

В то же время, плавление не сопровождается процессом вспучивания, которое имеет место в случае перлита, так как в базальтах вулканическое стекло, представлено тахилитом обедненного кремнеземом. Охлажденные плавки имеют высокую твердость, около 8-9 по шкале Мооса, т.е. обладают высокими прочностными показателями.

Полученные нами результаты можно рассматривать как предварительные для проведения дальнейших технологических исследований техногенных образований терриконов Ярегских нефтешахт.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Кочетков О.С., Гайдеев В.И., Аминов Л.З.* Формирование УВ-скоплений в земной коре (на примере Тимано-печорской и других нефтегазоносных провинций мира // В монографическом сборнике Актуальные научно-технические проблемы развития геолого-геофизических и поисковых работ на нефть и газ в Республике Коми. Кн. 3. Ухта: КРО РАЕН, 2003. с. 41-108.
2. *Пащенко А.А., Мясников А.А., Мясникова Е.А. и др.* Физический химия силикатов. М.: Высш. Шк. 1986. 368 с.
3. *Шелби Дж.* Структура, свойства и технология стекла. Пер. с англ. Е.Ф. Медведева. М.: Мир, 2006. 288 с.
4. *Голдин Б.А., Рябков Ю.И., Истомин П.В.* Петрогенетика порошков, керамики и композитов. – Сыктывкар: Коми научный центр УрО РАН, 2006. 276 с.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ДАННЫЕ ПО МИНЕРАЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ИССЛЕДОВАНИЯМ АНОРТОЗИТОВ КОЛВИЦКОГО ГАББРО-АНОРТОЗИТОВОГО МАССИВА (КОЛЬСКИЙ П-ОВ)

Скамницкая Л.С., Данилевская Л.А.

Учреждение Российской академии наук Институт геологии КарНЦ РАН, Петрозаводск

Введение

В мировой практике анортозиты, в составе которых плагиоклазовая часть сложена лабрадором или битовнитом, имеют широкое промышленное применение [6]. Основные направления использования плагиоклазовых концентратов подобного состава: производство керамики бытового и технического назначения, абразивов, наполнителей пластмасс и резин, специальных красок и т.д.

В ИГ КарНЦ РАН в 2003-2004 гг. проводились работы по минералого-технологическому исследованию анортозитов Котозерского участка (Северная Карелия) с целью получения плагиоклазового концентрата, которые показали принципиальную возможность обогащения анортозитов с получением плагиоклазового (лабрадорового) концентрата высокого качества. Полученные по схеме с использованием постадийной магнитной сепарации концентраты характеризуются высоким по сравнению с другими полевошпатовыми концентратами содержанием оксидов алюминия и кальция и низким щелочей и железа [2, 4].

Работы по возможным направлениям использования исходных (необогащенных) анортозитов Кольского полуострова проводились в ИХТРЭМС КНЦ РАН достаточно давно. Установлена их пригодность для получения стеклокристаллических материалов, включая стекловолокно, а также в качестве светлоокрашенной основы для каменного литья широкой цветовой гаммы (в зависимости от состава шихты - от белого, голубого, серого до синего, коричневого и зеленого тонов), цветных и прозрачных стекол (красных, желтых, зеленых). Металлабрадориты Колвицкой интрузии рекомендованы в качестве покрытий по шамоту при термозащите деталей огневой зоны паровых котлов [3, 5].

В данной статье представлены результаты предварительной оценки обогатимости анортозитов Колвицкого габбро-анортозитового массива на участке Кочинный. Технологическая проба и шлифы были любезно предоставлены сотрудником ГИ Кольского НЦ РАН д.г.-м.н. В.В Балаганским.

Геолого-минералогические особенности

Анортозиты Колвицкого массива прослеживаются на участке Кочинный (мыс Кочинный в Кандалакшском заливе), где они образуют мощное пластовое тело (до 800 м мощности) протяженностью до 60 км, и перекрывают развитые там габброанортозиты [1]. Среди габброанортозитов встречаются также несколько секущих мощных (десятки метров) тел анортозитов в виде даек (рис. 1).

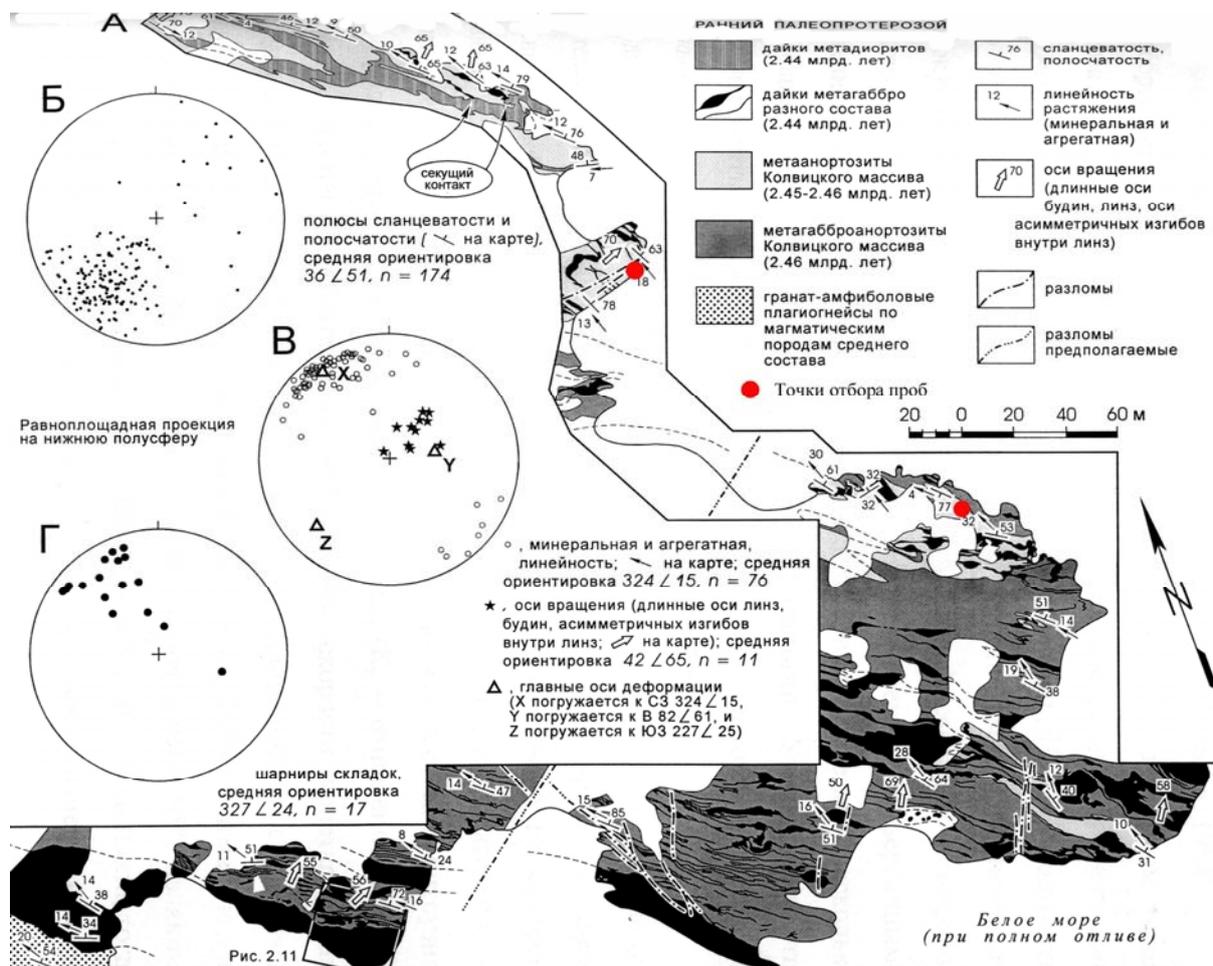


Рис. 1. Точки отбора проб и шлифов на участке Кочинный (геологическая схема по В.В. Балаганскому, 2002 [1])

Для предварительной минералого-технологической оценки анортозитов данного комплекса была исследована 1 усредненная технологическая проба, 10 обычных шлифов, характеризующих данный массив, и один большой шлиф.

Петрографическими методами исследований устанавливается, что структура и минеральный состав анортозита довольно однородные с небольшими изменениями. Анортозиты на данном участке в основном имеют массивную текстуру, реже линейно-параллельную, обусловленную вытянутостью зерен плаггиоклаза в одном направлении. Характерно наличие крупных порфировидных зерен плаггиоклаза призматической и удлиненно призматической формы с неровными границами (1 генерация плаггиоклаза), размер зерен в среднем 1-7 мм, единичные зерна до 1,5 см (рис. 2). По литературным данным встречаются зерна плаггиоклаза до 10 см [1]. Крупные зерна плаггиоклаза оконтуриваются агрегатом мелких грануломорфных и изометричных зерен плаггиоклаза с ровными границами (2 генерация плаггиоклаза), находящихся в сростании с темноцветными минералами. Крупные зерна плаггиоклаза содержат большое количество мелких ограненных призматических включений эпидота (разм. 0,03-0,05 мм, единичные до 0,1 мм), иногда единичные включения амфибола, граната. Мелкие зерна плаггиоклаза более чистые, имеют размер 0,1-0,7 мм, количество их переменное, и в некоторых шлифах они составляют основную массу породы (шлиф 440-24, 440-25а и др.).

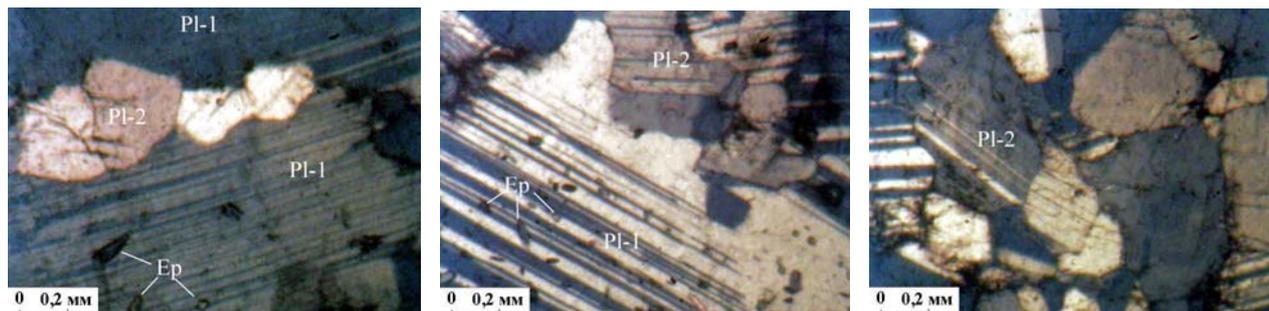


Рис. 2. Генерации плаггиоклаза в анортозите: PI-1 – плаггиоклаз 1 генерации, PI-2 – плаггиоклаз 2 генерации (фото шлифов, николи+); Ep – эпидот

По краям зерна плагиоклаза иногда подвергаются альбитизации с образованием местами чистого альбита, особенно в местах скопления зерен эпидота.

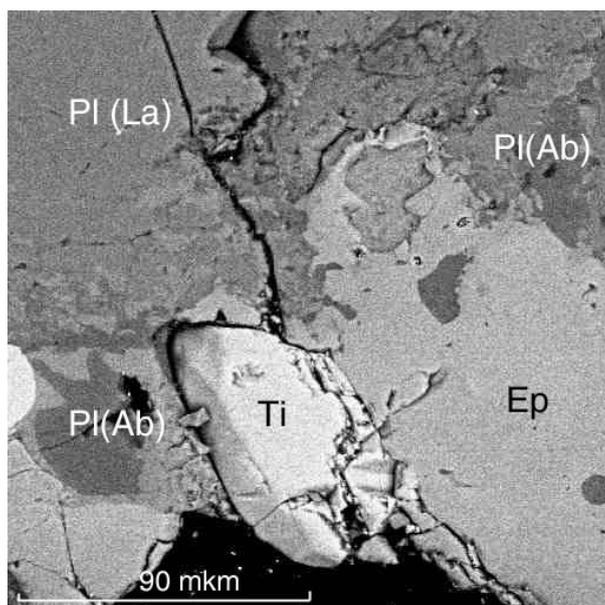


Рис. 3. Альбитизация плагиоклаза (Pl(Ab)) (фото со сканирующего электронного микроскопа VEGA II LMU); Pl (La) – лабрадор, Pl (Ab) – альбит, Ti – титанит, Ep – эпидот

Амфибол представлен роговой обманкой (гастингситом), образует призматические, иногда удлиненно призматические частично ограниченные зерна, плеохроирует в зеленоватых тонах, образует небольшие скопления, часто в сростании с эпидотом и титанитом, иногда биотит прорастает амфибол, местами амфибол замещается хлоритом. Размер зерен – 0,05-2,2 мм (рис. 4).

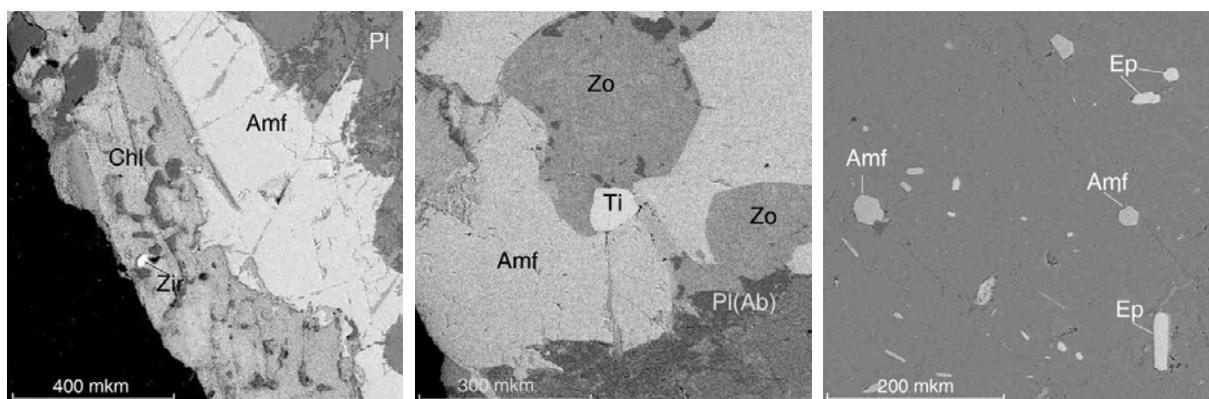


Рис. 4. Морфология зерен амфибола (Amf) в анортозите (фото со сканирующего электронного микроскопа VEGA II LMU); Pl – плагиоклаз, Amf – амфибол, Chl – хлорит, Ti – титанит, Zo – цоизит, Ep – эпидот

Эпидот (по составу близкий к клиноцоизиту, с содержанием Fe_2O_3 4-7%, в среднем 6%) образует микровключения в плагиоклазе-1 (ограниченные кристаллы разм. 0,03-0,05 мм, единичные до 0,1 мм), иногда наблюдается в большом количестве (в виде густой тонкой вкрапленности) (рис. 5). Кроме того, встречаются крупные зерна призматической и изометричной формы, часто ограниченные, которые образуют скопления в сростании с амфиболом, размер зерен до 0,6 мм. Наряду с эпидотом в подчиненном количестве присутствует цоизит (рис. 4).

Биотит образует шестоватые и изометричные зерна с неровными границами, плеохроирует в бурых тонах, часто прорастает амфибол, размер табличек – 0,2 (0,8)-1,2 мм, местами замещается хлоритом.

Титанит наблюдается в виде клиновидных и изометричных зерен, имеет розовато-буроватый оттенок, образует небольшие скопления в сростании с эпидотом, амфиболом, размер зерен – 0,05-0,3 мм, часто приурочен к микротрещинкам.

Кварц встречается в большинстве шлифов, но не во всех, представлен округлыми, грануломорфными зернами с ровными границами, четким или слабо волнистым погасением, размер зерен 0,05-0,3 мм (рис. 6).

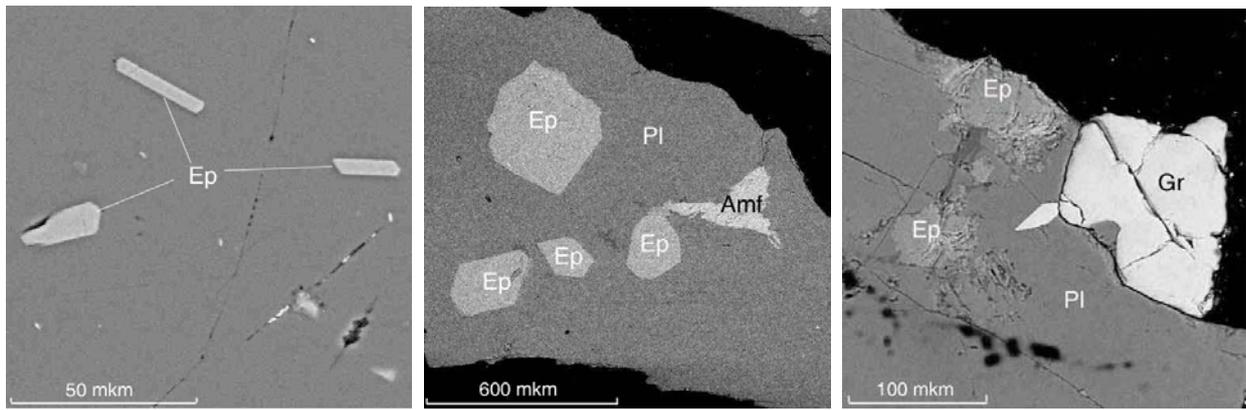


Рис. 5. Включения эпидота (Ep), амфибола (Amf) и граната (Gr) в плагиоклазе-1 (фото со сканирующего электронного микроскопа VEGA II LMU)

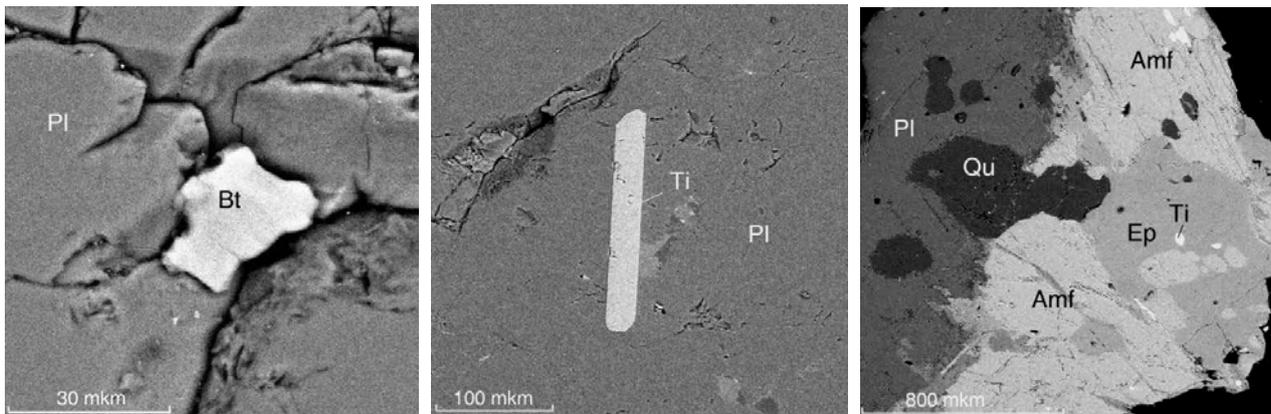


Рис. 6. Включения титанита (Ti), биотита (Bt) и кварца (Qu) в плагиоклазе (фото со сканирующего электронного микроскопа VEGA II LMU)

Гранат представлен альмандином, встречается не везде, образует единичные зерна, частично оgranенные, размер зерен – 0,1-0,6 мм, иногда образует небольшие скопления вместе с другими темноцветными минералами (рис. 5).

Апатит (фтор-апатит) встречен в некоторых шлифах в виде редких единичных зерен округлой и удлиненной формы, разм. 0,05-0,3 мм.

Циркон также встречается в виде редких очень мелких (10 мкм) единичных оgranенных зерен.

Средний минеральный состав породы представлен в таблице 1.

Таблица 1. Средний минеральный состав анортозита

Минералы		Содержание, %	
		По шлифам	В технологической пробе
Породообразующие	Плагиоклаз	$\frac{86-95}{91}$	92,88
	Амфибол	$\frac{2-14}{5,8}$	6,12
Второстепенные	Биотит	ед	ед
	Эпидот	$\frac{0-5}{2,5}$	0,06
	Гранат	$\frac{0-1}{0,2}$	0,01
	Титанит	$\frac{0-1}{0,3}$	0,01
Акцессорные	Циркон, апатит, кварц, хлорит, мусковит, поизит, титаномагнетит	До 1	ед

Изучение особенностей состава и микроструктуры минералов анортозита с использованием сканирующего электронного микроскопа VEGA II LSH и микроанализатора INCA ENERGY 350 позволило установить технологические характеристики и состав минералов (табл. 2, 3).

Таблица 2. Технологическая характеристика минералов

Минерал		Границы сростаний	Размер, мм		Минеральные ассоциации
			Средний	Максимальный	
Плагиоклаз	1 генерация	ровные	1-7	15, редко 100	Содержит многочисленные включения эпидота, амфибола, граната
	2 генерация	неровные	0,1-0,7		В сростаниях с темноцветными, включений мало
Амфибол		Неровные, заливчатые	0,5-2,2		Часто в сростании с эпидотом и титанитом, иногда биотит прорастает амфибол, местами амфибол замещается хлоритом
Эпидот		Ровные, изредка размытые	до 0,6 мм.		Образует микровключения в плагиоклазе (ограниченные кристаллы), иногда в большом количестве (густую тонкую вкрапленность), а также крупные зерна призматической и изометричной формы, часто ограниченные, образует скопления в сростании с амфиболом
Биотит		Неровные	0,2-1,2	До 0,8	Прорастает амфибол, образует шестоватые и изометричные зерна, местами замещается хлоритом.
Кварц		Ровные	0,05-0,3	0,5	
Титанит		Ровные	0,05-0,3	0,6	Образует небольшие скопления в сростании с эпидотом, амфиболом, часто приурочен к микротрещинкам
Гранат		Ровные	0,1-0,6	0,6	Образует единичные зерна, частично ограниченные, часто прорастает основной массой породы, иногда образует небольшие скопления вместе с другими темноцветными минералами
Апатит		Ровные	0,05-0,3	0,3	Образует единичные зерна в сростании с темноцветными и плагиоклазом 2 генерации

Таблица 3. Химический состав минералов по данным анализатора (%)

Минералы	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ +FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
Плагиоклаз-лабрадор	52,56	-	30,35	-	-	-	12,32	4,77	
Плагиоклаз - альбит	68,2	-	19,68	-	-	-	-	12,12	
Амфибол (гастингсит)	41,73	0,92	15,42	18,93	-	7,76	12,29	1,14	1,8
Эпидот	40,71	-	28,80	5,90		0,43	23,89	0,26	
Хлорит	30,42	-	22,63	30,85		11,10			
Гранат	38,77		21,77	21,27	0,95	2,44	14,80		
Титанит	31,12	36,87	2,31	0,71			28,99		

По химическому составу плагиоклаз 1 и 2 генерации однотипны и относятся к лабрадору (An 55-65%).

Основные темноцветные минералы в пробе представлены амфиболом (гастингситом) и маложелезистым эпидотом.

Технологические исследования

Исходя из вещественного состава обогащение анортозитов изучаемого массива сводится к удалению железосодержащих минералов, которые в породе представлены в основном амфиболом, эпидотом, биотитом и гранатом. Анализ дробленого до -2 мм материала показал, что размеры и геометрический облик агрегатов анортозитов различные.

Разрушение минералов не селективное. В материале крупностью 2,0-1,6 мм практически нет свободных зерен плагиоклаза. Некоторое раскрытие плагиоклаза от сростков с амфиболом при измельчении намечается, начиная с класса 1,25 мм, и четко фиксируется в классе 0,5-0,25 мм. С уменьшением крупности материала увеличивается количество свободных зерен темноцветных минералов и уменьшается количество бедных сростков, что видно на рис 7, 8 и в таблице 4, на которых отражены результаты магнитного фракционирования и изучения фракций магнитного анализа на сканирующем электронном микроскопе. Только фракция 0,16-0 мм содержит зерна амфибола, эпидота, граната, титанита, апатита в основном отдельно от зерен плагиоклаза, включений практически не наблюдается (рис. 7.)

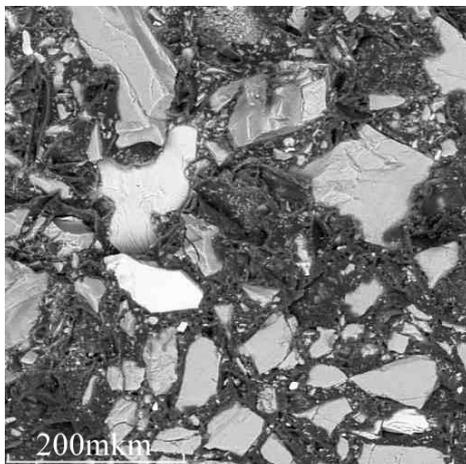


Рис. 7. Микрофото анортозита фракции 0,16-0 мм

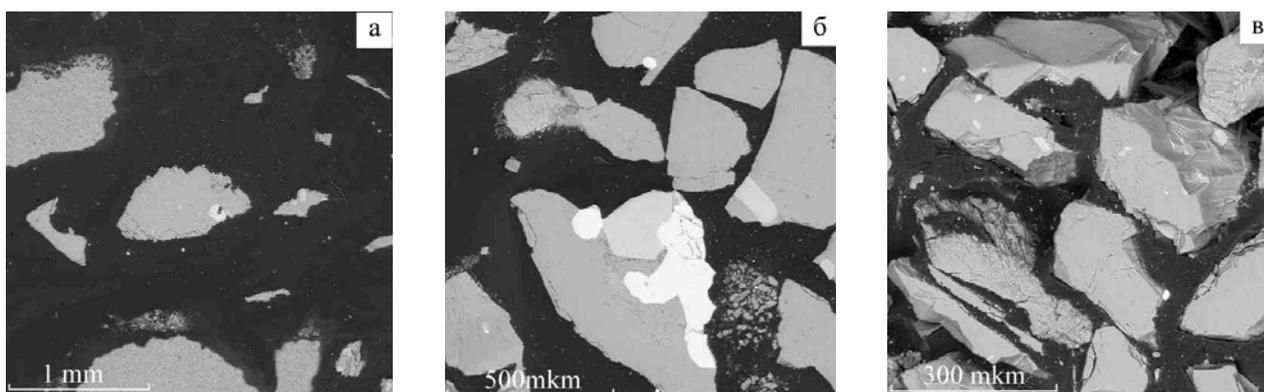


Рис. 8. Микрофото зерен немагнитных продуктов по фракциям: а - 1,6-1,25 мм; б - 1,25-1,0 мм, в - 0,25-0,16 мм

Таблица 4. Результаты магнитного анализа фракций руды

Фракция, мм	Выход магнитной фракции, %	Магнитная фракция, %, в том числе		
		Сильно магнитная	Средне магнитная	Слабо магнитная
2,0-1,6	Нет селективности			
1,6-1,25	23,75	0	10,12	13,63
1,25-1,0	14,46	0	5,84	8,62
1,0-0,5	13,91	0	10,58	3,33
0,5-0,25	10,83	2,64	4,37	3,82
0,25-0,16	13,63	5,51	6,18	1,94
0,16-0	Нет селективности			

Изучение продуктов магнитного анализа на сканирующем электронном микроскопе показывает, что с уменьшением крупности увеличивается количество свободных от сростков зерен. Плагиоклаз из концентрата фракции 1,6-1,25 мм содержит большое количество включений эпидота, вроски амфибола, реже апатита, титанита, единичные включения К-полевого шпата. Включения в плагиоклазе из концентрата фракции 1,25-1,0 мм представлены эпидотом, амфиболом; титанитом, кварцем. В плагиоклазовом концентрате фракции 0,25-0,16 мм присутствуют свободные зерна титанита, апатита, а также встречаются включения эпидота, амфибола; граната и циркона внутри зерен плагиоклаза.

Состав магнитной фракции определяется гранулометрией и напряжением магнитного поля. Изменение состава магнитных продуктов с ростом напряжения поля показано на примере фракции 0,5-0,25мм (рис. 9).

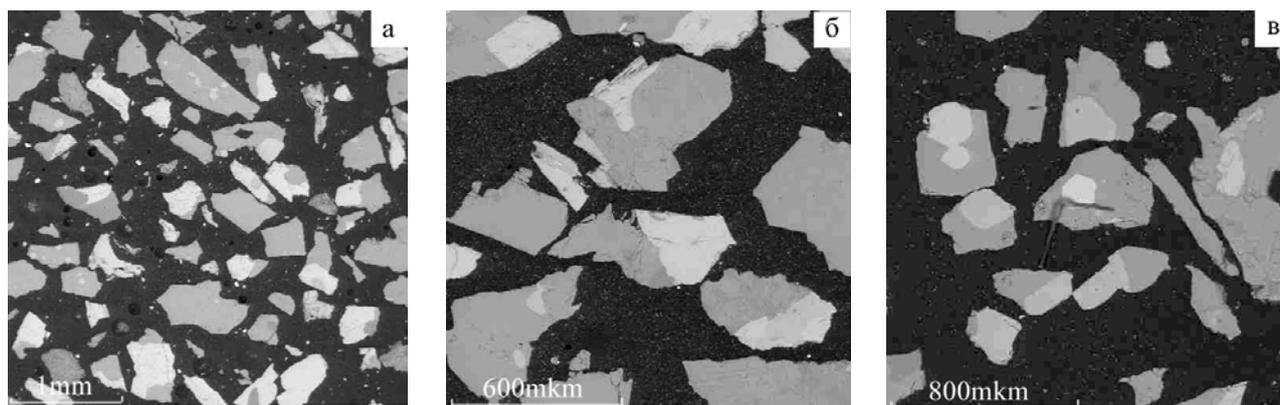


Рис. 9. Микрофото магнитных продуктов фракции 0,5-0,25мм: а - сильномагнитный продукт; б - среднемагнитный, в - слабомагнитный

В сильномагнитный продукт извлекаются (рис. 9а) свободные зерна амфибола, сростки его с плагиоклазом, присутствуют зерна с мелкими включениями эпидота, единичными включениями апатита, титанита, кварца, граната. Среднемагнитный продукт (рис. 9б) представлен амфиболом, как в виде свободных зерен, так и в сростках с плагиоклазом, присутствуют включения амфибола, эпидота, граната, титанита в зернах плагиоклаза. В слабомагнитный продукт (рис. 9в) уходит плагиоклаз с бедными сростками амфибола, с включениями эпидота, граната, титанита и микровключениями сульфидов. Химический состав плагиоклаза по данным замеров на сканирующем электронном микроскопе характеризуется отсутствием оксидов железа и титана (табл. 5).

Таблица 5. Химический состав плагиоклаза анортозитов по технологической пробе 2559 по фракциям (%)

Фракция, мм	Плагиоклаз	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
1,6-1,25	Лабрадор №60	52.55	30.30	12.27	4.88	-
1,25-1,0	Лабрадор №65	51.74	30.16	13.52	4.40	0.23
	Альбитизир	63.62	22.30	3.70	10.10	0.14
1,0-0,5	Лабрадор №60		30.41	52.25		12.49
0,5-0,25	Лабрадор №65		30.49	52.16		12.73
	Альбитизир		20.39	66.69		1.45
0,25-0,16	Лабрадор №55		30.19	52.82	0.31	11.85
	Альбитизир		23.19	63.7	1.08	1.81

Преобладает лабрадор № 60-65 с содержанием Al₂O₃ 29,91-30,75%, содержание Al₂O₃ в альбитизированном плагиоклазе не превышает 23,19%, при минимальном - 19,68%.

Обогащение анортозита различной крупности по схеме сухого магнитного обогащения показало, что плагиоклазовый концентрат отличается по содержанию железа, что ограничивает направления использования крупного материала. Предел обогащения по железу соответствует 0,26%, при этом крупность обогащаемого материала - 0,25-0,16 мм (табл. 6).

Таблица 6. Химический состав анортозитовых концентратов различной крупности

Исходная крупность	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O	П п п.	P ₂ O ₅	Сумма
1,6-0,16	52,06	0,07	29,33	0,65	0,011	0,07	12,63	4,19	0,27	0,02	0,42	0,01	99,68
1,25-0,16	52,52	0,08	28,80	0,61	0,011	0,15	12,55	4,20	0,27	0	0,38	<0,01	99,57
1,0 -0,16	52,50	0,09	29,27	0,45	0,007	0,07	12,63	4,27	0,26	0	0,40	<0,01	99,94
0,5 -0,16	52,32	0,15	29,33	0,36	0,007	0,07	12,55	4,22	0,26	0,04	0,34	<0,01	99,64
0,25-0,16	52,78	0,10	28,80	0,26	0,006	0,10	12,41	4,30	0,37	0,08	0,38	<0,01	99,58

Анализы выполнены в Институте геологии КарНЦ РАН

Однако следует учитывать, что с уменьшением крупности материала увеличивается содержание чистых зерен плагиоклаза, но увеличивается и выход тонких фракций (-0,16мм), теряемых с пылью (рис. 10).

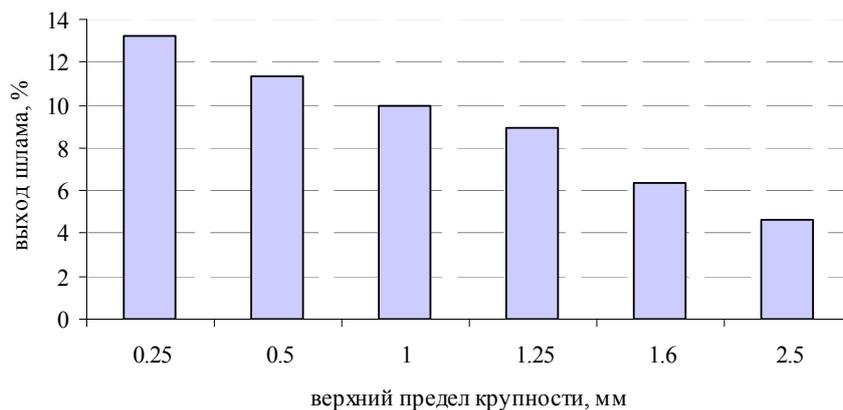


Рис. 10. Выход шламов в зависимости от крупности измельчения

Для снижения потерь плагиоклаза при обогащении следует ориентироваться на получение плагиоклазового концентрата многоцелевого назначения, что позволяет обогащать более крупный материал. Перспективной представляется схема сухого магнитного обогащения, приведенная на рис. 11. Оптимальная крупность измельчения перед обогащением, исключающая переизмельчение материала, соответствует 1,25 мм (рис. 12).

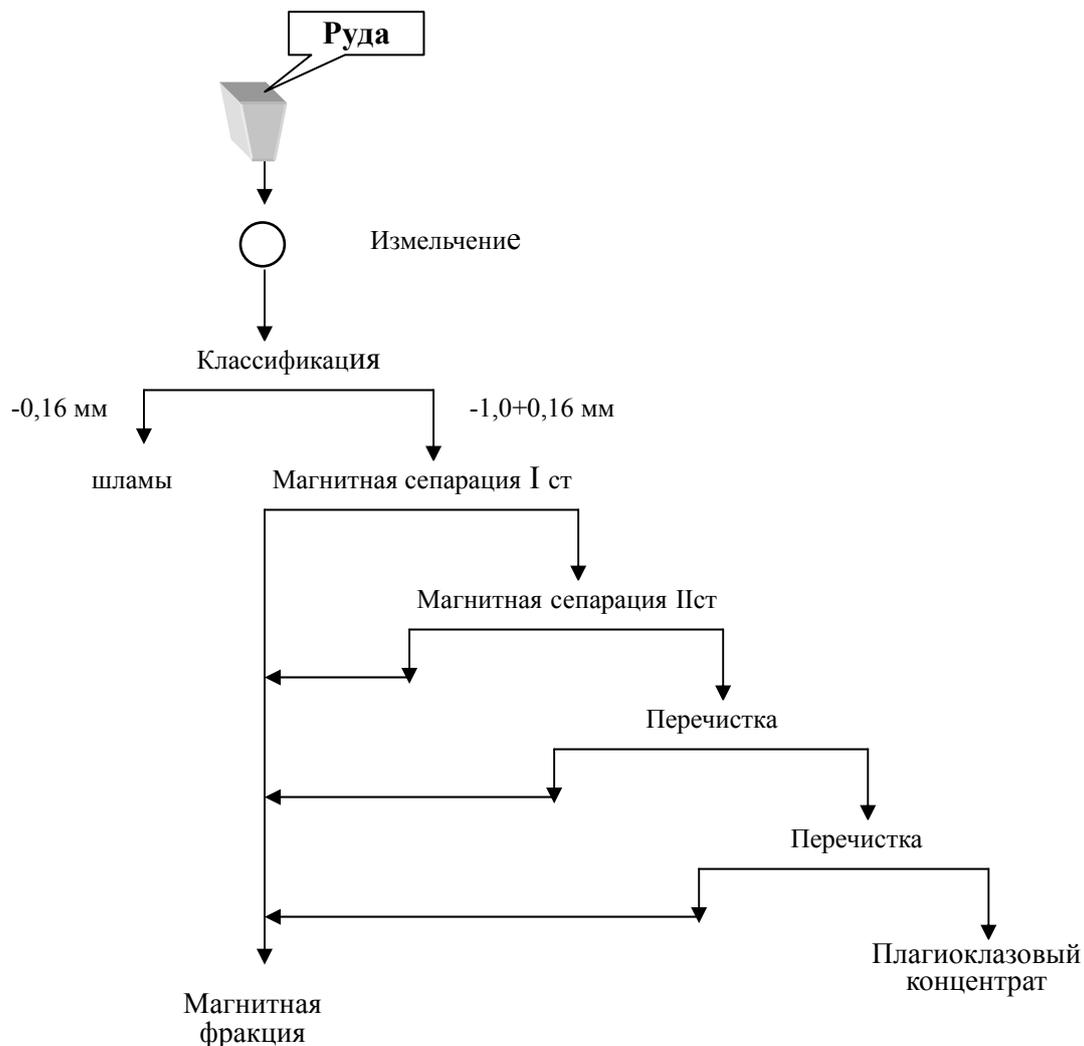


Рис. 11 Принципиальная схема обогащения анортозитов участка Кочинный

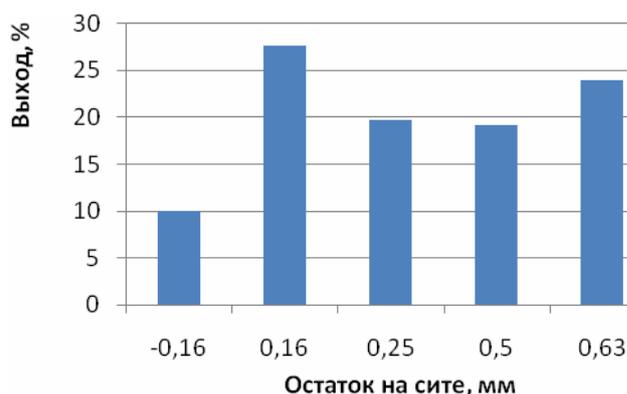


Рис. 12. Гранулометрический состав материала оптимальной крупности

При выбранной оптимальной крупности материала 1,0-0,16 мм выход плагиоклазового концентрата по вышеуказанной схеме обогащения будет составлять около 77% (табл. 7).

Таблица 7. Результаты обогащения материала оптимальной крупности (1,0-0,16 мм)

Продукт	Выход, % по массе
Концентрат	76,87
Магнитная фракция	13,13
Шлам (фр -0,16мм)	10,00

Таким образом, в результате обогащения анортозита пробы 2559 (участок Кочинный, Колвицкий массив) получен плагиоклазовый концентрат с содержанием оксидов железа 0,61% (табл. 6). При необходимости рассевом из него можно получать концентраты, отличающиеся по крупности и содержанию железа.

Выводы

Характерной особенностью анортозитов Колвицкого массива на участке Кочинный является порфировая структура. Порфировые выделения представлены крупными выделениями плагиоклаза-лабрадора (1 генерации), характеризующиеся наличием большого количества включений эпидота и амфибола микронных размеров. Структура основной массы представлена агрегатом более мелких не содержащих включений зерен плагиоклаза (2 генерации) и амфибола, иногда в сростании с эпидотом и титанитом.

Соотношение генераций плагиоклаза переменное и в некоторых частях массива составляет 1:1.

Основной причиной повышенного содержания железа в плагиоклазовом концентрате является присутствие включений мелкокрапленного эпидота и амфибола. Предел обогащения по железу анортозита пробы 2559 соответствует 0,26%. С увеличением количества плагиоклаза 2 генерации в пробах (по разным участкам массива) качество концентрата по железу может улучшиться.

ЛИТЕРАТУРА

1. Балаганский В.В. Главные этапы тектонического развития северо-востока Балтийского щита в палеопротерозое: дисс. на соискание уч. степ. д-ра геол.-минерал. наук. СПб., 2002.
2. Бубнова Т.П., Гаранжа А.В. Особенности технологической минералогии анортозитов – сырья многоцелевого назначения // Новые методы технологической минералогии при оценке руд металлов и промышленных минералов: сб. науч. статей. По матер. III Российского семинара по технологической минералогии. Петрозаводск: изд. КарНЦ РАН, 2009. С. 94-97.
3. Возможные источники петругигического сырья Кольского региона / Жангуров А.А., Предовский А.А., Федотов Ж.А., Козлов Н.Е., Назимова Е.К., Суворова О.В., Кожина И.С. // Силикатные материалы из минерального и техногенного сырья. Апатиты: изд. КФ АН СССР, 1985. С. 98-105.
4. Геолого-технологическая характеристика крупного проявления анортозитов Котозерского участка (северная Карелия). / В.В. Щитцов, Л.С. Скамницкая., Т.П. Бубнова., А.В. Гаранжа, Л.А. Данилевская, А.И.Савицкий, О.В.Бужчина // Геология и полезные ископаемые Карелии. Петрозаводск: изд. КарНЦ РАН. Вып.7. 2004. С. 151-163.
5. Назимова Е.К., Суворова О.В. Цветные стеклокристаллические материалы на основе анортозитового сырья Кольского полуострова // Физико-химические исследования сложных систем на основе минерального сырья. Апатиты: изд. КФ АН СССР, 1986. С. 78-87.
6. Wanvik, J.E. NGU-Bull 436, 2000. P. 103-112