of high-purity quartz based on an analysis of quartz from the Kyshtym deposit and other existing global producers

Leonid Vadimovich KUZ'MIN^{1*}
Vadim Georgievich KUZ'MIN
Yuriy Alekseevich POLENOV^{2**}

¹JSC "Kyshtymkiy GOK", Chelyabinsk region, Russia

²Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia

Abstract

Relevance. High-purity quartz (HPQ) is one of the important materials for the high-tech industry. Despite the widespread occurrence of quartz deposits, only a few of them can be used for the production of HPQ. The used reserves of such quartz in Russia have limited volumes, and therefore the issue of searching and involving new objects as a stable basis for the production of HPQ, including from among previously explored deposits, is relevant.

The purpose of the work is to determine the criteria for assessing quartz deposits as a potential raw material base for the production of HPQ based on the analysis of data from the raw material base of existing producers of HPQ (Russian Quartz, Sibelco, The Quartz Corp.), as well as companies that previously produced these products.

Methodology. An analysis of the properties of quartz from deposits of the world's leading producers of HPQ quartz has been carried out, and general genetic and economic characteristics of such deposits have been given. Methods of comparison, analogies, logical analysis, and the method of expert assessments were used. To assess the quality characteristics of quartz, chemical spectral analysis (ICP-OES), measurement of light transmittance, and sieve granulometric analysis were used.

Results. Six main criteria for assessing quartz raw materials and their significance for assessing quartz deposits as a raw material base for the industrial production of HPQ are identified.

Conclusions. The matrix of criteria presented in this work makes it possible to quickly and at minimal cost carry out a rapid assessment of quartz deposits as a potential raw material base for the production of HPQ. Such a matrix can be used not only when assessing new objects, but also to revise reports on previously explored deposits, taking into account modern industry requirements.

Keywords: high-purity quartz, assessment, quality criteria, deposit, manufacturers, high-tech industry, raw material base, Kyshtymskoye deposit, HPQ, Sibelco, The Quartz Corp, hi-tech.

REFERENCES

- Götze J., Möckel R. 2012, Quartz: Deposits, Mineralogy and Analytics. Berlin; Heidelberg, 360 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-22161-3>
- Swanson S. E., Veal W. B. 2010, Mineralogy and petrogenesis of pegmatites in the Spruce Pine District, North Carolina, USA. *Journal of Geosciences*, vol. 55, issue 1, pp. 27–42. <https://doi.org/10.3190/jgeosci.062>
- Brobst D. A. 1962, Geology of the Spruce Pine District, Avery, Mitchell, and Yancey Counties North Carolina. *Geological Survey Bulletin*, no. 1122-A. <https://doi.org/10.3133/b1122A>
- Krylova G. I., Skobel L. S., Mitrofanov A. A., Balakirev V. G. 2003, Geological and mineralogical-geochemical information about quartz with the IOTA trademark. Possibility of searching for its analogues in Russia. *Ural'skiy geologicheskii zhurnal* [Ural Geological Journal], no. 4 (34), pp. 81–122. (In Russ.)
- Kuzmina V. G., Kravetsa B. N. 1990, Mineralurgy of vein quartz. Moscow, 294 p. (In Russ.)
- Kuzmina N. I. 2007, Criteria for determining the limits of enrichment of various natural types of quartz raw materials. *Razvedka i okhrana nedr* [Exploration and protection of subsoil], no. 10, pp. 49–51. (In Russ.)
- Ogorodnikov V. N., Polenov Yu. A., Nedosekova I. L., Savichev A. N. 2013, Granite pegmatites, carbonatites and hydrothermalites of the Ufaley metamorphic complex. Ekaterinburg, 283 p. (In Russ.)
- Polenov Yu. A. 2008, Endogenous quartz-vein formations of the Urals. Ekaterinburg, 269 p. (In Russ.)
- Sibelco. High Purity Quartz. URL: <https://www.sibelco.com/materials/high-purity-quartz>
- The Quartz Corp. High Purity Quartz. URL: <https://thequartzcorp.com/quartz/>
- Russian quartz. Products. (In Russ.) URL: <https://russianquartz.com/produktsiya/>
- Yuzhnouralsk plant "Crystal". Products. (In Russ.) URL: <http://www.kristallplant.com/produkcija>
- Ogorodnikov V. N., Polenov Yu. A., Savichev A. N. 2018, Particularly pure quartz of the Ufaley quartz-bearing region (Southern Urals). *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta* [News of the Ural State Mining University], issue 1 (49), pp. 23–32. (In Russ.) <https://doi.org/10.21440/2307-2091-2018-1-23-32>

*kgok@yandex.ru

**fgg.gl@m.ursmu.ru

14. Buryan Yu. I., Borisov L. A., Krasilnikov P. A. 2007, Quartz raw materials are the most important type of mineral resources for high-tech industries. *Razvedka i okhrana nedr* [Exploration and protection of subsoil], no. 10, pp. 9–12. (In Russ.) EDN: <https://elibrary.ru/kdrzib>
15. Zhaboyedov A. P., Nepomnyashchikh A. I., Solomein O. N. 2016, Development of technology for obtaining quartz concentrate from quartzites of the Eastern Sayan. *Izvestiya vuzov. Prikladnaya khimiya i biotekhnologiya* [News from universities. Applied chemistry and biotechnology], vol. 6, no. 4, pp. 92–99. (In Russ.) <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2016-6-4-92-99>
16. Norsk Mineral. URL: <https://www.nomin.no/our-history/-article318-270.html>

The article was received on October 12, 2023