

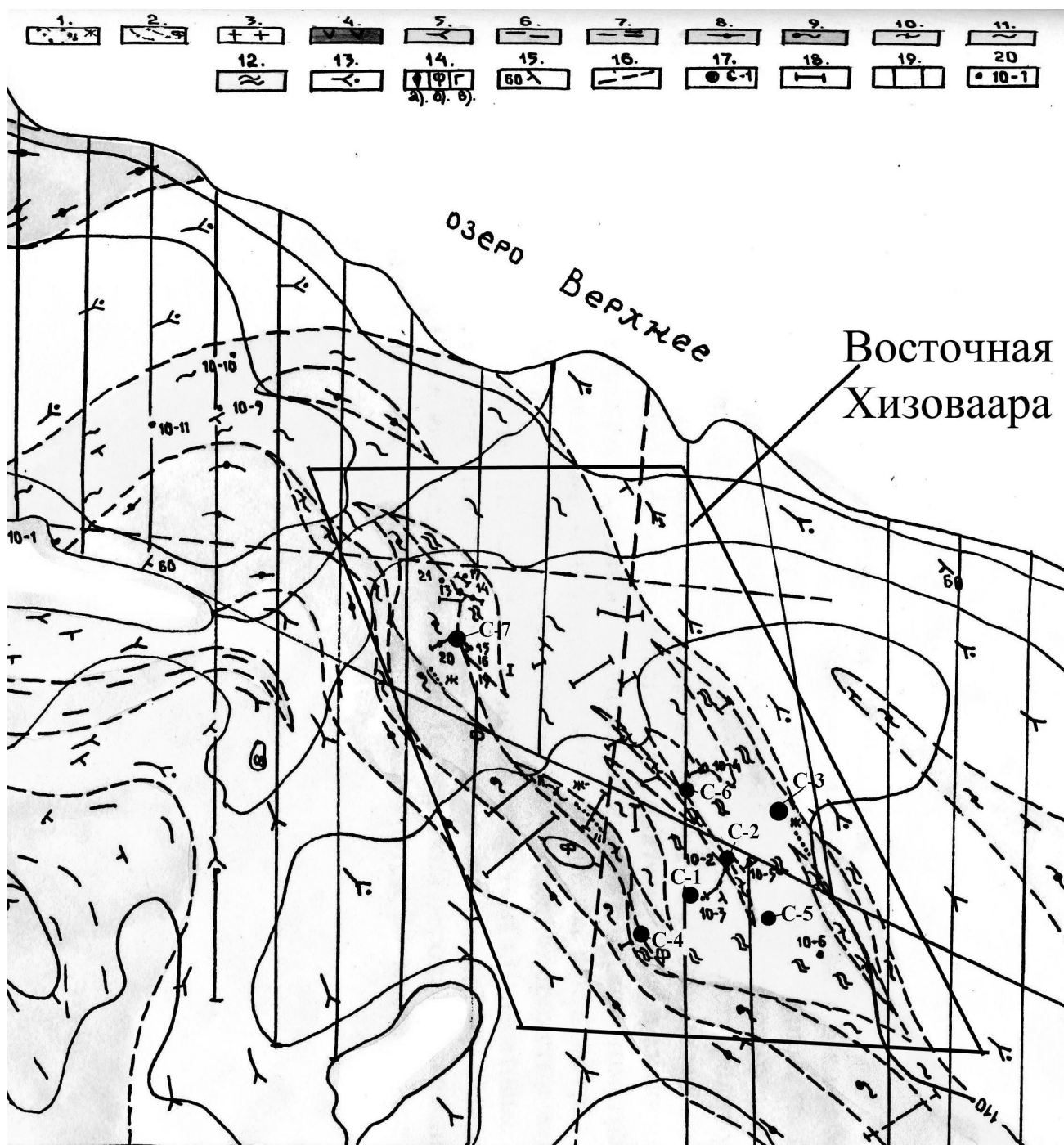


Рис. 2. Фрагмент карты Хизоваарского рудного поля с участком Восточная Хизоваара [3]

1 – кварцевые жилы; 2 – фукситовые жилы; 3 – плагиогранит; 4 – габбро-диабазы; 5 – амфиболиты массивные, слабосланцеватые, иногда с гранатом; 6 – лейкократовые биотитовые гнейсы слабосланцеватые, иногда с гранатом и амфиболом; 7 – кварц-мусковит-биотитовые сланцы мелкозернистые; 8 – биотит-гранатовые сланцы с мусковитом, кинанитом, ставролитом, сульфидами; 9 – амфибол-кианитовые сланцы средне-крупнозернистые рассланцованные с гранатом, мусковитом, биотитом, сульфидами, магнетитом, графитом; 10 – кварц-кианитовые сланцы мелкозернистые массивные и слабо-сланцеватые, иногда с мусковитом, гранатом, сульфидами; 11 – кварц-мусковитовые сланцы тонко-мелкозернистые с редким гранатом, кинанитом, сульфидами; 12 – кварц-мусковитовые сланцы мелко-крупнозернистые рассланцованные с сульфидами, иногда с гранатом, ставролитом, графитом; 13 – гранатовые амфиболиты средне-крупнозернистые рассланцованные, иногда с кинанитом; 14 – а) ставролит, б) фуксит, в) графит; 15 – элемент залегания пород; 16 – контакты пород; 17 – скважины и их номера; 18 – канавы и их номера; 19 – линии поисковых маршрутов; 20 – места отбора проб

В результате проведенных Северной поисково-разведочной экспедицией совместно с Институтом геологии КарНЦ РАН поисковых и оценочных работ на участке Восточная Хизоваара было выявлено и оценено месторождение маложелезистого чешуйчатого мусковита, пригодного для всех областей использования, в том числе и для высокотехнологичных перламутровых пигментов [1, 2]. В результате разведочных работ были пробурены скважины, произведено опробование мусковитовых пород и технологические испытания на получение мусковитового концентрата, а также подсчитаны запасы мусковита и полезных компонентов, которые могут быть извлечены попутно при добыче – кварца и кианита. Запасы мусковита по категории С₂ в 1 блоке составляют 4721 тыс. т, кварца – 2408 тыс. т (при среднем содержании 51%), кианита – 297 тыс. т (при среднем содержании 6,3%) [2, 3].

Месторождение в геологическом плане приурочено к восточной части Хизоваарской структуры. Оно представляет собой линзообразное тело, вытянутое в направлении СЗ-340°, протяженностью 200 м, мощностью до 100 м (рис. 2). Полезная толща залегает согласно с вмещающими породами. Подстилающие породы представлены кварц-серицитовыми сланцами с прослоями кварцитов, перекрывающиеся – порфиробластическими биотит-гранат-мусковитовыми сланцами с кианитом, ставролитом.

Внешне кварц-мусковитовые метасоматиты – это светло-серые мелко-, среднезернистые рассланцованные породы, состоящие из кварца (50-70%) и мусковита (20-35%), кроме того, наблюдаются реликтовые зерна плагиоклаза и кианита, графит, биотит, эпидот, сульфиды (пирит, сфалерит), в качестве аксессуарных присутствуют турмалин, рутил, титанит, апатит, кальцит, циркон. Структура пород пойкило-гломеробластовая, иногда пойкило-порфиробластовая, структура основной массы лепидо-гранобластовая.

Практический интерес представляют кварц-мусковитовые сланцы с содержанием мусковита от 20 до 30%, составляющие до 70% от общей массы породы. Данные породы являются комплексными рудами, так как в своем составе содержат мусковит в ассоциации с кварцем и кианитом. По данным минералогического анализа среднее содержание кварца в исходной руде по месторождению варьирует от 12,7 до 68%, кианита – от 2,1 до 13,6%.

Выделяется 3 генерации кварца: 1) мелкие зерна с ровными, четкими границами (размер 0,07-0,35 мм) в сростании с плагиоклазом; 2) крупные порфиробласты (до 2,4 мм) в сростании с мусковитом; 3) включения и структуры замещения в плагиоклазе. Второстепенными минералами являются плагиоклаз, кианит, биотит, которые содержатся в разных количествах в пределах распространения данных пород по месторождению. Кианит представлен: 1) призматическими и удлиненными кристаллами с включениями кварца и рутила в сростании с мусковитом и рудными (размер 0,33-1,75 мм); 2) реликтовыми корродированными зернами в сростании с мусковитом, плагиоклазом (размер 0,2-1,1 мм). Изменчивость минерального состава показана на рис. 3 на примере скважины 4.

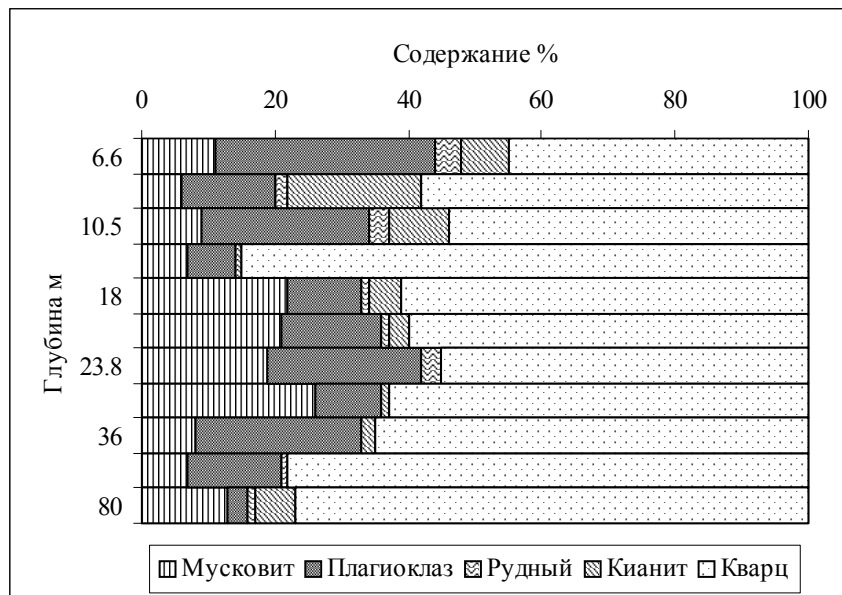


Рис. 3. Изменение минерального состава породы с глубиной в скважине 4

Характеристика технологических проб

Для проведения технологических испытаний и оценки возможности получения чистых кварцевых концентратов были использованы хвосты обогащения мусковитовых проб по скважине № 4 (проба 1) и усредненная проба керна по скважине № 7 (проба 2). Пробы были выбраны по данным химических анализов, как наиболее чистые, с более высокими содержаниями SiO₂.

Проба 1 (Скважина 4)

Минеральный состав руды по скважине 4 следующий: кварц – 45-60%, плагиоклаз – 10-30%, мусковит – 8-25%, кианит – 2-9%. Характерно присутствие графита во всех шлифах по скважине, в среднем около 2%, турмалин иногда до 5%, биотит (флогопит) присутствует вместе с мусковитом. Акцессорные – рутил, титанит, кальцит. Графит местами прорастает зерна кварца. Иногда внутри зерен кварца наблюдаются включения турмалина. В крупных зернах кварца встречаются мелкие включения серицита (рис. 4).

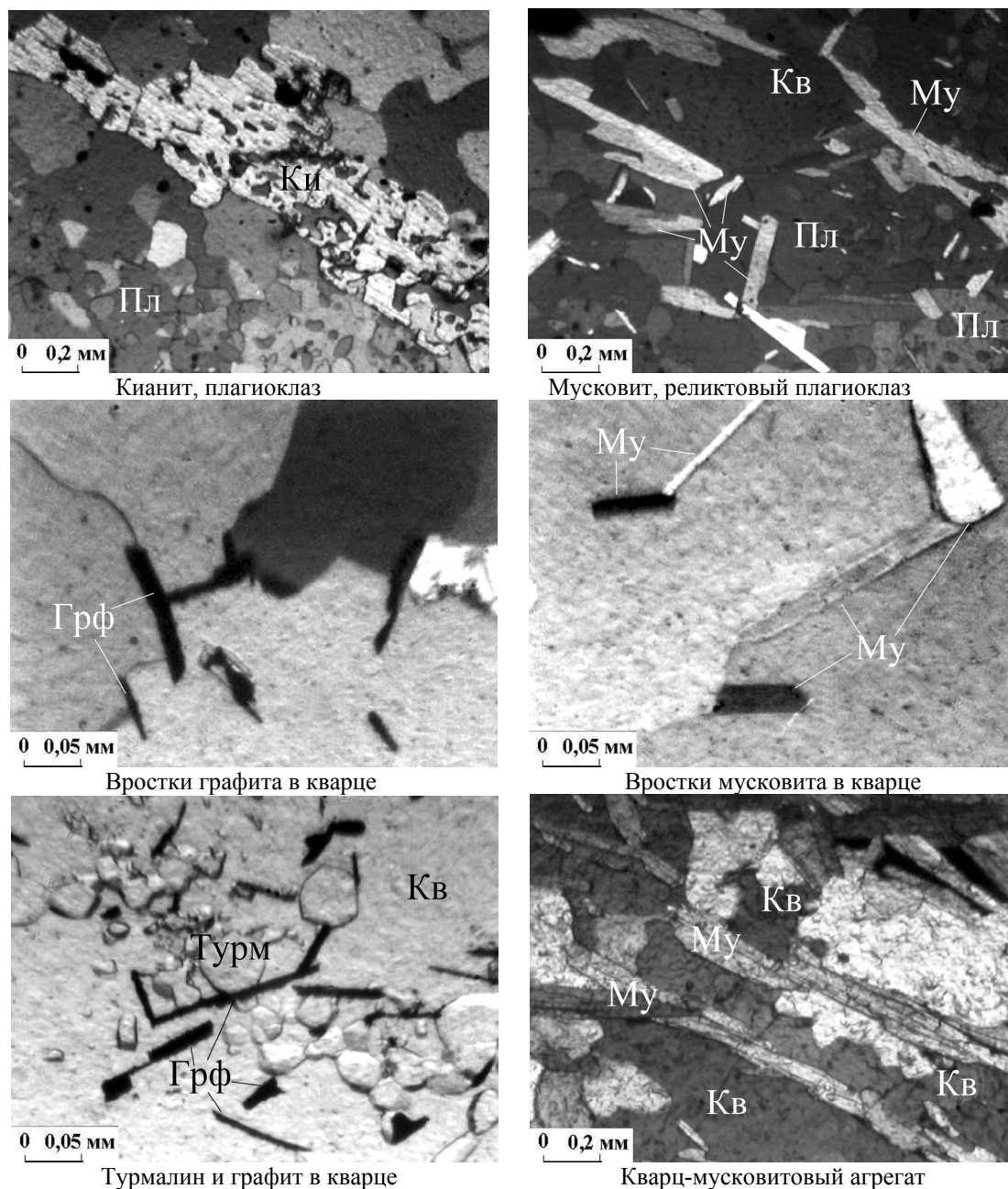


Рис. 4. Минеральные включения в кварце по СКВ 4 (фото шлифов)

Проба 2 (Скважина-7)

Минеральный состав пород: кварц – 60-80%, плагиоклаз – 1-10%, кианит – 3%, мусковит – 10-30%, турмалин – 2-7% (не во всех шлифах), биотит (флогопит) иногда присутствует вместе с мусковитом. Акцессорные – рудный (до 2%), кальцит, апатит, рутил (рис. 5).

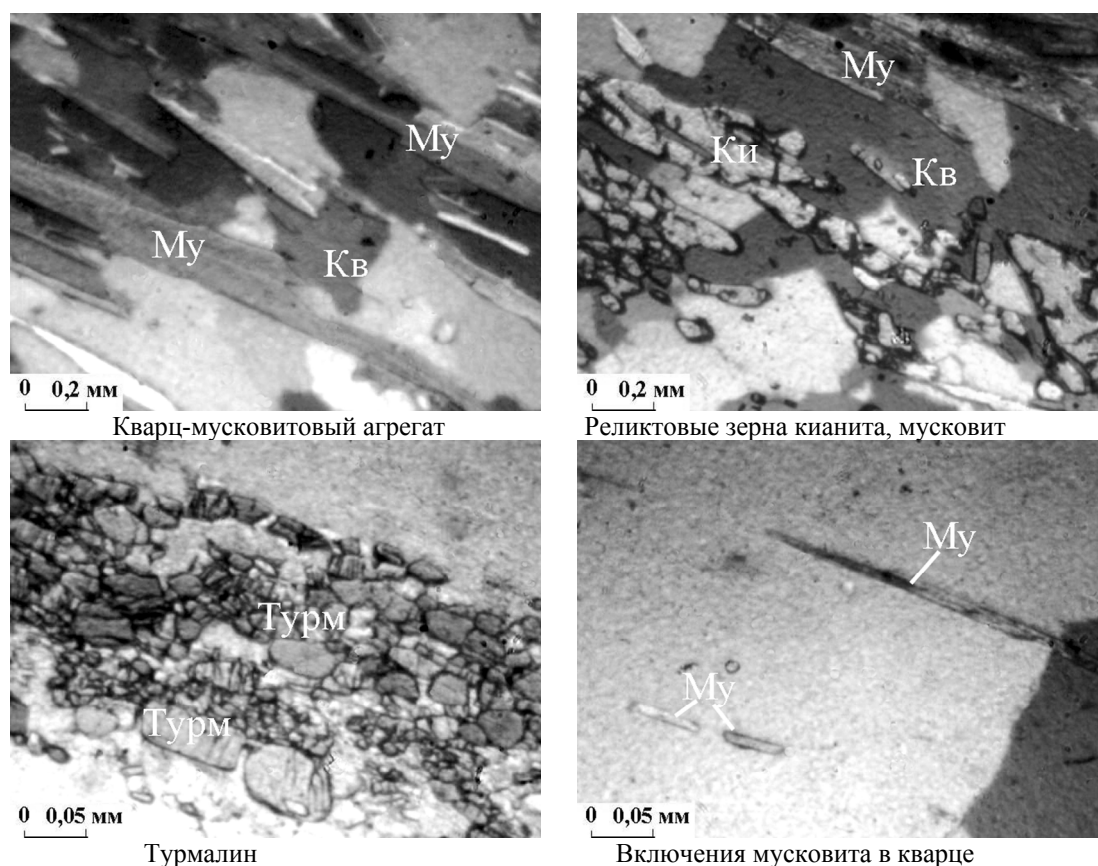


Рис. 5. Минеральные включения в кварце по СКВ 7 (фото шлифов)

Технологические испытания

Поскольку данное месторождение рассматривается как комплексное, в процессе исследований по отработке технологии прорабатывались следующие задачи:

1. Отработка схемы рудоподготовки (дробление, измельчение, выделение продуктивной фракции) с целью обеспечения полного раскрытия сростков минералов;
2. Отработка схемы гравитационного обогащения получения мусковитового концентрата;
3. Отработка схемы дообогащения хвостов мусковитового цикла с получением кварцевого продукта; обоснование необходимой и рациональной глубины обогащения по кварцу (определение пределов снижения содержания минеральных примесей в кварцевом продукте).

Обогащение кварц-мусковитовых метасоматитов проводилось на лабораторных пробах в период разведки месторождения на мелкозернистый мусковит [3]. Согласно технологии, исходный материал после дробления обесшламливается по классу $-0,1$ мм; фракция $+0,1$ мм поступает на гравитационное обогащение (концентрация на столах) по схеме, включающей основную концентрацию и две перечистки промежуточного продукта. Мусковитовый концентрат содержит 95,6% мусковита при извлечении 83% мусковита из руды. Технологические потери связаны со шламами, сливом и промпродуктами гравитации и хвостами.

Исследование цикла получения мусковита по альтернативной технологии включает измельчение до крупности 0,5 мм в замкнутом цикле с дезинтеграцией в стержневой мельнице, классификацию и гидравлическую сепарацию. Полученный готовый мусковитовый концентрат содержит 97% мусковита при извлечении 6,3%. Подрешетный продукт грохочения, поступает на двухступенчатую классификацию, в результате которой из процесса выводится фракция $-0,16$ мм, выход которой 24,9% при содержании мусковита 15%. Фракция $+0,16$ мм после классификации поступает на двухстадийное обогащение на концентрационных столах, в результате которого выделяется мусковитовый продукт, содержащий около 98% мусковита при извлечении 51,9%. Технология, сочетающая гидравлическую и гравитационную технологию, характеризуется многостадийностью при более низком уровне технологического извлечения мусковита.

Проведение исследований по обогатимости кварц-мусковитовых метасоматитов с получением чистого кварцевого концентрата (проба 1 и проба 2) осуществлялось на основе гравитационной технологии. Химический и минеральный составы технологических проб представлены в табл. 1 и табл. 2.

По данным минералогического анализа зерна кварца имеют изометричную (до 1-2 мм) и более идиоморфную (0,2-0,3 мм) форму с извилистыми краями, основная масса зерен имеет размер 0,2-0,3 мм. Кварц содержится в виде свободных зерен и в виде сростков с кианитом и полевым шпатом, кроме того, отмечается наличие тонких включений в кварце темноцветных минералов. Установлены три вида включений:

- 1 – красно-бурые кристаллы рутила размером в сотые доли мм

2 – бесцветные, хорошо ограненные кристаллы циркона (сотые доли мм)

3 – тонкие лейсты мусковита (десятые и сотые доли мм)

Микровключения расположены чаще внутри зерен кварца, а в более крупных зернах различаются трещинки сжатия, вдоль которых наблюдаются цепочки микроскопических зерен кианита, чешуйки слюды. При дроблении породы часть микровключений из зон трещиноватости выкрашивается, а более тонкие вкрапления (особенно рутила) остаются.

Таблица 1. Химический состав технологических проб

Проба	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O	ппп	Сумма
ПР-1	73,61	0,40	16,42	0,52	0,72	0,015	0,53	0,51	1,87	2,91	0,42	2,00	99,93
ПР-2	77,74	0,20	15,02	0,42	0,14	0,008	0,31	0,21	1,29	2,18	0,19	1,83	99,53

Таблица 2. Минеральный состав технологических проб

Минералы	Содержание % по массе	
	Пр-1	Пр-2
Мусковит	32,75	21,00
Кварц	52,40	60,57
Кианит	6,40	5,89
Плагноклаз	5,99	8,42
Рутил	0,20	0,23
Сульфиды	2,20	3,43
Второстепенные и акцессории (хлорит, гематит, турмалин, гранат, циркон и др)	0,06	0,46

Полевой шпат представлен плагноклазом и встречается среди зерен кварца в виде мелких (доли мм) пластинок.

Для кианита характерны удлиненные до 1,5-2 мм иголки и пластинчатые (0,3-0,45 мм) зерна, ориентированные вдоль и поперек сланцеватости, с микровключениями кварца, турмалина, слюды, сульфидов. Значительная часть зерен кианита представлена более мелкими (0,03-0,1 мм) бесцветными зернами, иногда образующими скопления среди зерен кварца.

Мусковит образует два типа сростаний: единичные разноориентированные лейсты в кварц-полевошпатовой массе и линейные скопления, придающие породе сланцеватый облик. Мусковит представлен в виде скоплений нескольких видов: 1 – тонкими лейстами (0,02х0,1 мм, 0,05х0,01 мм, 0,07х0,01 мм) и тонкими “пакетами” размером 0,5х1,5 мм, 0,5х0,1 мм, расположенными на границе зерен кварц-кварц, кварц-плагноклаз, кварц-кианит, причем многие зерна кварца находятся как бы «в рубашке» из лейст мусковита; 2 – линейные скопления размером 0,3х3,8 мм, 0,4х4,5 мм, ориентированные согласно общей сланцеватости породы; 3 – разноориентированные скопления мусковита вокруг изометричных трещиноватых зерен кианита и отдельные лейсты, заполняющие трещинки в зернах кианита. Границы зерен мусковита обычно ровные, но в случае образования скоплений, наблюдаются извилистые, ступенчатые, занозистые окончания лейст мусковита.

Акцессорные минералы представлены сульфидами (пиритом, сфалеритом), рутилом, цирконом (рис. 6)

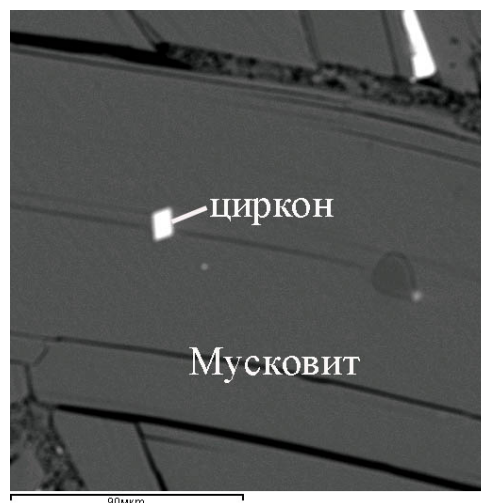
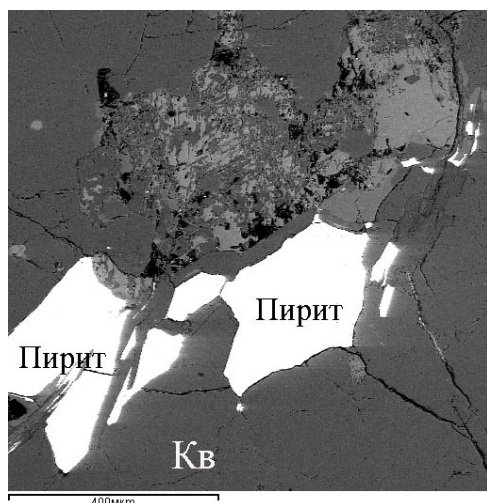


Рис. 6. Включения акцессорных минералов (фото с микроскопа Tescan)

Отработка схемы рудоподготовки

Дробление породы в лабораторных условиях осуществлялось в две стадии до крупности 5 мм (щековая дробилка). Для устранения переизмельчения мусковита вторая стадия дробления осуществлялась в замкнутом цикле с классификацией по фракции –1,25 мм. Измельчение проводилось в керамической мельнице с использованием уралитовых шаров, исключающих привнесение технологического железа.

Оптимальная крупность измельчения перед обогащением, установленная опытным путем (табл. 3), обеспечивает удовлетворительную раскрываемость мусковита. При увеличении крупности велико количество нераскрытых сростков мусковита с кварцем, а уменьшение крупности приводит к резкому увеличению (до 25%) выхода шламов.

Таблица 3. Гранулометрический состав измельченных в оптимальном режиме проб

Крупность по фракциям, мм	ПР-1		ПР-2	
	Частный выход, %	Суммарный выход, %	Частный выход, %	Суммарный выход, %
1,25-1	1,66	1,66	5,44	5,44
1+0,63	4,83	6,49	8,48	13,92
0,63+0,315	10,35	16,84	34,34	48,26
0,315+0,16	29,01	45,85	28,19	76,45
0,16+0,1	37,11	82,96	8,98	85,44
-0,1	17,04	100,00	14,56	100,00
Сумма	100,00		100,00	

Проба 2 (ПР-2), составленная по керну скважины 7, несколько прочнее пробы 1 (ПР-1), отобранной по скважине 4.

Отработка схемы гравитационного обогащения была осуществлена на материале технологической пробы ПР-1 и проверялась на пробе ПР-2. Режим гравитационного процесса приведен в табл. 4.

Таблица 4. Режимы гравитационного процесса

Регулируемые параметры	Операции		
	Основная	1-ая пересортика	2-ая пересортика
Нагрузка, кг/мин	0,15	0,1	0,05
Число оборотов вала, об/мин	540	540	540
Длина хода деки стола, мм	4	5	10
Расход воды, л/мин	8	7	5
Угол наклона деки, °	7	2,5	5

Показатели цикла выделения мусковита даны в табл. 5.

Таблица 5. Свободный баланс результатов обогащения мусковитового цикла по пробам

Продукты		Технологические показатели, %		
		Выход	Содержание мусковита	Извлечение мусковита
Проба 1	Мусковитовый концентрат	22,37	98,05	66,98
	Кианитовый продукт (тяжелая фр.)	4,22	ед	-
	Кварцевый продукт	56,34	1,58	12,37
	Шлам (-0,1мм)	17,07	39,62	20,65
	Исходная руда	100	32,75	100
Проба 2	Мусковитовый концентрат	18,17	98,2	84,96
	Кианитовый продукт (тяжелая фр.)	4,14	ед	-
	Кварцевый продукт	64,62	0,62	1,91
	Шлам (-0,1мм)	13,07	21,09	13,13
	Исходная руда	100	21,00	100

Сравнение полученных по двум пробам результатов (табл. 5) указывает на значительную разницу в уровне технологического извлечения: 66,98% и 84,96% соответственно. Низкое извлечение мусковита в пробе 1 напрямую связано с потерями мусковита со шламами – 20,65%, что является особенностью данной пробы.

Отработка схемы получения кварцевого концентрата

Отработка технологии получения кварцевого концентрата выполнена на материале хвостов мусковитового цикла гравитационного обогащения. Гравитационные хвосты (кварцевый продукт) в основной массе представлены разнотонной массой крупностью 1-0,1 мм. Гранулометрический состав хвостов гравитационного обогащения мусковита приведен в табл. 6.

Таблица 6. Гранулометрический состав хвостов обогащения мусковита

Проба	Фракция мм, %				
	1,25-1	1-0,5	0,5-0,315	0,315-0,16	0,16-0,1
ПР-1	1,73	26,77	23,5	34,6	13,4
ПР-2	2,01	28,62	22,12	36,15	11,10

Кварцевый продукт после выделения мусковита, полученный при изучении обогатимости мусковитовых кварцитов при технологическом картировании по СКВ 4 и СКВ-7, характеризовался низким значением SiO_2 и высоким Al_2O_3 , Na_2O и K_2O (табл. 7).

Таблица 7. Средний химический состав хвостов обогащения мусковитовых кварцитов по скважинам

№ скв	Значение	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	H_2O	nnn	P_2O_5
4	Минимум	82,34	0,07	5,60	0,02	0,01	0,003	0,05	0,70	0,38	0,18	0,06	0,06	0,06
	Максимум	92,00	0,21	11,09	0,04	0,06	0,007	0,40	1,66	4,03	1,19	1,37	1,35	0,1
	Среднее	86,23	0,11	8,36	0,03	0,03	0,005	0,19	1,21	1,87	0,72	0,49	0,71	0,08
7	Минимум	81,30	0,09	3,41	0,04	0	0,002	0,01	0,21	0,78	0,20	0,01	0,27	0,08
	Максимум	92,42	0,14	13,71	0,17	0,06	0,002	0,15	0,43	1,28	1,60	0,12	1,48	0,17
	Среднее	89,99	0,16	6,73	0,08	0,02	0,002	0,06	0,31	0,97	0,71	0,07	0,58	0,12

Минералогический анализ хвостов гравитационного цикла по пробам показал, что фракция хвостов крупностью более 0,50 мм, составляющая 26,77 и 28,62% соответственно, на 40% состоит из кианита и его сростков с кварцем и плагиоклазом и не содержит мусковита. Фракция 0,50-0,315 мм в основной массе представлена кварцем и его сростками с полевым шпатом и кианитом, в небольшом количестве содержит тонкошелушчатую слюду и единичные сростки мусковита с кварцем.

Фракция крупностью 0,315-0,1 мм содержит не более 4-5% сростков кварца с другими минералами. Количество этой фракции по пробам 1 и 2 соответственно составляет 48% и 47,25% от общей массы хвостов. В некоторых зернах кварца отмечается наличие тонких включений темноцветных минералов, слюды (рис. 7).

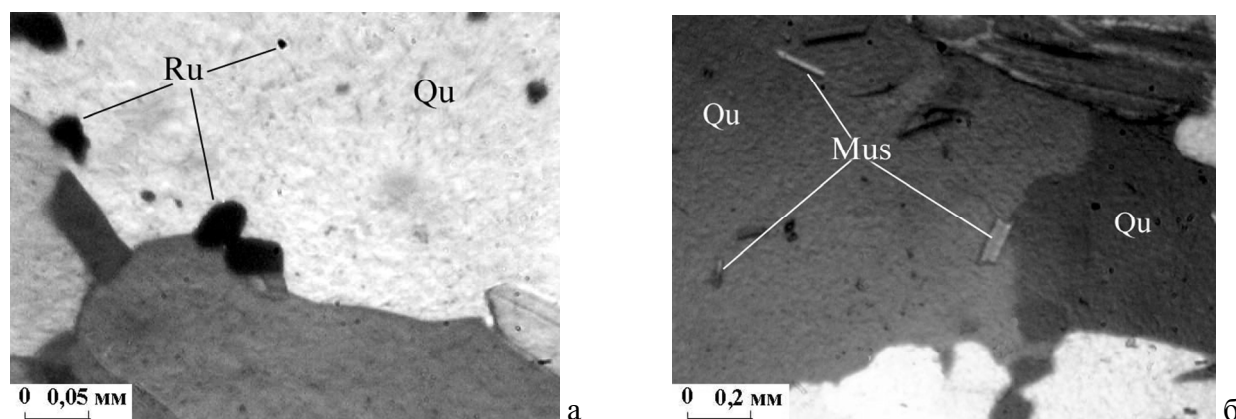


Рис. 7. Включения в зернах кварца: а – рутила, б – мусковита

При дроблении породы часть микровключений из зон трещиноватости выкрашивается, а более тонкие вкрапления (особенно рутила) остаются.

Минеральный состав фракции 0,315-0,1 мм из хвостов мусковитового цикла по пробам приведен в табл. 8.

Таблица 8. Минеральный состав фракции 0,315-0,1 мм из хвостов мусковитового цикла

Минералы	Содержание %	
	Проба 1	Проба 2
Кварц	91,35	90,94
Мусковит	1,06	0,62
Полевой шпат (плагноклаз)	4,32	4,01
Кианит	3,96	4,12
Турмалин	Ед	-
Рутил	0,01	0,01
Сульфиды	0,1	0,1
Гематит	0,2	0,1

В составе фракции 0,315-0,1 мм по пробам кварц не превышает 91,5%. Силикаты представлены плагноклазом до 4,32% и кианитом – до 4,12%. Темноцветные минералы-примеси представлены турмалином, гематитом, сульфидами и рутилом.

Отработка схемы с определением пределов снижения содержания минеральных примесей в кварцевом концентрате

Так как в составе хвостов гравитации кроме кварца присутствуют мусковит, полевой шпат и рутил, выяснялась принципиальная возможность получения кварца с содержанием примесей менее 100 ppm.

Учитывая наличие нераскрытых сростков и возможность снижения себестоимости конечного кварца, из схемы дообогащения исключено доизмельчение хвостов, а использована классификация по фракции 0,315 мм. Фракция кварца крупнее 0,315 мм выведена из процесса, при необходимости она может быть использован в стекольном производстве для изготовления стеклотары.

Для отработки схемы получения кварца с чистотой на уровне 100 ppm и менее использована фракция 0,315-0,1 мм. Химический состав фракции 0,315-0,1 мм после классификации приведен в табл. 9.

Таблица 9. Химический состав кварцевого продукта

Номер пробы	Содержание оксидов, вес. %											
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O	Ппп	Σ
ПР-1	93,36	0,08	4,99	0,06	Не опр	0,01	0,10	0,67	0,12	0,05	0,43	99,86
ПР-2	93,80	0,08	3,90	0,10	0,002	0,29	0,22	0,71	0,09	0,06	0,076	100,01

Опыты по обогащению выполнены на лабораторном оборудовании в открытом цикле. Учитывая крупность и полиминеральный состав хвостов, а также учитывая опыт зарубежных фирм и собственный опыт, обогащение выполнено по схеме включающей флотацию в несколько стадий с последующей магнитной сепарацией и выщелачиванием. В голове процесса флотации удаляли сульфиды, затем мусковит, кианит и в последнюю стадию – полевые шпаты (рис. 8).

Технологические показатели флотации и использованные реагенты даны в табл. 10.

Таблица 10. Выход продуктов разделения и использованные реагенты

Проба	Продукт	Выход от, %			Применяемые реагенты
		Операции	Фракции	Исходной	
ПР-1	Кварцевый концентрат	84,92	40,76	22,98	
	Сульфидный	2,16	1,04	0,58	ксантогенат, неонол,
	Слюдяной	4,86	2,33	1,32	Таловое масло+ АНП, сосновое масло
	Кианитовый	3,88	1,86	1,05	Серная кислота, сульфанол
	полевошпатовый	4,18	2,01	1,13	Плавиковая кислота, АНП
	Фракция 0,315-0,1мм	100	48,00	27,06	
ПР-2	Кварцевый концентрат	87,68	44,02	26,74	
	Сульфидный	0,32	0,21	0,13	ксантогенат, неонол,
	Слюдяной	2,33	1,1	0,71	Таловое масло+ АНП, сосновое масло
	Кианитовый	4,14	1,96	1,26	Серная кислота, сульфанол
	полевошпатовый	5,53	2,61	1,69	Плавиковая кислота, АНП
	Фракция 0,315-0,1мм	100	47,25	30,53	

Визуальный просмотр кварца пробы ПР-1 после флотационной очистки показал наличие включений темноцветных минералов и пленок гидроксидов железа.

Кварц пробы ПР-2 содержит включения рудного минерала, мусковита, турмалина, апатита.

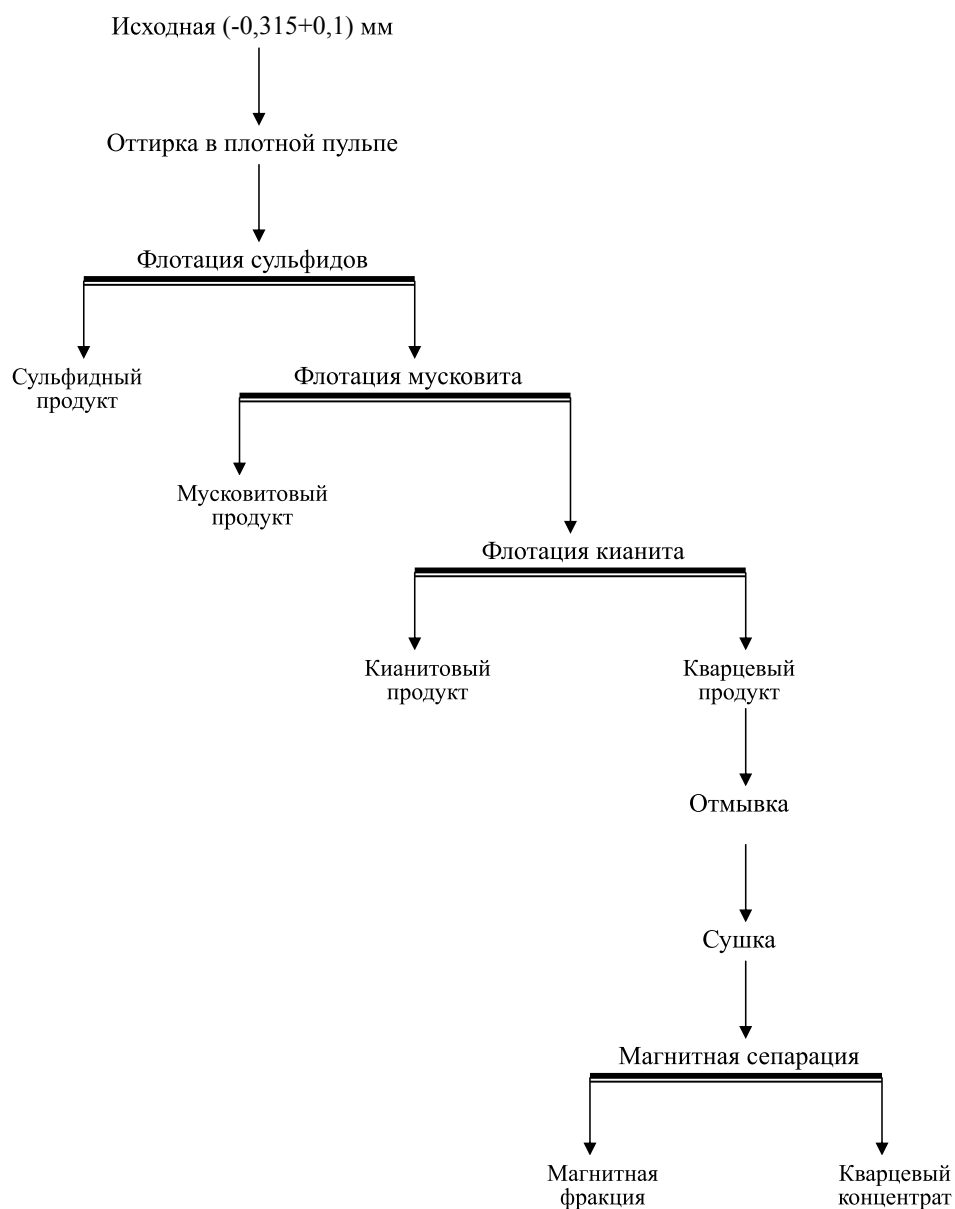


Рис. 8. Технологическая схема получения кварца из хвостов мусковитового цикла

Химический состав опытной партии кварцевого концентрата ПР-1 представлен в табл. 11, минеральный – в табл. 12.

Таблица 11. Химический состав кварцевого концентрата пробы ПР-1

Содержание оксидов, вес.%											
SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O	Ппп	Σ
98,20	0,01	0,26	0,006	0,002	0,15	0,01	0,08	0,08	0,01	0,19	99,77

Таблица 12. Минеральный состав кварцевого концентрата из пробы ПР-1

Минералы	Содержание, % по массе	Примечание
Кварц	97,62	В отдельных зернах кварца содержатся микровключения зерен рутила и турмалина
Мусковит	0,3	
Плагиоклаз	1,2	
Кианит	0,67	
Рутил	0,21	
Карбонаты	ед	

Развитый в кварце по микротрещинкам кальцит (рис. 9) при дроблении вскрывается, но тонкие его примазки остаются, загрязняя кварц.

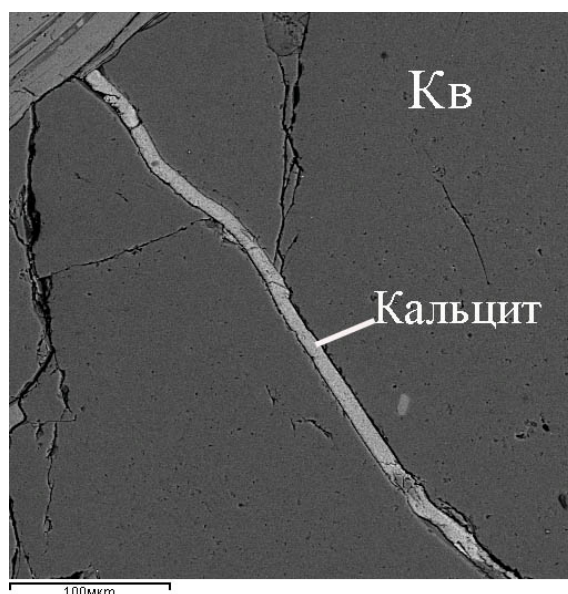


Рис. 9. Пржилок кальцита в кварце (фото с микроскопа Tescan)

Для повышения чистоты кварца выполнены магнитная и изодинамическая сепарации, а для удаления кальцита, силикатов и пленочных минералов использовали выщелачивание в соляной и плавиковой кислотах, которые являются обязательной операцией при очистке кварца.

Качественная характеристика концентрата глубокой очистки кварца пробы ПР-1 показана в табл. 13, а распределение по операциям отделяемых примесей в табл. 14.

Таблица 13. Качественный состав конечного концентрата глубокого обогащения пробы ПР-1

Номер пробы	Содержание элементов-примесей, ppm																			Сумма	
	Fe	Ti	Zr	Al	Mn	Sr	Zn	B	Mg	Ca	Ba	Ni	Cr	Cu	K	Na	Li	Ge	P		Co
ПР-1	5.6	60	6.8	66	0.25	0.38	0.15	0.22	8	17	0.92	0.035	0.06	0.22	16	51	0.17	0.8	2.8	0.13	236.485

Низкое качество кварцевого концентрата связано с присутствием микровключений реликтовых зерен плагиоклаза, мусковита, и рутила, не удаляемых при флотации и сепарации.

Уменьшение крупности до 0,2 мм, проводившееся при обогащении пробы ПР-2, и введение в схему дополнительно операций сепарации в изодинамических полях и второй цикл выщелачивания привело к снижению селективности разделения, за счет повышения удельной поверхности и соответственно сорбционной активности кварца, что видно из табл. 15.

Таблица 14. Распределение потерь по операциям при обогащении пробы ПР-1

Операция очистки	Выход, %
Флотация	16,32
Магнитная сепарация	4,17
Изодинамическая сепарация	6,64
Выщелачивание	72,87
Общие потери	15,81
Конечный кварцевый концентрат	22,51

Основная часть потерь приходится на цикл выщелачивания.

Таблица 15. Качественный состав конечного концентрата глубокого обогащения пробы ПР-2

Номер пробы	Содержание элементов-примесей, ppm																				Сумма
	Fe	Ti	Zr	Al	Mn	Sr	Zn	B	Mg	Ca	Ba	Ni	Cr	Cu	K	Na	Li	Ge	P	Co	
ПР-2	29	430	9.5	820	0.08	2.5	0.25	0.33	1	51	0.19	0.4	0.28	0.32	7.8	99	0.12	1.5	1	0.92	1455.19

Повышенные содержания Al, Ti, Na, Ca и Fe говорят о том, что в кварце остались не удаленные реликтовые включения плагиоклаза, а также мусковит, пирит и рутил микронных размеров (рис. 10).

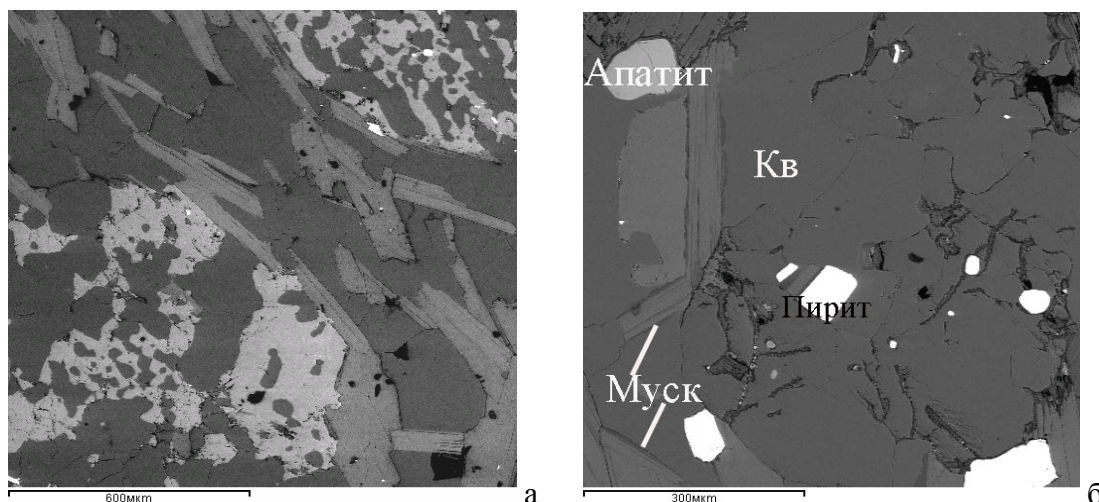


Рис. 10. а – реликтовые зерна плагиоклаза, б – мелкие включения, мусковита, апатита и пирита (фото с микроскопа Tescan)

Из приведенных данных видно, что разработанная схема обогащения кварцевого концентрата не обеспечивает получение кварца с содержанием примесей менее 100 ppm. Полученные результаты глубокого обогащения кварца, по всей видимости, являются предельными для выбранной крупности.

Таким образом, в результате выполненных исследований обогатимости кварц-мусковитовых метасоматитов, установлено следующее:

1. Технология гравитационного обогащения, основанная на последовательном дроблении, измельчении исходной руды, обесшламливании по классу $-0,1\text{мм}$ и концентрации на столах обеспечивает получение мусковитового концентрата, содержащего 98–99% мусковита. Уровень технологического извлечения зависит от содержания мусковита в исходной руде и особенностей ее вещественного состава (содержание сопутствующих минералов, степень ожелезнения, текстурно-структурные особенности). В зависимости от этих параметров технологическое извлечение может изменяться (66,98–84,96% мусковита в выполненных исследованиях).

2. Отходы обогащения, полученные в результате гравитационного выделения мусковита, являются полиминеральным продуктом. Технология, предусматривающая классификацию по классу $0,315\text{ мм}$, поэтапное удаление из материала крупностью $0,315\text{--}0,1\text{ мм}$ флотацией сульфидов, кианита, мусковита и полевого шпата с последующей доводкой черного кварцевого продукта магнитной сепарацией и выщелачиванием в кислотах не позволяет получить кварц с содержанием примесей менее 100 ppm.

3. Тяжелая фракция гравитационного обогащения и крупные фракции хвостов представляют собой продукт, обогащенный кианитом, технология выделения из которых кианита не предусматривалась в данной работе, но принципиальную возможность их использования надо иметь в виду.

Минеральный и зерновой состав крупной фракции кварцевых хвостов предопределяет использование их без дополнительной доводки в качестве абразива для истирания и полировки с помощью пескоструйных аппаратов.

Кварц крупностью $0,315\text{--}0,1\text{ мм}$ после обогащения соответствуют требованиям, предъявляемым к сырью для производства карбида кремния, диоксидных изделий, стекла (по ГОСТ 22551-77) и керамики. После помола, пылевидный кварц пригоден для литья по выплавляемым моделям.

Кроме того, концентрат, полученный по пробе ПР-1 (крупность $0,315\text{--}0,1\text{ мм}$) соответствует требованиям компании Элком для производства технического (металлического) кремния специальных марок (Special grade Silicon metal), а концентрат, полученный по пробе ПР-2 (крупность $0,25\text{--}0,1\text{ мм}$) соответствует требованиям компании Элком для производства ферросилиция высоких марок (HP FeSi-low P and B).

Мусковитовые кварциты месторождения Восточная Хизоваара являются перспективным комплексным сырьем. Помимо мелкозернистого мусковита возможно получение кварцевых концентратов разной крупности, чистоты и соответственно разного назначения. Кварцевые концентраты фракции $0,315\text{--}0,1\text{ мм}$ соответствуют требованиям к сырью для производства металлического кремния специальных марок (Special grade Silicon metal), цена которого на рынке FOB составляет около 50 Евро/т; кварцевые концентраты фракции $0,215\text{--}0,1\text{ мм}$ отвечают требованиям к сырью для производства ферросилиция высоких марок (HP FeSi-low P and B), цена которого на рынке составляет от 25 до 45 Евро/т.

ЛИТЕРАТУРА

1. Щипцов В.В., Скамницкая Л.С., Бубнова Т.П., Данилевская Л.А., Родионов В.С. Мусковитовые кварциты Карелии – новые промышленный тип слюдяного сырья // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 6. Петрозаводск, 2003. С. 67-78.
2. Минерально-сырьевая база Республики Карелия. Книга 2. Неметаллические полезные ископаемые. Петрозаводск: «Карелия», 2006. 353 с.
3. Отчет о результатах поисковых и оценочных работ по выявлению в районе Чупинской ПОФ маложелезистого чешуйчатого мусковита для производства высокотехнологичных изделий и помола за 2000 – 2001 г.г. / Кравченко А.И., Родионов В.С., Михайлова Т.П. и др. // Северная ПРЭ. пос. Чупа, 2002 г.

СОБЕННОСТИ СОСТАВА И СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДИАТОМИТОВ КАРЕЛО-КОЛЬСКОГО РЕГИОНА

Кременецкая И.П.¹, Васильева Т.Н.¹, Корытная О.П.¹, Скамницкая Л.С.², Бубнова Т.П.²

¹ Учреждение Российской академии наук Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья Кольского научного центра РАН, г. Апатиты

² Учреждение Российской академии наук Институт геологии Карельского научного центра РАН, г. Петрозаводск

Диаомиты Карело-Кольского региона наиболее перспективны для получения высококачественных порошков [1]. В силу своих специфических свойств (высокая пористость, огнеупорность, химическая инертность, кислотоустойчивость, а также слабая термическая и электрическая проводимость, отсутствие ксенобиотиков), представляют интерес в качестве сорбентов для детоксикации природных водных объектов и обработки водных источников, имеющих гидравлическую связь с поверхностными и подземными водами.

Исследованные образцы озерных диаомитов отобраны на территории Карелии (оз. Ряпукс, оз. Подарви) и Мурманской области.

Для удобства изложения материала обозначим пробу диаомита из оз. Ряпукс как Дк, диаомита оз. Подарви – Дп а диаомит Мурманской области – как Дм.

Рентгенофазовый анализ образцов показал, что помимо наличия аморфного кремнезема, который отражает состав и структуру собственно панцирей диатомей, в пробах присутствуют примеси разновидностей полевых шпатов, что видно на примере диаомита из оз. Подарви – рис. 1.

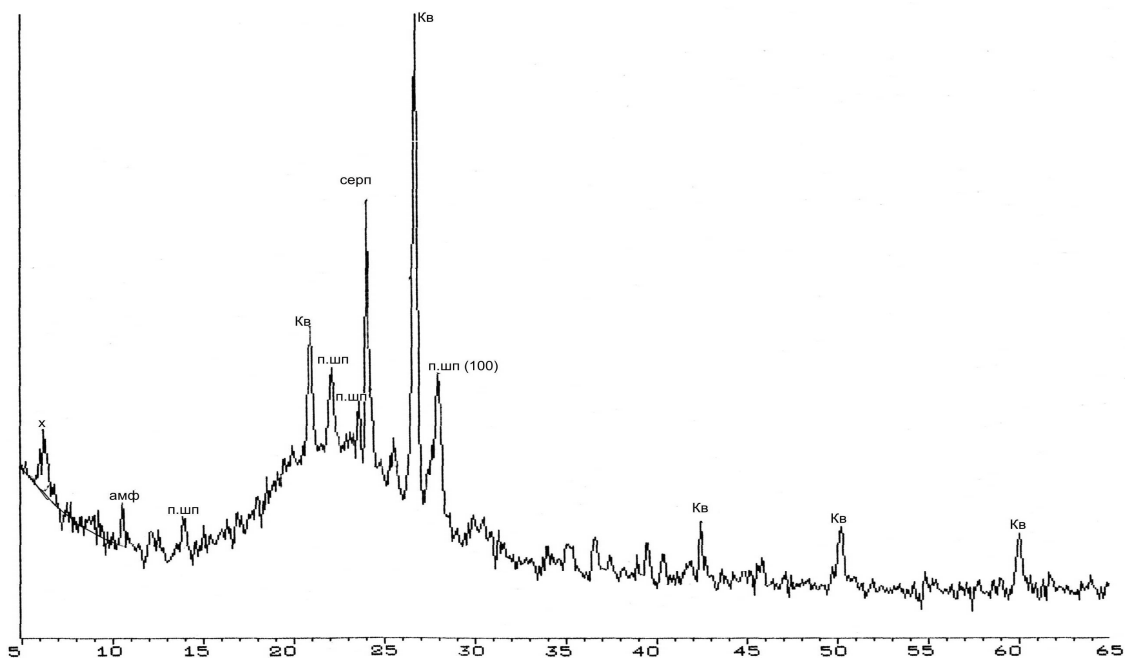


Рис. 1. Минеральный состав высококремнистого донного образования оз. Подарви