

ВЫБОР МЕТОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ КВАРЦА НА ОСНОВЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ФОРМ НАХОЖДЕНИЯ В НЕМ ПРИМЕСЕЙ (НА ПРИМЕРЕ УЧАСТКОВ МЕЛОМАЙС И ФЕНЬКИНА-ЛАМПИ)

Скамницкая Л.С., Данилевская Л.А.

ИГ КарНЦ РАН, г. Петрозаводск

Для получения кварцевых продуктов высокой чистоты традиционно используются жильный гранулированный и прозрачный кварц, а также пегматитовый кварц (Iasca). Вместе с тем опыт ведущих стран в кварцевой отрасли (США и Норвегии) показывает, что возможно получение высокочистых кварцевых концентратов из нетрадиционных типов кварцевого сырья – кварцосодержащих пород, кварцитов. Получение чистых кварцевых концентратов из данных типов кварцевого сырья является чисто технологической задачей, решаемой на основе детального изучения минералого-петрографических, физико-химических особенностей кварцевого сырья конкретных объектов и подбором технологий обогащения в соответствии с этими особенностями.

В данной работе приводятся результаты минералого-технологических исследований с подбором технологий обогащения кварцевого сырья двух объектов Карелии – жильного интенсивно минерализованного кварца участка Меломайс и жильного молочно-белого кварца месторождения Фенькина-Лампи, которые рассматриваются как нетрадиционные типы кварцевого сырья для получения высокочистых кварцевых концентратов. Для разработки оптимальных схем обогащения кварцевого сырья данных объектов были детально изучены типоморфные признаки кварца, влияющие на его обогатимость: виды, содержание и распределение минеральных примесей, структурно-текстурные особенности породы, содержание и распределение флюидных включений.

Основными предпосылками для рассмотрения данных объектов как потенциальных источников высокочистого кварца стали проведенные ранее исследования по содержанию структурных примесей в кварце различных генетических типов из разных месторождений и проявлений Карелии [1]. Содержание структурных примесей в кварце определяет теоретический предел обогатимости кварцевого сырья, соответственно низкие концентрации структурного Al, Ti, Li, Ge, в частности, в кварце участков Меломайс и Фенькина-Лампи показывают, что основные элементы-примеси в данном кварце связаны с минеральными и газовой-жидкими включениями. Получение высокочистых кварцевых концентратов из кварца данных участков теоретически возможно при условии, что будут подобраны соответствующие технологии обогащения.

Структурно-текстурные и минералогические особенности

Участок Меломайс

Данный участок расположен в Калевальском районе Карелии недалеко от г. Костомукша и представляет собой мощную кварцево-жильную зону, залегающую в гранито-гнейсах основания. Кварцевая жила подвергнута интенсивному позднему рассланцеванию, особенно в краевых частях, где наблюдаются тонкие чередующиеся прослои, сложенные мелкозернистым кварцем и эпидот-слюдисто-полевошпатовым материалом. В центральных частях жилы наблюдается чередование, без закономерной последовательности, различных типов кварца: 1 - серого рассланцованного с участками сливного; 2 - массивного серовато-белого с полевым шпатом, имеющего иногда розоватый оттенок; 3 - сливного белого кварца, образующего в основном вытянутые зоны или небольшие жилки.

В результате петрографического исследования шлифов, было установлено, что кварц интенсивно катаклазирован, наблюдаются линейная и брусковидная блочность в зернах кварца, которая местами переходит в мозаичность (рис. 1а). В участках наибольшего катаклаза развита сильная минерализация по трещинам, наблюдается вторичная рекристаллизация кварца с образованием мелкозернистого кварцевого агрегата, приуроченного к трещинам (рис. 1б). Размеры гранул кварца варьируют от 0,1-0,4 мм (полигональные и изометричные зерна с ровными границами и четким погасанием) до 0,45-4,4 мм (крупные изометричные, вытянутые зерна с блоковым, волнистым погасанием).

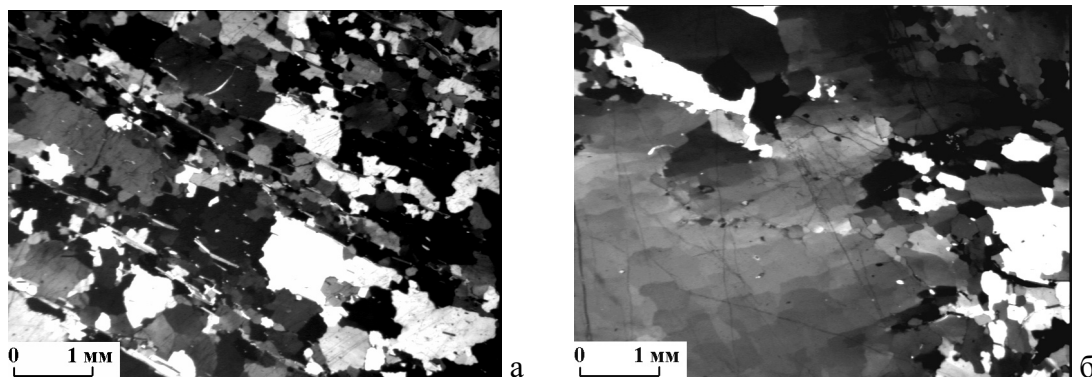


Рис. 1. Структурно-текстурные особенности кварца: а - наложенная минерализация и вторичная рекристаллизация по зонам рассланцевания, б – образование мелкозернистого рекристаллизованного кварца (фото шлифов, николи+)

При минералогических исследованиях кварцевой крупки установлены три разновидности зерен кварца, отличающиеся формой, цветом, газонасыщенностью – молочно белые, прозрачные и сахаровидные. Плоские трещиноватые зерна прозрачного кварца легче раскалываются при измельчении на более мелкие, чем окатанные зерна.

По минеральному составу кварцевая жила довольно однородна, суммарное содержание минеральных примесей варьирует от 1 до 5%. По результатам исследований шлифов кварца на сканирующем электронном микроскопе VEGA II LMU с анализатором INCA Energy 350 (далее Tescan) было установлено, что основные минеральные примеси представлены: мусковитом с высоким содержанием K_2O (в среднем 11%) и несколько повышенным содержанием суммарного железа (около 2,6%); биотитом с довольно высоким содержанием MgO (14%), который часто замещается хлоритом; калиевым полевым шпатом, представленным микроклином и Ва-К-содержащим полевым шпатом (со средним содержанием Ва около 3%) и плагиоклазом двух генераций – более ранним олигоклазом (№ 20), поздним – альбитом (№ 5). В качестве единичных зерен присутствует эпидот, иногда встречаются зерна эпидота с примесью Се (от 1% до 3,5% Se_2O_3) и La (до 1,6%). В качестве акцессорных минералов также встречаются редкие зерна циркона, F-апатита и рутила, который образует включения в хлорите. Минерализация в основном развивается по субпараллельным трещинам и микротрещинам. Минеральные примеси ориентированы в одном направлении, микровключения равномерно распределены в породе, крупные зерна приурочены к трещинам. Границы сростаний полевого шпата с кварцем чаще неровные, заливчатые (рис. 2 а,б). Мусковит образует слабо волнистые чешуйки, прямые пачечки, которые увеличиваются и расщепляются по краям (рис. 2 в,г). Размер чешуек мусковита колеблется, преобладают чешуйки размером 0,1-0,2 мм. Часть мусковита находится в сростании с другими минералами, например, эпидотом (рис. 2 в). Более крупные включения слюды на границах сростаний образуют скопления размером 0,1-0,5 мм.

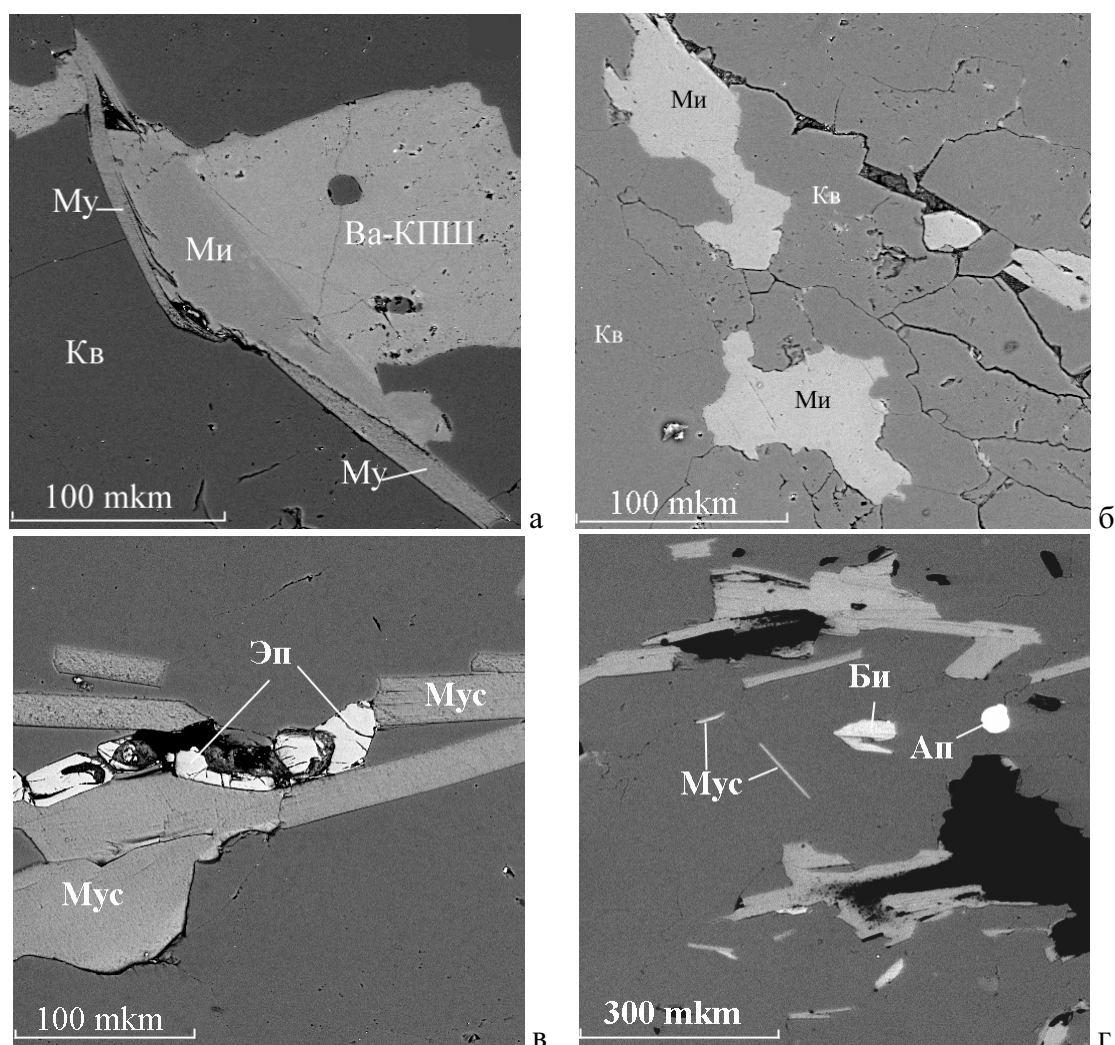


Рис. 2. Основные минералы-примеси в кварце участка Меломайс (фото шлифов, Tescan): а – мусковит, микроклин, Ва-К полевой шпат; б – включения микроклина; в – сростания эпидота с мусковитом; г - включения мусковита, биотита, апатита

В качестве минеральных включений, осложняющих процессы обогащения, могут быть заключенные внутри крупных зерен микровключения: трещиноватого и неоднородного микроклина (8 мкм), плагиоклаза 1-ой генерации (олигоклаза до 10 мкм), мусковита (5-7 мкм) и биотита (4-5 мкм), которые чаще приурочены к микротрещинкам внутри зерен, а также единичные включения эпидота и апатита (до 5-7 мкм) внутри зерен кварца до 5-7 мкм (рис. 3).

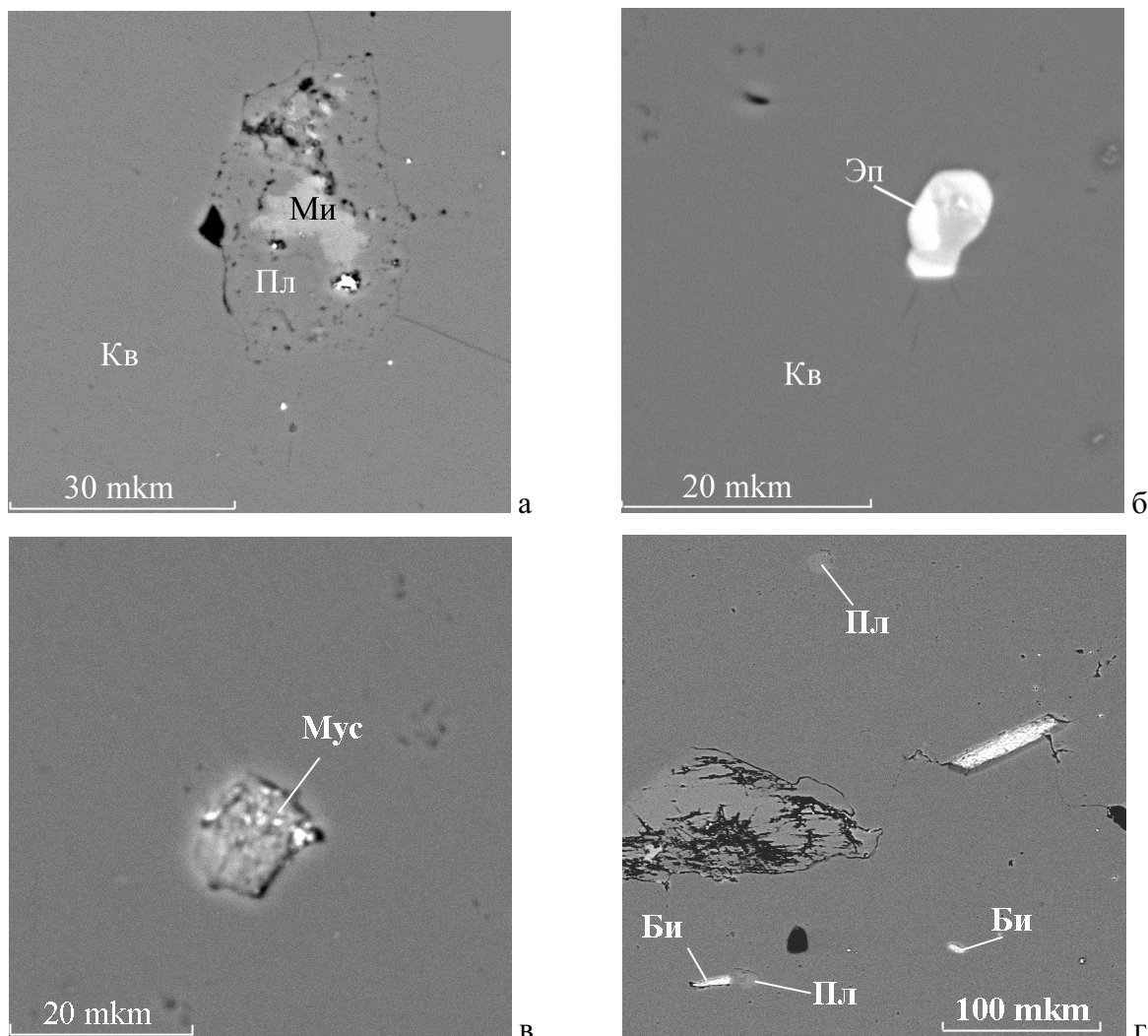


Рис. 3. Микровключения в кварце участка Меломайс (Tescan): а – микроклин, плагиоклаз (альбит); б – эпидот; в – мусковит; г – плагиоклаз (олигоклаз), биотит

Повышенное содержание суммарного железа (около 2,6%) в мусковите и довольно высокое содержание магния в биотите, обусловили повышенную магнитную восприимчивость ($1,3 - 502,5 \cdot 10^{-5}$ ед СИ) и диэлектрическую проницаемость кварца (2,5-8,4 ϵ). Приуроченность минеральных включений к микротрещинкам внутри зерен кварца позволяет надеяться на возможность их извлечения при обогащении.

Участок Фенькина-Лампи

Данный участок расположен в Медвежьегорском районе и представлен двумя крупными жилами, вмещающими породы для которых служат полевошпат-кварцевые песчаники и карбонатизированные песчано-глинистые сланцы.

В пределах кварцевых жил макроскопически было установлено несколько разновидностей кварца, которые образуют небольшие зоны и участки [2, 3]: I - молочно-белый крупно-гигантозернистый, II - серовато-белый средне-крупнозернистый, III - светло-серый средне-крупнозернистый, IV - серый средне-крупнозернистый, кавернозный. Кварц в основной массе непрозрачный из-за большого количества газово-жидких включений, которые образуют густую сеть и придают кварцу молочно-белую окраску.

Первичные зерна кварца образуют крупные вытянутые индивиды размерами 1-3 см (рис. 4а). В пределах кварцевых тел развита сеть вторичных прожилков с мелкозернистым, более прозрачным кварцем, которые приурочены к вторичным трещинам, иногда образующим занорыши. В данных трещинах и занорышах развиваются кристаллы кварца часто в ассоциации с хлоритом и кальцитом,

иногда хлорит оталькован. Кристаллы в основном мелкие (0,3-1 см), хорошо ограненные, полупрозрачные, но встречаются более крупные (до 3-5 см) обычно хуже ограненные, мутные, с примазками и корками хлорита на гранях.

Наряду с образованием вторичных трещин в кварце проявились процессы пластической деформации, фрагментации и частичной рекристаллизации. В результате микроструктура породы может меняться от фрагментарной (рис. 4 б), проявленной в первичных крупных зернах кварца, до мозаичной с изрезанными лапчатыми контурами (рис. 4 в). Наблюдаются также факелы и пластинки деформаций и пересекающиеся полосы деформаций. Вблизи трещин с вторичным кварцем зерна кварца характеризуются гранобластовой равновесной структурой (рис. 4 д).

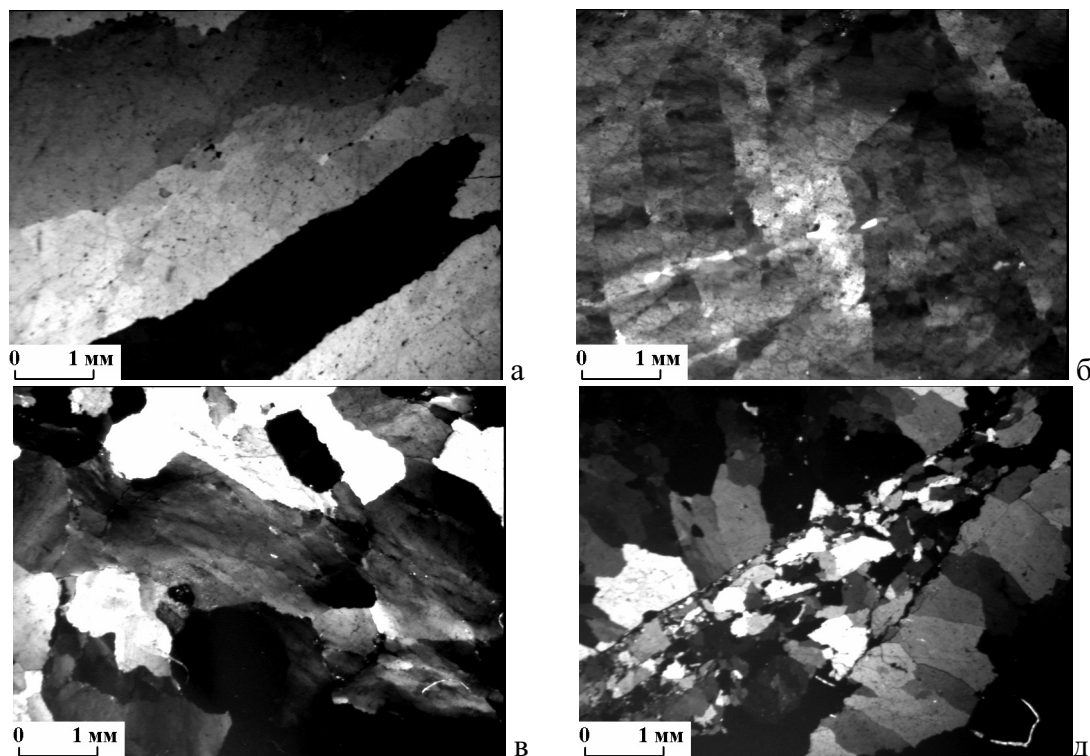


Рис. 4. Микроструктура кварца участка Фенькина-Лампи (фото шлифов, николи +): а – первичные вытянутые зерна кварца; б – фрагментарная микроструктура; в - мозаичная структура с изрезанными лапчатыми контурами зерен и микроблокованием; д – гранобластовая микроструктура вблизи прожилков с вторичным кварцем

При микроскопических исследованиях кварцевой крупки в пределах различных типов кварца выявлено от двух до четырех разновидностей зерен кварца, отличающихся цветом, размерами, газонасыщенностью и микротрещиноватостью зерен (табл. 1).

Таблица 1

Содержание разных типов зерен в различных типах кварца участка Фенькина-Лампи

Разновидность и кварца	Тип зерен	Содержание по типам кварца, %			
		I	II	III	IV
1	Белые, непрозрачные	$\frac{3-100}{38,00}$	$\frac{0-99,5}{29,88}$	$\frac{40-100}{81,60}$	$\frac{100}{100}$
2	Прозрачные	$\frac{0-97}{47,0}$	$\frac{0-96}{36,69}$	$\frac{0-55}{16,80}$	-
3	Полупрозрачные	-	$\frac{0-100}{32,85}$	-	-
4	Сахаровидные	-	$\frac{0-5}{0,54}$	$\frac{0-5}{1,60}$	-

Примечание: в числителе приведена вариация “минимум-максимум”, в знаменателе – среднее содержание

Количественное соотношение типов зерен определяет качество конечного концентрата. Кварц 1-го типа более крупный (средний размер зерен 0,1-0,5 мм), матовый, часто по трещинкам содержит тонкие вроски серицита. Преобладание более мелкого (0,04-0,2 мм), прозрачного кварца 2-ого типа, как правило, содержащего

мало минеральных примесей, благоприятно сказывается на качестве кварцевых концентратов, однако значительная часть кварца этого типа при подготовке к обогащению теряется со шламами (фракция менее 0,1 мм). Сахаровидный кварц, размеры зерен которого в агрегате составляют ~0,05 мм, (иногда до 0,1-0,2 мм), присутствует в пробах кварца II и III природных типов. Его количество не превышает 5% и существенной роли из-за малых размеров он не играет.

Петрографическое изучение кварца показало, что твердые минеральные примеси в кварце всех типов представлены в основном кальцитом, хлоритом, иногда внутри зерен хлорита встречаются реликтовые участки флогопита, также присутствует мусковит с высоким содержанием Fe и Mg, в качестве акцессорных встречаются Ф-апатит (иногда с примесью W), рутил, циркон (иногда с примесью Ir), а также в единичных редких зернах магнетит и титаномагнетит. Общее количество минералов-примесей не велико и не превышает 0,3-0,5%. Основная минерализация кварца приурочена к трещинам и микрорешинкам.

Кальцит образует трещиноватые кристаллы с заливчатыми границами и тонкие ветвящиеся прожилки, в основном в межзерновом пространстве, иногда встречаются мелкие зерна кальцита внутри зерен кварца (рис. 5 а). Размер зерен кальцита от 0,1-0,5 мм, микровключения – 10 мкм. Хлорит наблюдается в виде небольших скоплений чешуйчатых агрегатов размерами 10-80 мкм, иногда в сростании с кальцитом. Мусковит образует небольшие агрегаты мелких чешуек, иногда отдельные тонкие лейсточки (рис. 5 в). Размер – от 5 до 40 мкм. Акцессорные минералы в основном приурочены к трещинкам (рис. 5 г).

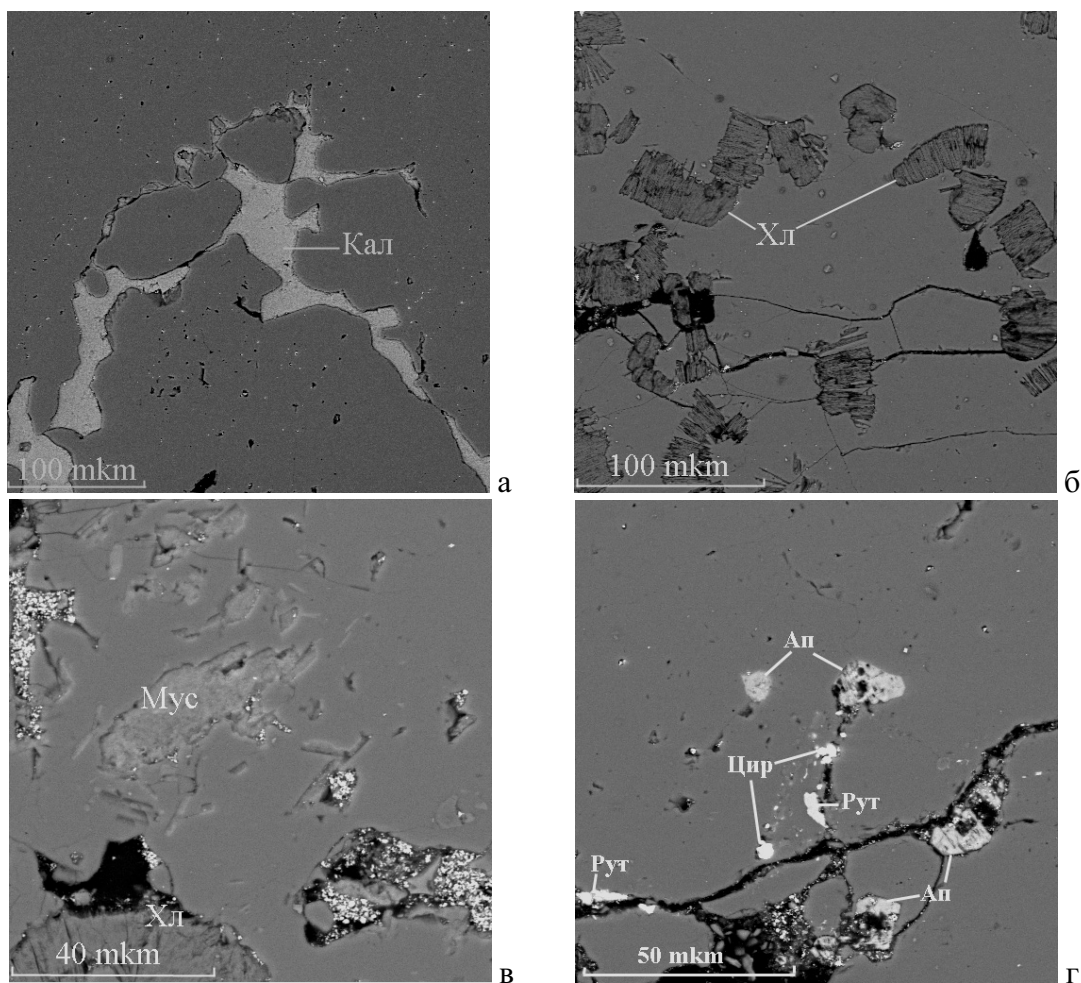


Рис. 5. Минеральные включения в кварце участка Фенькина-Лампи (Tescan): а – кальцит, б – хлорит, в – мусковит, хлорит, г – акцессорные апатит, рутил, циркон

Микровключения в кварце данного участка, которые могут осложнять процессы обогащения, представлены в основном тончайшими чешуйками мусковита, хлорита (размерами 1-5 до 20 мкм), иногда встречающимися мелкими включениями кальцита, единичными редкими зернами циркона (1-2 мкм), апатита и мелкими зернами турмалина (близкого к драгиту) (4-5 до 10 мкм), находящимися внутри зерен кварца.

Как правило, микровключения, как и основные минеральные примеси, приурочены к микротрещинкам или находятся вблизи трещин.

Изучение кварца и минералов-примесей на сканирующем микроскопе Tescan позволило установить морфологию и состав основных минеральных примесей, которые теоретически могут быть наследованы кварцевой крупкой при неполном удалении минералов в процессах обогащения.

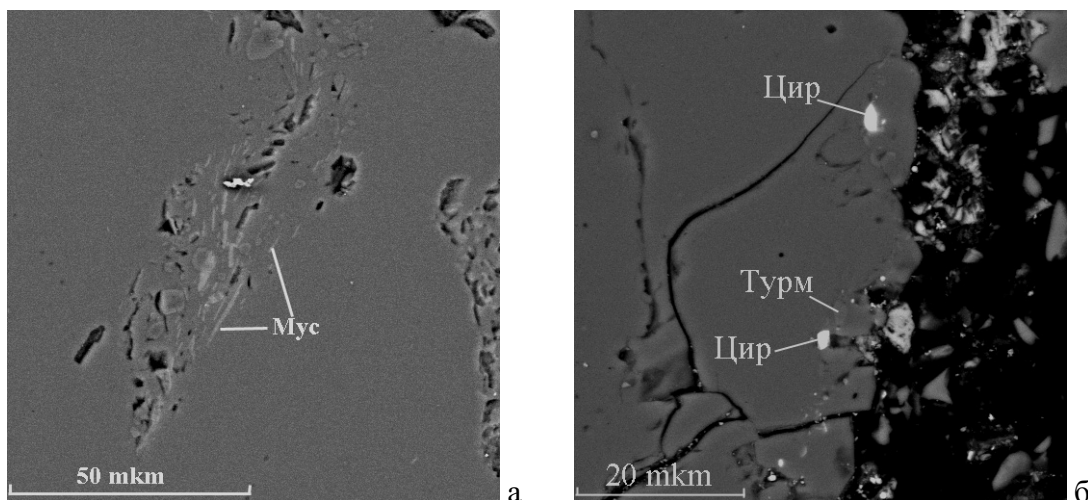


Рис. 6. Микровключения в кварце участка Фенькина-Лампи: а – мусковит, б – циркон, турмалин

Состав (по содержанию основных оксидов) макро- и микро-минеральных включений в кварце участков приведен в таблице 2.

Таблица 2

Содержание основных оксидов в минералах-примесях в кварце участков Меломайс и Фенькина-Лампи, (%)

Включения	Минералы	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	K ₂ O	TiO ₂	FeO+ Fe ₂ O ₃	ZnO	BaO
<i>Меломайс</i>											
Макро	Мусковит	0.13	1.76	32.22	50.97		11.07	0.05	2.33		
	Микроклин	0.24		17.54	66.44		15.77				
	Ва-К-полевоы шпат	0.41		18.46	63.92		14.41			0.01	2.81
	Плагиоклаз (альбит)	11.12		19.04	69.42	0.39					
	Биотит		14.77	16.96	40.67		8.18	0.96	14.42		
	Хлорит		19.99	19.33	32.79		0.18	0.04	21.4		
Микро	Плагиоклаз(олигоклаз)	9.18		21.89	64.83	4.04	0.02				
	Мусковит	0.09	1.65	31.51	51.75		11.06	-	2.12		
	Биотит		14.99	15.38	45.41		8.87	1.24	14.13		
	Эпидот			20.96	41.13	23.09		0.12	14.6		
	Рутил							100			
<i>Фенькина-Лампи</i>											
Макро	Хлорит		27.86	18.38	29.14				6.15		
	Кальцит					56,0					
Микро	Турмалин	2.64	9.53	27.94	39.73	0.44		0.14	5.40		
	Хлорит		27.42	18.45	29.21				6.15		
	Биотит (реликтовый)	9.30	23.77	45.85	45.85		8.44		4.21		
	Кальцит					56,0					
	Мусковит	0.11	3.13	23.90	54.85		10.50	0.23	3.92		
	Рутил							100			

Как видно из табл. 2, по химическому составу микро- и макро-минеральные включения в кварце участка Меломайс отличаются незначительно: мелкодисперсные включения мусковита не содержат примеси TiO₂, чуть меньше содержат оксидов Fe, Mg, Na; микро- и макро-минеральные включения биотита и хлорита очень близки по составу. Единственное существенное отличие наблюдается в плагиоклазе – микровключения плагиоклаза внутри зерен кварца представлены олигоклазом, с более высоким содержанием кальция, более крупные макровключения плагиоклаза, развивающиеся по трещинам, представлены альбитом.

В кварце участка Фенькина-Лампи состав микро- и макровключений хлорита и кальцита практически не отличается. Характерной особенностью включений хлорита является отсутствие примеси TiO₂, низкое содержание оксидов железа и повышенное содержание оксида магния. Мусковит микровключений характеризуется высоким содержанием оксидов железа (3,92%) и MgO (3,13%).

Изучение закономерностей распределения и форм нахождения в кварце минеральных примесей позволили установить основные химические элементы, которые теоретически могут привноситься в кварцевые концентраты из минеральных включений при обогащении (по убыванию):

- Для кварца участка Меломайс – Al, K, Na, Fe, Mg, Ti, Zn, Ba, а также P, Zr.
- Для кварца участка Фенькина-Лампи – Al, Ca, Mg, Fe, K, Na, Ti, а также P, Zr, В.

Низкое содержание структурных примесей (Al, Ti-Li, Ti-Na, Ti-H, Ge) в кварце Меломайс и Фенькина-Лампи (6,5-6,6 ppm и 5,4-6,4 ppm соответственно) позволяет говорить о высоком потенциале самого кварца, как химически чистого.

Обогащаемость кварца

По степени обогащения кварца и качеству конечного продукта в соответствии с ТУ 5726-002-11496665-97 для плавки прозрачного кварцевого сырья различают:

- Концентраты промежуточной чистоты (предварительное обогащение)
- Концентраты высокой чистоты (глубокое обогащение)
- Концентраты ультравысокой чистоты (суперглубокое обогащение)

Технология получения кварца промежуточной чистоты (рис. 7) ориентирована на обогащение крупки размером 0,5(0,4)-0,1мм и включает постадийную магнитную сепарацию на сепараторах с напряженностью магнитного поля до 1000кА/м, позволяющую удалять примеси магнитных и слабомагнитных минералов и их сростки с кварцем. Последующая доочистка в соляной кислоте направлена на удаление пленочных примесей, чаще всего связанных с наноразмерными поверхностными образованиями гидроксидов железа, марганца, карбонатов, аморфной фазы кварца, а так же адгезией глинистых частиц.

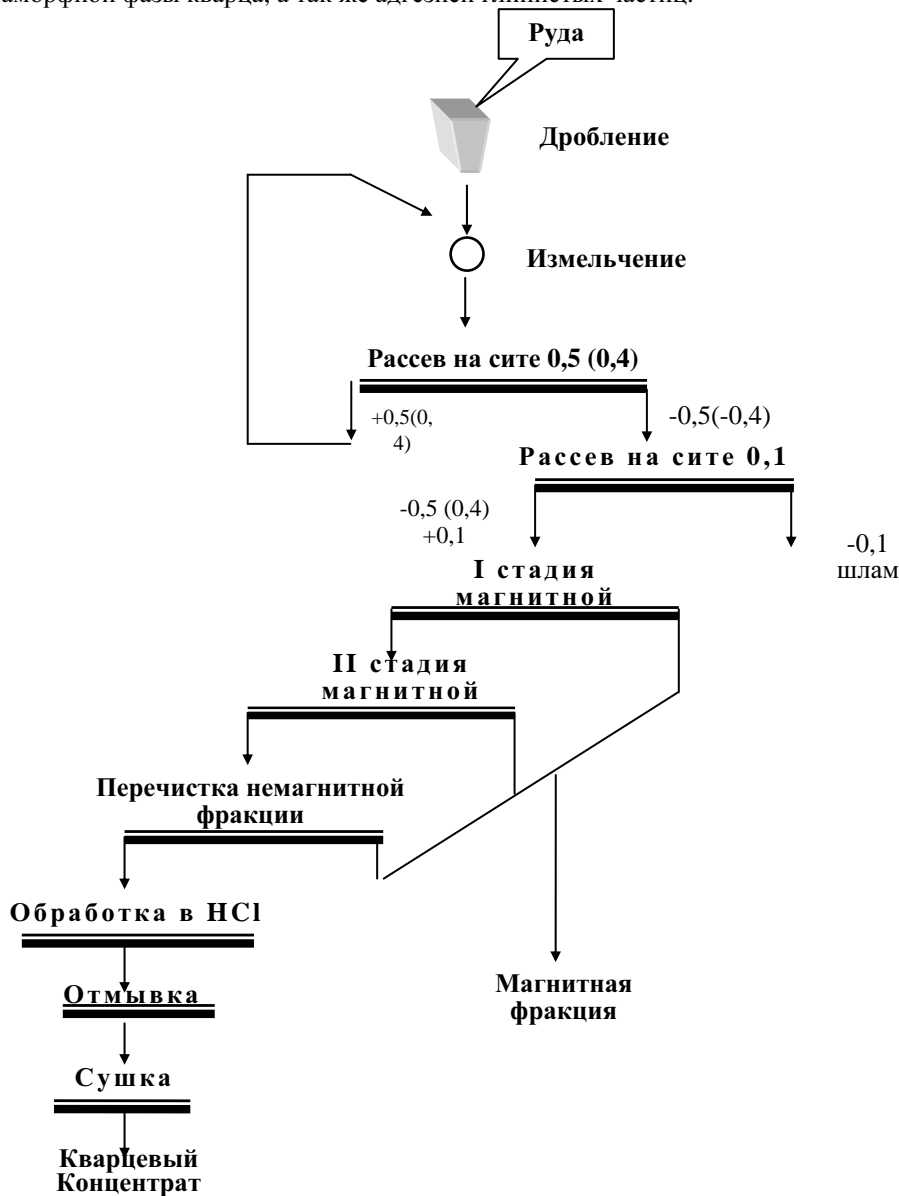


Рис. 7. Традиционная схема обогащения кварца с получением кварцевого концентрата промежуточной чистоты

При обогащении наименее загрязненного минеральными примесями кварца жилы Фенькина-Лампи по схеме, приведенной на рис. 7, наблюдается неравномерная очистка кварца от примесей - суммарное количество элементов-примесей в концентрате возрастает от первого к третьему типу кварца (рис. 8).

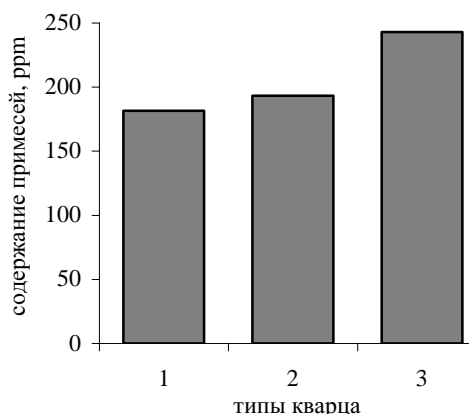


Рис. 8. Усредненное суммарное содержание элементов-примесей по типам

По степени обогащения полученные концентраты соответствуют кварцу промежуточной чистоты (предварительное обогащение). Основная масса вредных примесей связана с Na, Al, K и Ca (табл. 3).

Таблица 3

Содержание элементов в концентратах по типам кварца жилы Фенькина-Лампи

Тип	Содержание элементов, ppm													
	Al	Fe	K	Na	Ti	Li	Ca	Mg	Cu	Cr	Mn	Ni		Co
I	$\frac{28-63}{46,4}$	$\frac{4,3-19,7}{10,7}$	$\frac{18,5-39}{26,8}$	$\frac{37,5-80,3}{71,1}$	$\frac{0,5-1,2}{0,7}$	$\frac{0,2-0,8}{0,4}$	$\frac{14-38}{22,1}$	$\frac{3,3-3,8}{3,6}$	0,2	0,8	0,3	1	1	$\frac{152,9-192,5}{184,7}$
II	$\frac{28-62}{42,8}$	$\frac{3,6-17}{8,6}$	$\frac{13-47}{29}$	$\frac{40-112}{75}$	$\frac{0,2-5,7}{1,6}$	$\frac{0,2-0,6}{0,3}$	$\frac{13-42}{24}$	$\frac{2-43,8}{9,3}$	0,2	0,9	0,6	1	1	$\frac{138,7-257,7}{193}$
III	$\frac{12,5-115}{59,3}$	$\frac{2-26,8}{20,6}$	$\frac{15-79,5}{32,4}$	$\frac{61-92,8}{74,5}$	$\frac{0,2-15,3}{4,0}$	$\frac{0,2-0,8}{0,5}$	$\frac{18,5-40}{26,8}$	$\frac{1,7-50,3}{39,7}$	0,2	1	0,7	1	1	$\frac{116,7-450,1}{261,6}$

Анализы сделаны в лабораториях ВНИИСИМС (г. Александров), Tatsumori Corp. (Япония). В числителе – разброс значений, в знаменателе – среднее, I – 5 проб, II – 12 проб, III – 6 проб

Наиболее загрязнены концентраты, полученные при обогащении кварца III типа, для которых характерно присутствие значительных количеств Mg (39,7 ppm в среднем, при колебаниях от 1,7 до 50,3), что обусловлено по всей видимости присутствием мелкодисперсного хлорита внутри зерен кварца, для удаления которого необходима другая технология. Значительный разброс содержаний элементов-примесей в пределах каждого из типов кварца объясняется неоднородностью кварца. В целом, для жилы Фенькина-Лампи обогащение целесообразно вести раздельно для разных типов кварца.

Обогащение кварца жилы Меломайс по аналогичной схеме (рис. 7), позволило получить концентраты по чистоте соответствующие предварительной стадии обогащения, сопоставление которых по технологическим показателям дает основание говорить о стабильности состава и свойств исходной породы и возможности обогащения природных типов по единой технологии (рис. 9). Это связано со структурными особенностями кварца, обеспечивающими селективное раскрытие минералов при измельчении (табл. 4).

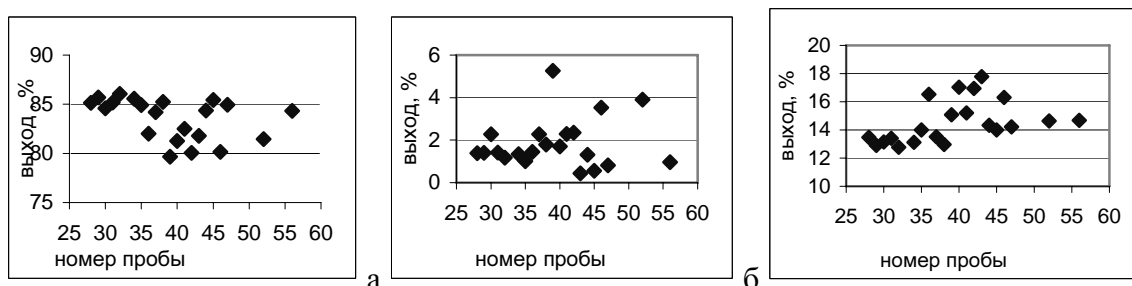


Рис. 9. Изменение технологических показателей в контуре выбранного участка: а) выход кварцевой крупки после магнитной сепарации, б) выход магнитной фракции, в) выход шлама

Таблица 4

Распределение минералов-примесей в измельченном кварце укрупненной сборной пробы 1/2008 участка Меломайс

Фракция, мм	Содержание минералов, %				
	Мусковит	Кварц	Полевой шпат	Хлорит	биотит
+0,5	0,4	99,6	Ед.	Ед.	Ед.
0,5-0,4	0,2	99,7	Ед.	0,1	Ед.
0,4-0,315	0,2	99,7	Ед.	0,1	Ед.
0,315-0,25	0,2	99,2	Ед.	0,2	0,4
0,25-0,16	1,1	98,7	Ед.	Ед.	0,2
0,16-0,1	1,4	97,1	1,0	0,1	0,4
0,1-0,063	7,2	90,8	1,2	0,5	0,5
-0,063	3,5	91,5	0,5	0,5	1,0

Кварц в классах крупнее +0,315 мм составляет 99,7%, уменьшаясь в мелких классах (0,09-0,063 мм и 0,063-0 мм) до 90,8 и 91,5 соответственно. Минеральные примеси – мусковит, полевой шпат, хлорит, концентрируются в классе менее 0,1 мм. При измельчении до крупности 0,5 мм, основная часть минералов-примесей, приуроченных к микротрещинкам внутри зерен кварца, вскрывается и удаляется при обеспыливании - слюды на 56%, полевой шпат на 55%. Содержание элементов-примесей в обогащенной кварцевой крупке довольно высокое (табл. 5).

Таблица 5

Содержание элементов-примесей в кварце предварительной стадии обогащения (проба 1/2008, участок Меломайс)

Содержание элементов, ppm											
Al	Fe	K	Na	Ti	Li	Ca	Mg	Cu	Cr	Mn	Сумма
86	4,89	32,0	4,96	1,3	0,86	3,51	3,61	0,05	0,01	0,1	137,29

Кварц в концентрате находится большей частью в виде обломков различной формы. Изредка присутствуют зерна кварца с примазками полевых шпатов, развитых по заливчатым границам срастаний и не раскрывшихся при измельчении. Наблюдаются единичные зерна кварца с бурой сыпью гидрооксидов железа.

Следовательно, для кварца жил Меломайс и Фенькина Лампи, полученные данные по очистке крупки размером 0,5-0,1 мм соответствуют предварительной стадии обогащения и являются предельно достижимыми.

Для кварца жилы Меломайс, значительно загрязненного примесями, характерна более легкая обогатимость на предварительной стадии.

Очистка кварца на крупке меньшего размера (крупностью 0,315-0,1мм) по технологической схеме глубокого обогащения (рис. 10), используемой для очистки жильного кварца месторождения Додо, выполнена в ОАО «Полярный кварц». Обогащение крупки включало пятикратную магнитную сепарацию в полях высокой интенсивности (до 1280кА/м), выщелачивание в азотной кислоте, двойное выщелачивание в плавиковой кислоте, с отмывкой в деионизированной воде. При обогащении по технологии ОАО «Полярный кварц» количество примесей в кварце жил Меломайс и Фенькина Лампи снижается (табл. 6).

Таблица 6

Качественная характеристика кварцевых концентратов глубокого обогащения

Элементы	Содержание элементов-примесей, ppm					
	Меломайс			Фенькина-Лампи		
	миним	макс	среднее	миним	максим	среднее
Al	33	64	48	19	20	19,5
B	0,1	0,14	0,11	0,45	0,62	0,54
Ca	2,33	3,24	2,79	11-	12	11,5
Sr			0,08	0,19	0,20	0,20
Zn			0,049	0,10	0,13	0,12
V			0,1	0,13	0,37	0,25
Ni			0,013	0,013	0,014	0,014
Cr	0	0,04	0,2	0,012	0,017	0,15
Ge	0,07			0,3	0,33	0,31
Cu	0,04	0,14	0,08	0,03	0,08	0,06
Fe	3,25	5,84	4,66	0,74	0,81	0,78
K	12,14	28,67	20,83	14	15	14,5
Na	3,8	4,4	4,0			57
Mg	1,96	5,25	3,11	0,42	0,49	0,46
Mn	0,04	0,08	0,06	0,18	0,35	0,27
Ti	0,43	1,30	1,02	0,15	0,20	0,18
Zr	0,09	0,54	0,29	0,023	0,043	0,033
P			≤0,7			≤0,2
Co			≤0,01			≤0,01
Сумма примесей	59,21	109,29	85,2			108,1

Среди элементов-примесей в кварцевых концентратах из жилы Меломайс доминируют Al, K, Fe, Na и Mg при среднем суммарном содержании примесей - 85,2 ppm. По всей видимости, это связано с присутствием микровключений биотита, мусковита и полевых шпатов в зернах кварца, не раскрывшихся в процессе технологической обработки крупки размером 0,315-0,1мм.

В кварце Фенькина Лампи после обогащения крупки размером 0,315-0,1мм кварц содержит до 110 ppm примесей, среди которых доминируют Na (53%), K (18%), Ca (12%).

Выполненные ранее исследования кварца данных участков под микроскопом по общепринятой методике (подсчет по шлифам [4]) показали, что неоднородность состава кварца в значительной мере связана с флюидными включениями (жидкими, газовой-жидкими, газовыми и жидко-кристаллическими и др.), являющимися следствием процесса перекристаллизации [2]. Сравнение кварца исследуемых участков по газонасыщенности показывает значительные отличия. Для кварца участка Меломайс характерна невысокая средняя плотность включений - $3,38 \times 10^5 \text{ см}^{-2}$, что незначительно превышает газонасыщенность перекристаллизованного, гранулированного кварца и значительно ниже таковой у молочно-белого жильного кварца.

Флюидные включения имеют разные размеры, расположены хаотично, либо приурочены к микроскопическим трещинкам залечивания, либо образуют небольшие ореолы на границах зерен и вблизи минеральных включений.

Присутствуют как жидко-газовые включения с различным процентным содержанием газовой фазы, так и трехфазные включения с твердой фазой (рис. 11).

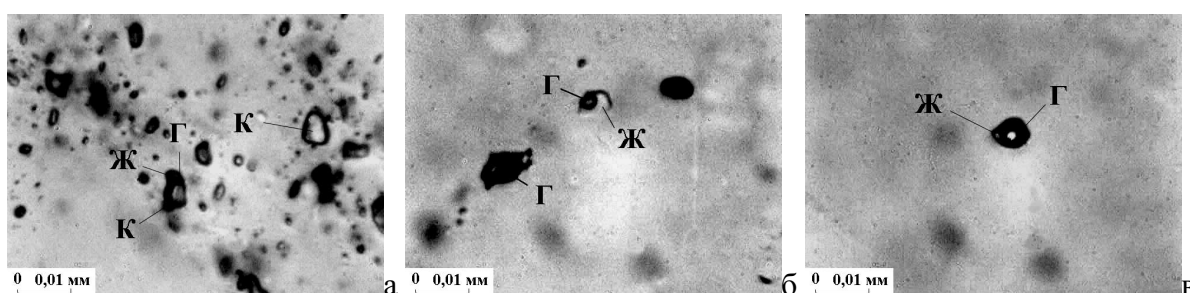


Рис. 11. Газово-жидкие включения в кварце участка Меломайс: а - включения водных растворов с твердой фазой, б – микротрещины с включениями с разным содержанием газовой фазы, в - единичные существенно-газовые

Флюидные включения в кварце жилы Фенькина-Лампи образуют густую сеть по различным трещинам залечивания и зонам дислокаций, участкам регенерации зерен кварца (рис. 12). Плотность включений довольно высокая - $10,66 \times 10^5 \text{ см}^{-2}$. Состав флюидных включений сложный, присутствует газовая, жидкая и кристаллическая фазы.

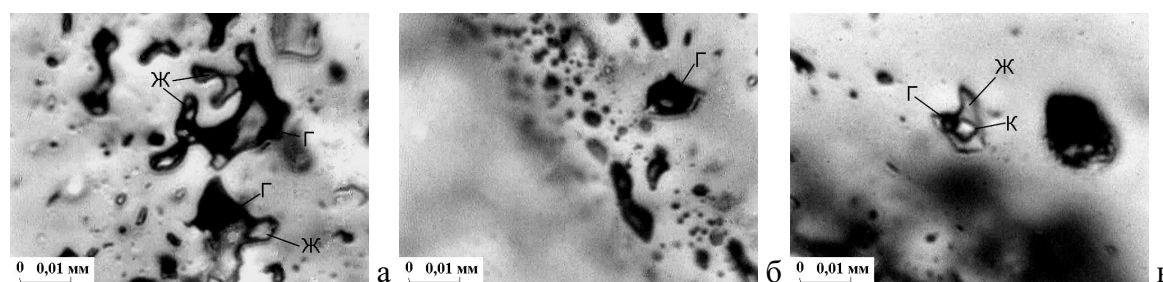


Рис. 12. Включения в кварце жилы Фенькина-Лампи: а, б - существенно-газовые включения по трещинам залечивания в местах катаклаза и регенерации зерен кварца, в - вторичные многофазные включения с твердой фазой

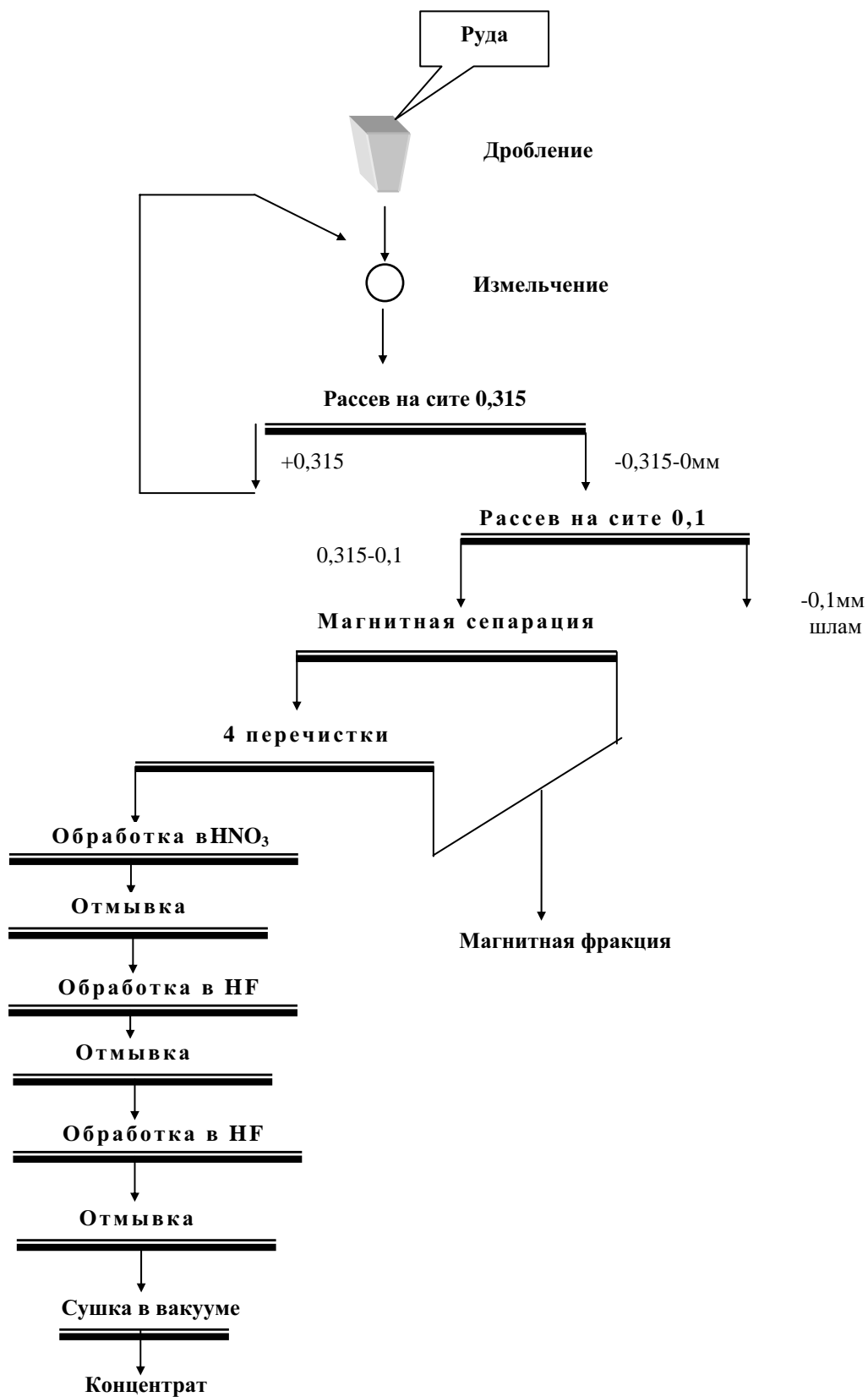


Рис. 10. Схема глубокого обогащения кварца в лаборатории ОАО «Полярный кварц»

Распределение флюидных включений в кварце участка Фенькина-Лампи по крупности позволяет говорить о возможности удаления в процессе измельчения части крупных включений [2]. По литературным данным и собственному опыту изучения состава флюидных включений в кварце, установлено, что состав флюидных включений характеризуется широким набором химических элементов, среди которых преобладают: натрий 77-361 мг/л, калий 51-420 мг/л, кальций 1-19 мг/л, магний 0,6-16 мг/л. Приведенные данные показывают, что флюидные включения вносят существенный вклад в состав элементов-примесей в кварцевых концентратах, особенно заметный в кварце участка Фенькина-Лампи.

Таким образом, на стадии глубокого обогащения качество кварца жилы Меломайс определяется эффективностью удаления минеральных микропримесей, а из кварца жилы Фенькина Лампи в значительной степени определяется флюидными включениями. Мелкие включения (<0,005 мм), оставаясь в кварце, ухудшают его качество и определяют предел обогатимости традиционными методами.

Выводы

Кварцевое сырье каждого участка (Меломайс, Фенькина-Лампи) обладает индивидуальным набором типоморфных признаков (текстурно-структурных, минеральных и газовой-жидких включений, структурных примесей), которые обусловлены геологическими условиями формирования.

Выбор технологий глубокого обогащения кварца должен быть основан на детальном изучении его типоморфных признаков. Для кварцевого сырья выбранных участков необходим подбор определенных схем обогащения, где важным этапом являются использование нетрадиционных методов, адаптированных к конкретным характеристикам кварца.

ЛИТЕРАТУРА

1. Данилевская Л.А., Раков Л.Т. Структурные примеси в кварце как важный критерий оценки качества кварцевого сырья и прогноза его технологических свойств // Матер. Первого Российского семинара по технологической минералогии. «Результаты фундаментальных и прикладных исследований по разработке методик технологической оценки руд металлов и промышленных минералов на ранних стадиях геологоразведочных работ». Петрозаводск КарНЦ РАН: 2006. С. 119-124.
2. Данилевская Л.А., Гаранжа А.В. Месторождение жильного кварца Фенькина-Лампи: геолого-минералогические аспекты формирования, типоморфные свойства и оценка качества // Геолого-технологические исследования промышленных минералов Фенноскандии. Петрозаводск КарНЦ РАН: 2003. С. 29-38
3. Данилевская Л.А., Сканницкая Л.С., Щитцов В.В. Кварцевое сырье Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2004. 226 с
4. Вертушков Г.Н., Емлин Э.Ф., Синкевич Г.А. и др. Жильный кварц восточного склона Урала, ч. 1 (методы исследования). Свердловск: Изд. Свердл. Горн. инст., 1969. 100 с.

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ МИНЕРАЛОГИИ АНОРТОЗИТОВ – СЫРЬЯ МНОГОЦЕЛЕВОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Бубнова Т.П., Гаранжа А.В.

ИГ КарНЦ РАН, г. Петрозаводск

Анортозит - наиболее общее и употребляемое название практически мономинеральной плагиоклазовой породы семейства габброидов, состоящей из основного, реже среднего плагиоклаза. Котозерское проявление анортозитов привлекает внимание как источник нетрадиционного плагиоклазового сырья многоцелевого назначения. Оно расположено в Лоухском районе Карелии, близ ж. д. ст. Котозеро на площади развития образований беломорского комплекса Беломорского подвижного пояса. Геолого-технологическая оценка позволила среди измененных в различной степени анортозитов выделить участок, представляющий практический интерес [1], который сложен неизменными (слабоизмененными) и метаанортозитами (таблицы 1, 2). Для обогащения и дальнейшего изучения возможностей использования анортозитов на Котозерском массиве были отобраны укрупненные технологические пробы: Т-1 – из слабоизмененных анортозитов, Т-2 – из метаанортозитов.

Плагиоклаз участка Котозеро представлен крупными, удлиненными пластинами (до 1 мм) и мелкими вторичными зернами (0,1-0,4 мм). Встречаются равномернозернистые разности (0,2-0,6 мм) (рис. 1).

Для уточнения количественного состава непосредственно плагиоклазов с определением их номеров проведен пересчет химических анализов на нормативные минералы. За основу расчетов принят нормативно-молекулярный метод Нигли [2]. Химический состав определялся по монофракциям из анортозитовых концентратов. Также было привлечено изучение состава плагиоклазов приполированных образцов на сканирующем электронном микроскопе VEGA II LSH с анализатором INCA Energy 350 (условия анализа: ускоряющее напряжение-20kV, ток зонда-350pA). Данный микроскоп полностью управляется через персональный