

Электронная микроскопия жильного кварца месторождения Фенькина-Лампи (Карелия)

Светова Е.Н., Бубнова Т.П.

Институт геологии КарНЦ РАН, Петрозаводск, ensvetova@igkrc.ru

Аннотация. Представлены результаты электронно-микроскопического исследования молочно-белого жильного кварца месторождения Фенькина-Лампи. Проанализирована исходная кварцевая крупка и кварцевые концентраты различной степени очистки. Операции обогащения кварцевой крупки фракции $-0.63+0.1$ мм включали электромагнитную сепарацию, сверхвысокочастотную и ультразвуковую обработку, кислотное выщелачивание в HCl (10 % р-р, 100 °С, 1 час) и HF_{конц} (100 °С, 1 час). Выявлены основные особенности удаления микроминеральных и газовой-жидких включений в технологическом процессе.

Ключевые слова: жильный кварц, обогащение, электронная микроскопия, Фенькина-Лампи.

Electron microscopy of vein quartz of the Fenkina-Lampi deposit (Karelia)

Svetova E.N., Bubnova T.P.

Institute of Geology, Karelian Research Centre, RAS, Petrozavodsk, ensvetova@igkrc.ru

Abstract. The results of electron microscopy studies of milky white vein quartz of the Fenkina-Lampi deposit are presented. The initial quartz grains ($-0.63+0.1$ mm) and quartz concentrates of various treatment degree are analyzed. The processing included electromagnetic separation, microwave and ultrasonic treatment, HCl and HF leaching. The main features of the removal of mineral and fluid inclusions in the process are revealed.

Key words: vein quartz, processing technology, electron microscopy, Fenkina-Lampi.

Важным критерием при качественно-технологической оценке кварцевого сырья является содержание элементов-примесей, входящих в кварц в виде микроминеральных и газовой-жидких включений (ГЖВ), а также локализуемых в его кристаллической структуре. Для получения высококачественных кварцевых концентратов технология обогащения предусматривает стандартные методы удаления минеральных примесей и газовой-жидких включений, с которыми связана основная часть элементов-примесей: магнитную сепарацию, флотацию, термическую и кислотную обработку кварцевой крупки. Разрабатываются и применяются нестандартные подходы: воздействие сверхвысокочастотных (СВЧ) электромагнитных колебаний, плазмоочистка (Насыров, 2009; Скамницкая и др., 2013; Гришин и др., 2013). Химические анализы подтверждают эффективное снижение содержания примесей после таких операций, однако полного их удаления не происходит. В кварце остаются структурные примеси, удаление которых пока недостижимо, а также часть неструктурных примесей, связанных с твердыми и жидкими микрочастицами. Количество остающихся включений в кварце варьирует в зависимости от их состава, формы нахождения, от особенностей строения самого кварца.

С целью контроля чистоты кварцевой крупки и выявления особенностей удаления минеральных и ГЖВ при разных операциях очистки нами проведено сравнительное электронно-микроскопическое изучение исходной и обогащенной крупки жильного кварца месторождения Фенькина-Лампи. Как показывают ранее выполненные минералого-технологические исследования, среди твердых минеральных включений для данного кварца наиболее характерны хлорит и кальцит, в меньшем количестве присутствуют слюды, полевой шпат, оксиды и гидроксиды железа, единичные микровключения рутила, апатита, циркона. Минеральные примеси приурочены в основном к трещинам и границам кварцевых зерен, что благоприятно для их удаления при технологической обработке. Серьезной проблемой при обогащении слабопрозрачного кварца является присутствие в нем большого количества ГЖВ, влияющих на чистоту кварцевых концентратов (Скамницкая, Данилевская, 2009; Скамницкая и др., 2019). С учетом данной особенности в операции очистки

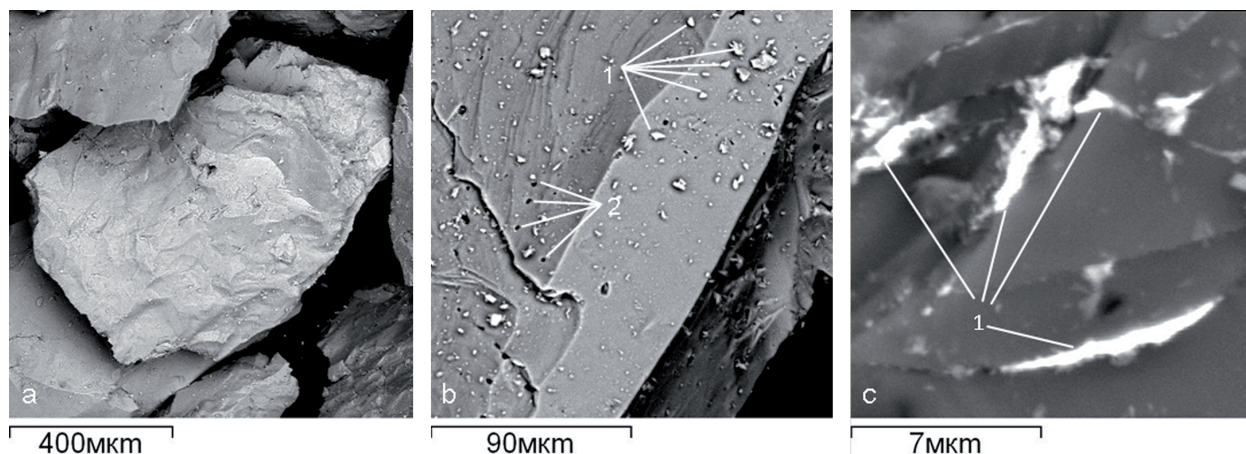


Рис. 1. Электроно-микроскопические изображения зерен исходной кварцевой крупки.

a – типичное кварцевое зерно; b – поверхность скола с осажденной кварцевой крошкой (1) и порами от вскрывшихся ГЖВ (2); c – включения магнетита по микротрещинам в кварце.

Fig. 1. Electron microscopy images of untreated quartz grains.

a – typical quartz grain; b – grain surface with precipitated quartz chips (1) and pores from released fluid inclusion (2); c – iron oxide (1) inclusions.

включена СВЧ обработка кварцевой крупки. Суть СВЧ воздействия состоит в эффекте декрепитации (вскрытии ГЖВ), возникающем при нагревании жидкости, входящей в состав ГЖВ. В результате резкого возрастания давления происходит разрыв и растрескивание окружающего зерна с выходом содержащейся жидкости.

Технологические эксперименты выполнены на лабораторном оборудовании отдела минерального сырья ИГ КарНЦ РАН под руководством Л. С. Скамницкой. Обогащение кварцевой крупки фракции $-0.63 + 0.1$ мм проводилось в следующей очередности: 1. Электромагнитная сепарация с последующим скрабированием. 2. СВЧ обработка (900 Вт, 2.45 ГГц, 10 мин). 3. Ультразвуковая дезинтеграция в водной среде (ультразвуковой диспергатор УЗДН-2Т, 22 Гц, 3 мин). 4. Выщелачивание в HCl (10 % р-р, 100 °С, 1 час). 5. Выщелачивание в HF_{конц} (100 °С, 1 час). После каждой операции производилась промывка крупки в дистиллированной воде.

Анализ напыленной углеродом кварцевой крупки разной степени очистки выполнен на сканирующем электронном микроскопе VEGA II LSH (Tescan), оснащенный энергодисперсионным анализатором INCA Energy 350 в Аналитическом центре ИГ КарНЦ РАН. При разных увеличениях исследована крупка исходного кварца; концентрат, полученный в результате электромагнитной сепарации и СВЧ-обработки; концентраты, полученные после кислотного выщелачивания в HCl и HF.

Согласно результатам исследования, крупка исходного крупнозернистого молочно-белого кварца представлена относительно изометричными зернами с гладкими гранями или с типичными для кварца раковистыми сколами (рис. 1 a). На поверхности зерен наблюдается осажденная кварцевая пыль, образовавшаяся в процессе дробления кварца. Местами зерна несут следы от вскрывшихся вдоль сколов газово-жидких включений (рис. 1 b). Среди минеральных примесей часто наблюдаются железооксидные фазы, локализованные по микротрещинкам (рис. 1 c) или образующие пленки на поверхности зерен. Реже отмечаются включения плагиоклаза, галита и кальцита.

Результатом электромагнитной сепарации и скрабирования кварцевой крупки в водной среде стало удаление техногенных магнитных частиц и осажденной пылевидной фракции кварца, связанных с процессом дробления.

СВЧ-обработка кварцевой крупки приводит к расколу некоторой части зерен, в основном наиболее крупных. Очагами разрушений, по-видимому, являются исходные поверхностные микротрещины, границы блоков, линейные дислокации и другие концентраторы напряжений. В результате такого воздействия в общей массе зерен образуется большое количество тонкопластинчатых кварцевых частиц (рис. 2), которые концентрируются в процессе обработки на поверхности воды в

виде пленки. На сколах частиц наблюдается большое количество вскрытых вакуолей газожидких включений (рис. 2 б). Вместе с тем, отмечаются твердофазные включения размером 5-15 мкм, отвечающие по составу кальциту, ангидриту, плагиоклазу (рис. 2 с). Вероятно, данные микроминеральные включения были вскрыты вследствие раскалывания кварцевых зерен и частично осаждены на их поверхности. Для удаления с поверхности кварца осажденных микровключений далее выполнена ультразвуковая дезинтеграция кварцевой крупки в дистиллированной воде.

Обработанная соляной кислотой кварцевая крупка представлена преимущественно нетронутыми травлением зернами с гладкой или тонковолокнистой поверхностью сколов (рис. 3 а). Небольшая часть зерен характеризуется локальными участками поверхности со следами активного растворения (рис. 3 б, с). В единичных случаях отмечаются железистоокисные микровключения (рис. 3 б).

Воздействие плавиковой кислоты на кварцевую крупку приводит к формированию огромного количества борозд травления, образующих часто сетку дефект-каналов на поверхности зерен (рис. 3 д). Местами, в результате активного растворения наблюдаются тончайшие кварцевые иголки размером менее 1 мкм (рис. 3 е). Растворение кварца сопровождается высвобождением микроминеральных включений, локализованных в близповерхностных участках зерен. В ряде случаев отмечаются оставшиеся после травления включения оксидов железа, хлоридов натрия и калия (рис. 3 е). Можно предположить, что такие включения были скрыты за тончайшими кварцевыми стенками, препятствовавшими их высвобождению при контакте с кислотой, а попав в вакуум при напылении электропроводящим слоем, прорвали их. Выделения хлоридов натрия и калия могли также образоваться в результате высыхания солевых растворов из вскрывшихся ГЖВ.

Таким образом, электронно-микроскопические исследования позволяют качественно контролировать чистоту кварцевой крупки в процессе технологических операций и выявлять поверхностные особенности зерен кварца, обусловленные глубоким обогащением. Энергетическое воздействие полем СВЧ приводит к декрепитации большого количества ГЖВ, о чем свидетельствуют множественные следы от вскрытых ГЖВ в виде пор характерного размера и морфологии. Кислотное травление сопровождается активным растворением близповерхностной части кварцевых зерен и высвобождением микроминеральных включений из этих областей. Очевидно, что растворение кварца происходит вдоль залеченных трещин, содержащих эти включения, около микротрещин и других напряженных участков. Однако полного удаления твердофазных примесей не происходит. Количественная оценка эффективности удаления элементов примесей и газожидких включений в кварцевых концентратах будет выполнена в предстоящей работе.

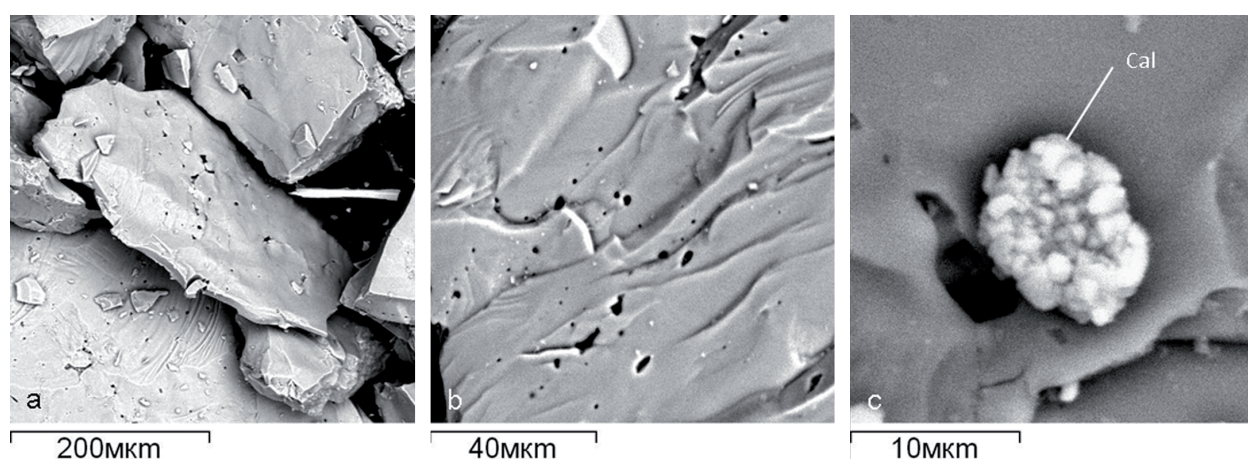


Рис. 2. Электронно-микроскопические изображения зерен СВЧ-обработанной кварцевой крупки. а – тонкопластинчатая частица кварца; б – деталь поверхности скола со следами от вскрывшихся ГЖВ; с – микронеоднородное включение кальцита (Cal).

Fig. 2. Electron microscopy images of quartz grains treated by microwave. а – thin-platey quartz grain, б – pores of released fluid inclusions; с – microinhomogeneous calcite (Cal) inclusion.

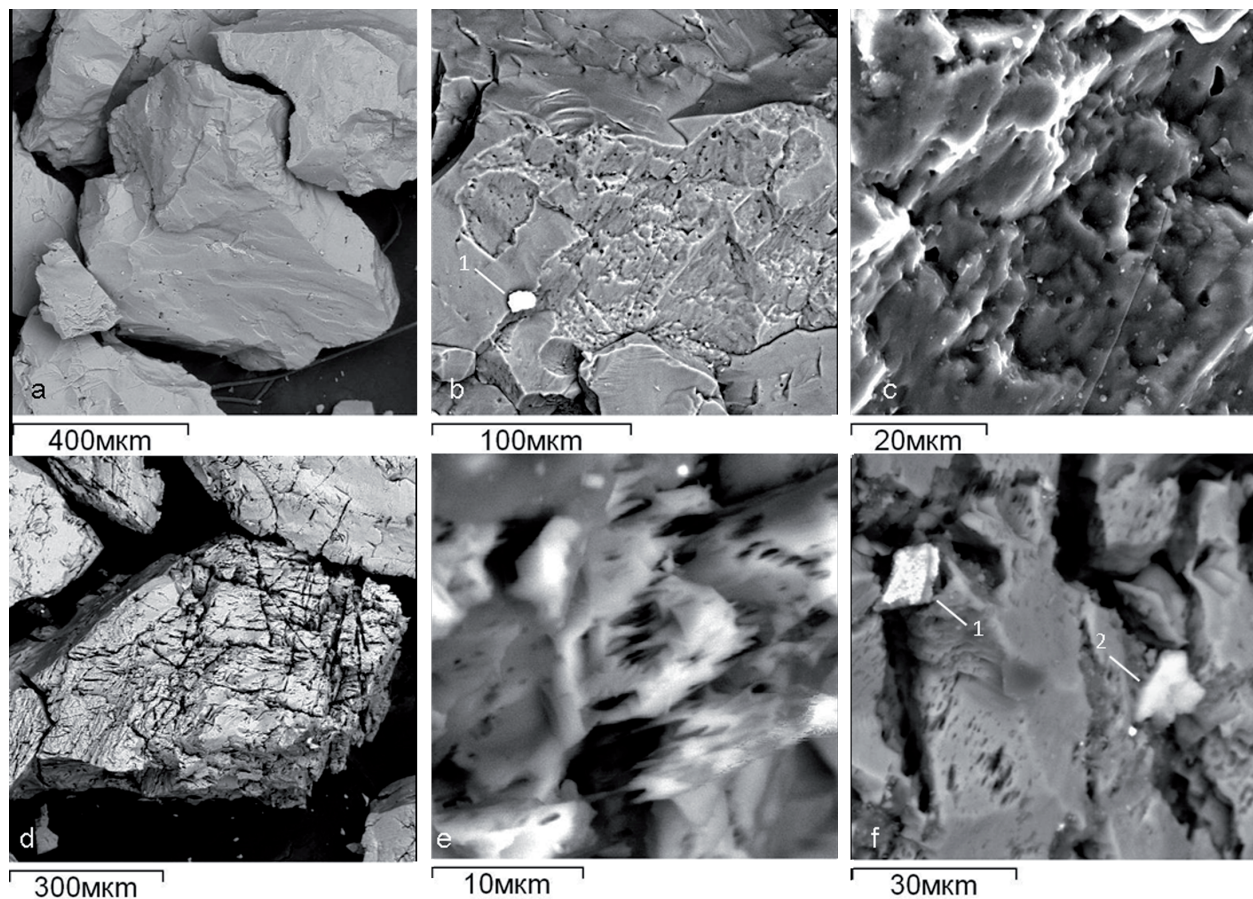


Рис. 3. Электроно-микроскопические изображения зерен обработанной кислотами кварцевой крупки (верхний ряд – после обработки HCl, нижний – после HF): а – нетронутое травлением зерно кварца; б – растворенная область поверхности зерна с примесным железистым включением (1); в – форма растворения кварца; д – сеть дефект-каналов на зерне кварца; е – форма растворения кварца; ф – минеральные включения оксида железа и галита.

Fig. 3. Electron microscopic images of acid-treated quartz grains (upper line – after leaching in HCl, lower line – after leaching in HF): a – quartz grain untouched by acid leaching; b – dissolved part of grain surface with iron oxide inclusion (1); c – detailed image of quartz dissolution; d – quartz grain with defect channels network; e – form of quartz dissolution; f – inclusions of iron oxide (1) and halite (2).

Работа выполнена в рамках государственного задания Института геологии КарНЦ РАН.

Литература

1. Гришин Ю.М., Козлов Н.П., Кулагин А.Ю. Экспериментальное исследование финишного этапа обогащения кварца в плазменных потоках // Инженерный журнал: наука и инновации. 2013. Вып. 10. URL: <http://engjournal.ru/catalog/machin/plasma/1027.html>.
2. Насыров Р.Ш. СВЧ-декрепитация газожидкостных включений в кварцевых зернах // Обогащение руд. 2009. № 2. С. 26–27.
3. Скамницкая Л.С., Данилевская Л.А. Выбор методов обогащения кварца на основе закономерностей распределения и форм нахождения в нем примесей (на примере участков Меломайс и Фенькина-Лампи) // Новые методы технологической минералогии при оценке руд металлов и промышленных минералов. Сборник научных статей по материалам российского семинара по технологической минералогии. Петрозаводск: КарНЦ РАН. 2009. С. 83–94.
4. Скамницкая Л.С., Данилевская Л.А., Раков Л.Т., Дубинчук В.Т. Способ обогащения природного кварцевого сырья. Патент №2483024 РФ. 2013. Бюл. №15. 9 с.
5. Скамницкая Л.С., Светова Е.Н., Шанина С.Н. Влияние газово-жидких включений на качество жильного кварца // Обогащение руд. 2019. №2. С. 20–26. DOI: 10.17580/or.2019.02.04.