

РОЛЬ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ, МИНЕРАЛОГИЧЕСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ИНСТИТУТА ГЕОЛОГИИ КАРНЦ РАН В ОЦЕНКЕ ПОТЕНЦИАЛА МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ РЕСПУБЛИКИ КАРЕЛИЯ

Щипцов В.В., Скамницкая Л.С., Бубнова Т.П., Данилевская Л.А.

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

Особенности процессов петрогенезиса влияют на химический и минеральный составы горных пород Карельского региона, что связывается с тектономагматическими процессами и сопряженными с ними метаморфизмом и метасоматозом горных пород магматического и осадочного генезиса. Карельский регион размещен в восточной (юго-восточной) части Фенноскандинавского щита, где сохранились образования архея, палео- и мезопротерозоя – главные элементы строения древних структурных провинций. Говоря о минерагении этой части щита, надо обратить внимание на специфику магматизма, тектоники и геодинамики ранних этапов развития Земли. Основными структурными элементами мезопорядка в упомянутой части щита являются Карельский кратон, Беломорский подвижный пояс, трактуемый большинством исследователей как зона коллизии между Кольским и Карельским кратонами [1].

Геологическая среда формирования индустриальных минералов и горных пород

Значительное пространство в этой части щита занимает архейская кора, а главный объем этой коры сложен ассоциациями архейских гранито-гнейсов, так называемые ТТГ-комплексы, «серые гнейсы». По нашим представлениям, изложенным одним из авторов ранее [2], подобные образования представляют собой многократно переработанную первичную сиалическую кору. Вообще, необходимо отметить, что происхождение этих комплексов по-прежнему дискуссионно [3], но, несмотря на большую распространенность, эти области не представляют практический интерес в отношении индустриальных минералов и горных пород, точнее оценка «немых» толщ не является первоочередной на современном технологическом уровне. Возможно, что перспективы таких образований могут представляться в связи с выявлением участков формирования суперчистых породообразующих минералов индустриального значения для Hi-технологий, в первую очередь, это касается кварца и полевого шпата. Перекристаллизация и сопряженные с ней деформации в областях развития высокометаморфизованных гнейсо-гранитов проявлены столь интенсивно, что никаких признаков первичных структур и текстур выявить невозможно, практически это "немые" толщи. Противоположная минерагеническая оценка дается зеленокаменным поясам с неправильной сетью размещения на современном срезе, выполненным супракрустальными осадочно-вулканогенными комплексами, с которыми связаны обособленные группы и классы месторождений индустриальных минералов (кианит, гранат, ставролит, мусковит, кварц, полевой шпат, тальк, тремолит, серный колчедан, графит) и месторождений индустриальных горных пород (талъковый камень, серпентинит, пироксенит, геллефлинта). С формированием зеленокаменных поясов архея синхронно проявлен мощный гранитоидный магматизм, представленный разнообразными кварцевыми диоритами, гранодиоритами, тоналитами, трондъемитами, плагиогранитами. Такие гранитоиды могут представлять интерес, в первую очередь, для выявления объектов с физико-механическими характеристиками, соответствующими дефицитным стандартам высокопрочного щебня.

К рубежу 2.6 – 2.5 млрд лет кора становится в значительной степени стабилизированной. Главной разновидностью магматических пород палеопротерозоя являются образования высоко-Mg серии в интервале 2.5 – 2.35 млрд лет, выделяемой Е.В. Шарковым и др. [3] как крупная изверженная провинция. В состав упомянутой выше серии входят вулканические породы (Северо-Карельский пояс, Ветренный пояс), рои сумийско-сариолийских даек, расслоенные мафит-ультрамафитовые интрузивы, включая крупнейший Бураковский массив, и анортозиты свободного типа. С этими образованиями соотносятся индустриальные минералы и горные породы – серпентинит, оливинит, дунит, тальковый камень, хромит, тальк, магнезит, полевой шпат. Высококалиевая лейкократовая разновидность кварцевых порфиров, представляющая собой нетрадиционный тип полевошпатового сырья, слагает шток на месторождении Роза-лампи Шуезерской структуры сумийского надгоризонта [4].

Важное место в истории Фенноскандинавского щита в разрезе палеопротерозоя занимали последовательно ятулий (2.3 – 2.1 млрд лет), людиковый (2.1 – 1.92 млрд лет), калевий (1.92 – 1.80 млрд лет), и вепсий (1.80 – 1.65 млрд лет) [5]. Для ятулия Карельского кратона, как отмечали А.И. Голубев и А.П. Светов [6], характерны преимущественно Fe-Ti умеренно-щелочные базальты и пикробазальты. В стратиграфической последовательности ятулийский надгоризонт имеет отчетливые маркирующие толщи карбонатных и кварцитовых образований. Все карбонатные отложения залегают в пределах вулканогенно-осадочного бассейна или в линейных структурах нижнепротерозойского возраста [7]. Характерным является переслаивание доломитов и известняков с преобладанием первых. Тальк-карбонатные породы связаны преимущественно с толщами ятулийского надгоризонта. При гидротермальной переработке доломитов происходило образование безжелезистых разновидностей талька, который относится к наиболее ценному сырью для керамического, парфюмерного, медицинского и других производств.

На Свекофенском геоблоке карбонатные породы образованы на двух стратиграфических уровнях – ятулийском и людиковийском надгоризонтах, где возникла наиболее благоприятная тектоническая и литогенетическая обстановка. В северном Приладожье карбонатные породы в виде крутопадающих линз представлены белыми, светло-серыми и серыми доломитовыми и кальцитовыми мраморами [8].

На состав карбонатных пород влиял метаморфизм от зеленосланцевой до гранулитовой фации, а также локально позднеорогенный гранитоидный магматизм, включая внедрения гранитов рапакиви. Влияние гранитов рапакиви сказалось на присутствии в Северном Приладожье кальциевых мраморов, в которых содержание волластонита отмечается до 40-60% [9]. Доломитовые толщи северного Приладожья являются наиболее перспективными для поисков месторождений безжелезистого талька.

В ятулийское время возникли благоприятные фациальные условия накопления чистых кварцевых песков в бассейнах с длительным переывом и сортировкой обломочного материала [10]. В этой обстановке происходило полное разрушение аркозовой составляющей, окисление железистых и удаление слюдистых минералов, что и стало причиной накопления в составе янгозерского горизонта ятулийского надгоризонта мощных пластов чистых кварцевых песков, метаморфизованных в дальнейшем в мономинеральные кварциты и кварцито-песчаники (месторождения Метчангъярви, Нестерова Гора, Боконвара, Шалговара).

В разрезе людиковийского (2.1 – 1.92 млрд лет) и калевийского (1.92 – 1.80 млрд лет) надгоризонтов палеопротерозоя присутствуют шунгитсодержащие породы [11]. На первом уровне в заонежской свите произошло формирование углеродсодержащих пород в бассейнах глинисто-карбонатного осадконакопления. В Онежском домене содержание углерода в породах достигает 70%. В разрезе Толвуйской синклинали выделяется 9 горизонтов шунгитовых пород. К шестому горизонту мощностью до 120 м, где залегают шунгитовые породы 2 и 3 разновидностей, приурочены Максовская и Зажогинская залежи, составляющие Зажогинское месторождение. Шунгитсодержащие породы кондопожской свиты слагают крупные месторождения – Мягрозерское и Нигозерское. Продуктивные толщи представлены шунгитсодержащими туфоалевролитами, альбит-хлоритовыми и кварц-альбит-хлоритовыми шунгитсодержащими сланцами [12].

В границах российской части Свекофенского геоблока образуются рудные тела углеродсодержащей формации, представленные графитом. В этой области открыто более 30 небольших проявлений различных типов графита. Рудные тела на месторождении графита Ихальское залегают в сложнодислоцированной толще людиковийского надгоризонта. Амфиболито-сланцево-гнейсовая толща претерпела метаморфизм от амфиболитовой до гранулитовой фаций андалузит-силлиманитовой фациальной серии по В.А. Глебовицкому. Графитовый горизонт состоит из нескольких графитоносных пачек мощностью от 8 до 350 метров протяженностью до 1500 метров [13]. В графитсодержащих толщах, где присутствует крипнокристаллический графит, содержание углерода составляет от 15 до 35% и выше. Они приурочены к метаморфизованным вулканогенно-осадочным толщам калевийского и людиковийского надгоризонтов или к более древним породам.

Тектономагматические процессы в палеопротерозое в интервале 2.1–1.8 млрд лет, определяемые как свекофенский этап геологической истории восточной части Фенноскандинавского щита, привели к принципиальной смене геодинамических режимов, следствием чего стало формирование новой океанической коры [3]. К 1.8 млрд лет завершилась кратонизация с образованием современного Свекофенского геоблока, северо-восточная граница которого частично проходит в южной части Карелии (северное Приладожье). С этим этапом связываются очень активные тектономагматические процессы всей территории Карелии, повлекшие за собой формирование деформационных зон, определяемых как результат свекофенской активизации. Классическим примером является Беломорский подвижный пояс, в частности, метаморфогенные пегматиты и связанные с ними происхождением индустриальные мусковит, полевой шпат и кварц. Пространственно мусковитовые пегматиты жильного типа связаны с породами чупинской свиты архея, представленными кианит-гранат-биотитовыми, гранат-биотитовыми, биотитовыми и двуслюдяными плагиогнейсами, и контролируются узкими линейными зонами сжатых и изоклинальных, реже открытых, складок, а также с зонами расланцевания и кливажа [14].

Во всех известных случаях собственно рудовмещающие структуры являются молодыми, наложенными относительно ранних структур, вдоль которых имеют место рудообразующие диафорические процессы в условиях фации кианит-мусковитовых гнейсов высоких давлений и средних температур [15, 16].

На рубеже 1.9 млрд лет на севере Карелии произошло становление мафит-ультрамафитовых расчлененных интрузивов щелочной направленности – Тикшеозерский и Восточный массивы с карбонатитами и титаноносный Елетьозерский массив с нефелиновыми сиенитами в центральной части, как и аналогичный интрузив Гремяха-Вырмес на Кольском полуострове. Эти массивы характеризуются большой минерагенической нагрузкой – апатит, кальцит, нефелин, полевой шпат, ильменит, магнетит, оливин.

Для территории Карелии практически последними существенными тектономагматическими процессами стали процессы эпохи стабилизации древней платформы 1.8 – 1.5 млрд лет назад. Характерным становится внутриплитный кислый магматизм калиевого ряда. С этими процессами связаны крупные интрузивные многофазные анортозит-рапакивигранитные комплексы (Салминский и Улялегский плутоны).

К специфичным относятся щелочно-полевошпатовые породы рифейского комплекса, названные ладогалитами [17]. Они представляет новый вид комплексных магматических месторождений апатитового, стронций-барийсодержащего щелочно-полевошпатового, сиенитового щелочно-полевошпатового сырья и сфенового минерального сырья Элисенваарской группы [18]. Внедрение щелочнокалиевой магмы с характерной недосыщенностью SiO_2 и высоким содержанием щелочей до 13.2% при преобладании калия над натрием ($\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} = 0.34 - 0.84$) произошло в интрузивную и диатремо-дайковую фазы по Р.А.Хазову [17].

В мезопротерозое (1.5–1.3 млрд лет) в основном сформированы толщи красноцветных песчаников и конгломератов, а также базальтами салминской свиты и долериты Валаамского силла [17].

Формирование индустриальных минералов было полигенное и полихронное. Полигенность выражается в различных причинах образования полезных ископаемых. Выше показаны различные обстановки их становления и приуроченность к определенным структурно-формационным комплексам. На основе системного анализа выделены три основные генетические группы месторождений: магматические, метаморфогенные и гидротермально-метасоматические. Формирование полезных ископаемых данного класса происходило в различные временные отрезки. В табл. 1 приводится распределение индустриальных минералов докембрия Карелии по трем тектоническим мезоструктурам (мегадоменам).

Таблица 1. Распределение индустриальных минералов и горных пород докембрия в восточной части Фенноскандинавского щита территории Карелии

Беломорский подвижный пояс	Карельский кратон	Свекофеннский геоблок
керамические пегматиты	керамические пегматиты	керамические пегматиты
полевошпат	полевошпат	кварц
мусковит	кварц, кварциты	графит
кианит	мусковит	флюорит
кварц	кианит	барит
гранат	графит	полевошпат, Ва-Sr полевошпат
ставролит	гранат	титанит
корунд	ставролит	андалузит
анортозит (полевошпат)	пирит	ставролит
	геллефлинта (полевошпат)	карбонатные породы (мрамор, доломит)
	карбонатные породы (мрамор, доломит)	граниты рапакиви (полевошпат)
	ильменит	тальк
	тальковый камень	волластонит
	тальк	тремолит
	магнезит	гранат
	апатит	каолин
	магнетит	
	хромит	
	нефелиновые сиениты (полевошпат)	
	оливин	
	серпентинит	
	дунит	
	флюорит	
	шунгитовые породы	
	барит	
	кровельные сланцы	

Ниже рассматриваются примеры состояния геологической, минералогической и технологической изученности некоторых индустриальных минералов Карелии.

Полевошпатовое сырье (технологическая характеристика)

Карелия является крупнейшей сырьевой базой полевошпатового сырья различного минерального состава и многоцелевого назначения (табл. 2, рис. 1) [26].

Таблица 2. Типы полевошпатового сырья Карелии

Тип сырья	Группа по соотношению $K_2O:Na_2O$			
	≥ 3	2-3	0,9-2	$< 0,9$
Кварц-полевошпатовый	Высококалиевое	Калиевое	Калий-натриевое	Натриевое
Нефелин-полевошпатовый				
Полевошпатовый				

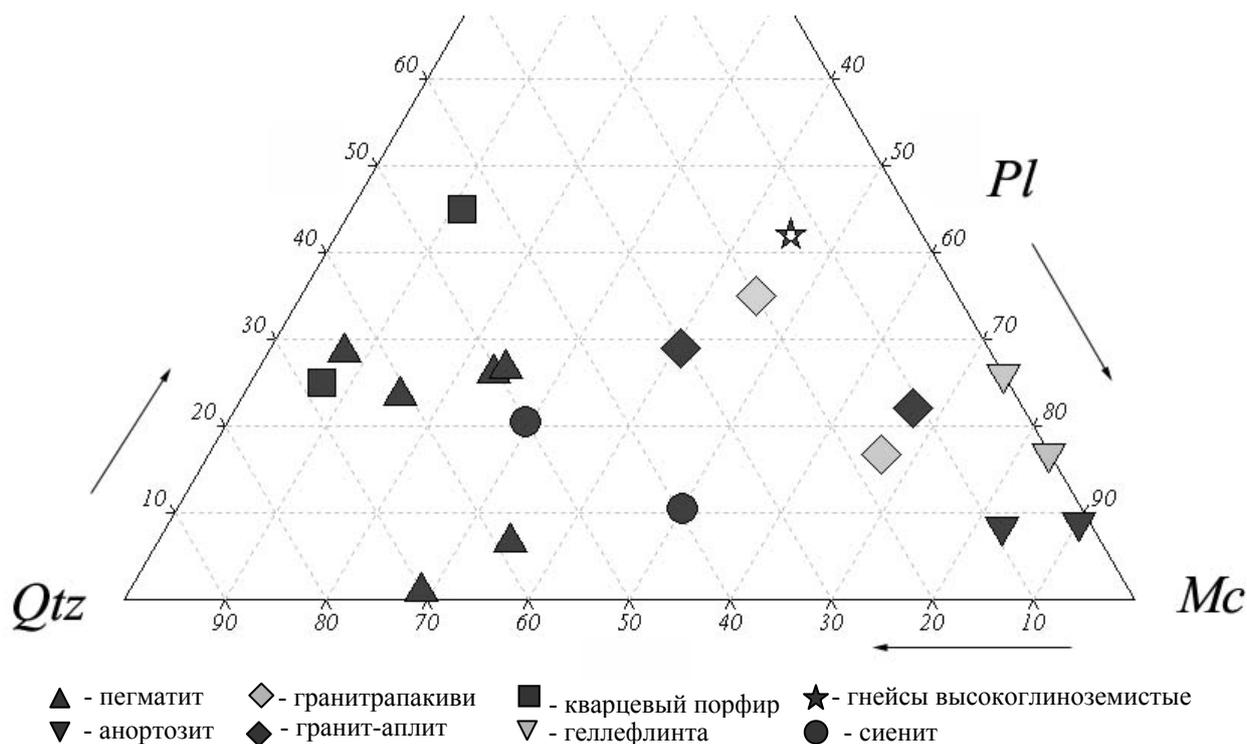


Рис 1. Минеральный состав различных типов полевошпатовых пород

Среди полевошпатовых объектов Карелии особое место занимает керамическое сырье, традиционно добываемое из нестабильных по составу пегматитов. Основные месторождения пегматитов по особенностям строения относятся к типу слабо дифференцированных, имеют ортотектитовую неравномернозернистую структуру, плагио-микрклиновый состав. Часто наблюдаются проявления гидролиза полевых шпатов с образованием мелкочешуйчатого мусковита, граната, обособлений кварца [4, 26]

Пегматит обычно обогащается ручной рудоразборкой с доводкой магнитной сепарацией. Лабораторными и полевыми испытаниями, выполненными совместно с ВИМС на ряде месторождений пегматита Южной и Северной Карелии, показано, что использование радиометрической сепарации, взамен ручной сортировки, существенно увеличивает извлечение микрклина и плагиоклаза [48].

Качество полевошпатовых концентратов из пегматитов и гранитизированных пегматитов, определяемое составом полевых шпатов, нестабильно (по содержанию Fe_2O_3 , Na_2O , K_2O) даже в пределах одного месторождения (рис. 2, табл. 3), что определяется как минеральными микропримесями в полевых шпатах (рис. 3), так и интенсивностью вторичных процессов, а также структурными замещениями.

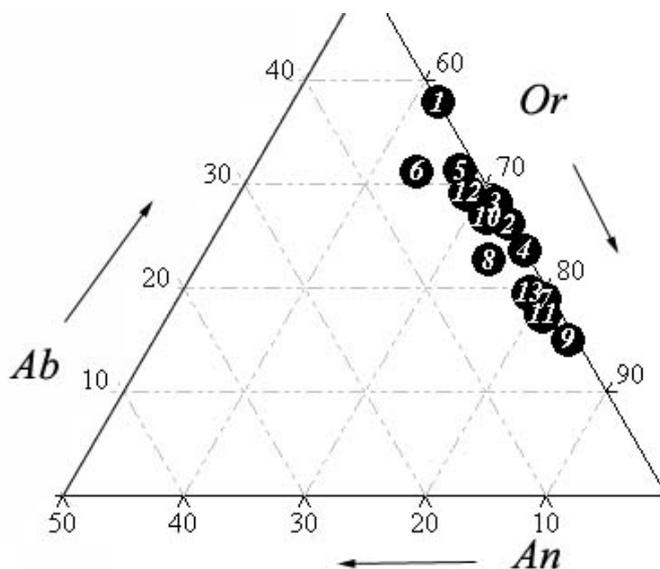


Рис. 2. Состав полевых шпатов из пегматитов: 1-2 – Большое, 3 – Кюрьяла, 4 – Брусничное, 5,6 – Линнавара, 7 – Слюдяной Бор, 8,9 – Картешный Бор, 10,11 – Малиновая Варакка, 12, 13 – Хетоламбино

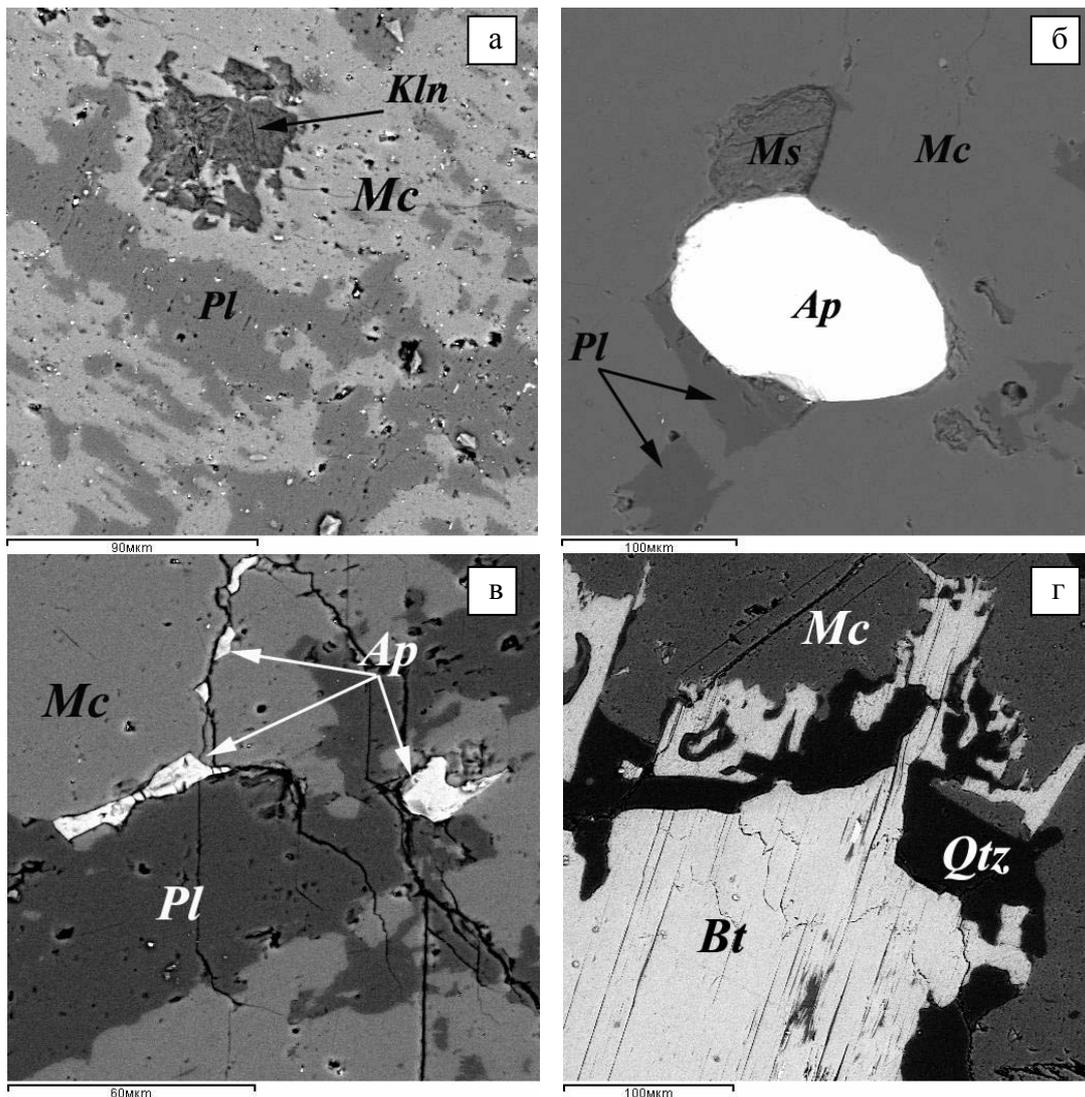


Рис 3. Включения в микроклине: а – пегматит Кюрьяла; б – гранит оз. Долгое; в – пегматит Якима; г – гранитрапакиви Салминский массив. Где Mc – микроклин, Pl – плагиоклаз, Kln – каолинит, Ms – мусковит, Bt – биотит, Ap – апатит, Qtz – кварц. Изображение выполнено на сканирующем электронном микроскопе VEGA II LMU

Таблица 3. Содержание основных лимитируемых оксидов в полевых шпатах из пегматитов Карелии

Оксиды	Месторождения					
	Линнаваара	Кюрьяла	Брусничное	Люпикко	Хетоламбина	Слюдяной Бор
Fe ₂ O ₃	0,03-0,23	0,08-0,22	0,06-0,14	0,05-0,21	0,04-0,17	0,05-0,37
Na ₂ O	2,5-2,62	2,56-3,01	2,56-3,12	2,6-3,23	1,84-3,42	2,33-3,06
K ₂ O	8,02-8,24	9,24-12,00	8,38-10,16	8,83-10,74	6,02-11,94	9,20-12,60

Более стабильны по составу и качеству полевых шпатов породы, относимые к кислым вулканитам, нефелиновым и щелочным сиенитам (табл. 4), обладающие по сравнению с пегматитами важными преимуществами – это неограниченность запасов и относительно легкая обогатимость.

Наиболее детально минералого-технологические особенности нетрадиционного полевошпатового сырья изучены на примере вскрышных пород (геллефлинта и плагиопорфир) Костомукшского железорудного района, кварцевых порфиров месторождения Роза-Ламби, нефелинсодержащих сиенитов Елетьозерского массива, анортозитов Котозерского участка [23, 26, 49].

Геллефлинта не имеет аналогов среди кварц-полевошпатовых пород Карелии и характеризуются резким преобладанием натрия над калием. Высококалиевая геллефлинта встречается в небольших количествах и промышленного значения не имеет. Структура основной ткани породы фельзитовая, участками микролитовая с тесно сросшимися зернами альбита и кварца размером 0,001-0,015 мм (рис. 4).

Таблица 4. Характеристика перспективных месторождений полевошпатового сырья магматического генезиса

Геолого-промышленный тип месторождений	Месторождения	Характеристика концентрата		
		Выход, %	Содержание Fe ₂ O ₃ , %	Калиевый модуль
Граниты рапакиви	Салминский массив	25-30	0,15-0,20	2,4-3
		20-25	0,15-0,2	Менее 1
Граниты лейкократовые и аляскитовые	Оз Долгое, о. Германа и др.	70-75	0,15-0,2	0,9-1,5
Кварцевые порфиры	Роза-Ламби	70-78	0,14-0,2	4-6 до 10
Геллефлинта, плагиопорфиры	Костомукшское	63-66	0,1-0,15	≤1
Нефелинсодержащие сиениты	Еletzозерское	50-53	0,1-0,18	≤1
Анортозиты	Котозерский участок	44-46	0,1-0,27	0,05-0,25

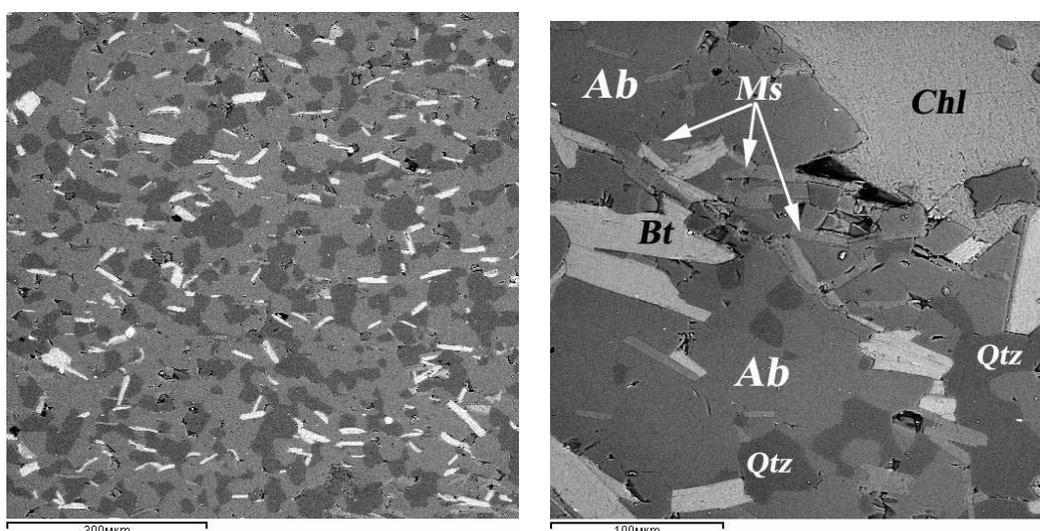


Рис. 4. Структура основной ткани и минеральный состав геллефлинты. Где Ab – альбит, Ms – мусковит, Bt – биотит, Chl – хлорит; Qtz – кварц. Изображение выполнено на сканирующем электронном микроскопе VEGA II LMU

Содержание породообразующих минералов варьирует в относительно узких пределах: 55-65% полевого шпата и 20-25% кварца. Полевой шпат представлен преимущественно альбитом и олигоклазом, в количестве не более 1% присутствуют ортоклаз и микроклин. Содержание примесей, подлежащих удалению (биотит, мусковит, серицит), обычно составляет 5-10%. Слюды в геллефлинте отличаются по форме и размеру (рис. 4). Преобладающий размер слюды определяет обогатимость геллефлинты (рис. 5).

Наиболее детально минералого-технологические особенности нетрадиционного полевошпатового сырья изучены на примере вскрышных пород (геллефлинта и плагиопорфир) Костомукшского железорудного района, кварцевых порфиров месторождения Роза-Ламби, нефелинсодержащих сиенитов Еletzозерского массива, анортозитов Котозерского участка [23, 26, 49].

Геллефлинта не имеет аналогов среди кварц-полевошпатовых пород Карелии и характеризуются резким преобладанием натрия над калием. Высококалиевая геллефлинта встречается в небольших количествах и промышленного значения не имеет. Структура основной ткани породы фельзитовая, участками микролитовая с тесно сросшимися зернами альбита и кварца размером 0,001-0,015 мм (рис. 6).

Кварцевые порфиры месторождения Роза-Ламби представляют собой новый тип высококалиевого кварц-полевошпатового сырья многоцелевого назначения [4, 23, 26]. Лейкократовая разновидность кварцевых порфиров образует два штока и является полезным ископаемым на месторождении Роза-Лампи. Лейкократовые кварцевые порфиры характеризуются бластопорфировой структурой с микрогранобластовой, лепидогранобластовой, иногда сферолитовой структурой основной массы. Среди вкрапленников преобладающими являются кварцевые, состоящие из одиночных, либо агрегатов нескольких как бы оплавленных зерен диаметром 1-3 мм. Основная масса кварцевых порфиров сложена кварц-полевошпатовым агрегатом (35-50% кварц, 40-50% калиевого полевого шпата) микрозернистого сложения с тонкими прослойками войлокообразного (в линзообразных утолщениях) и

тонкочешуйчатого серицита (5-10%). Количество серицита в породе варьирует от 5 до 25%, биотит встречен в виде тонких чешуек (1-3%), ориентированных согласно прослоям серицита. Характерными являются порфиновые выделения голубого опаловидного кварца (табл. 5).

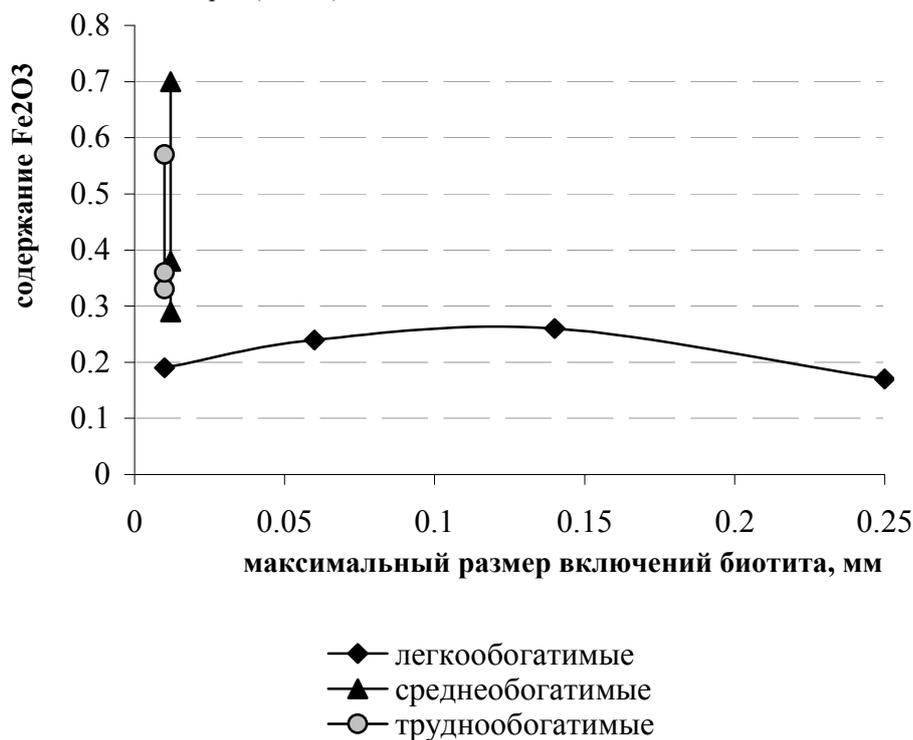


Рис. 5. Обогащаемость геллефлинты в зависимости от размера включений слюды

Таблица 5. Характерные особенности кислых вулканитов м-я Роза-Ламби по генетическим типам

Генетические разновидности	Структура основной массы	Текстура	Количество порфириновых выделений	Размер чешуек, мм	
				Биотита	Серицита
Темно-серые	Микрогранобластовая	Массивная слабо рассланцованная	10	0,003-0,2	0,005-0,01
Лейкократовые	Фельзитовая	Массивная кварцитовая	5	нет	<0,1

Технологическое картирование показало, что химический состав кварцевых порфиров достаточно выдержанный с характерно высоким содержанием оксида калия и низким (от десятых долей до 1,5%) содержанием оксида натрия. (табл. 6).

Таблица 6. Средний химический состав лейкократовых кварцевых порфиров.

Оксиды	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	K ₂ O+N ₂ O	K ₂ O/Na ₂ O
Содержание, % по массе	76,80	1,70	0,28	0,64	0,68	7,60	8,28	11

Весьма незначительное количество щелочноземельных оксидов в лейкократовых разновидностях вполне согласуется с низким содержанием в них плагиоклаза. Минимальное (0,21-0,23%) содержание Fe₂O₃ в концентрате получено при обогащении исходного материала крупностью 98% класса – 0,074 мм методом мокрой магнитной сепарации. Введение в схему дещламинации конечного продукта позволяет получать кварц-полевошпатовые концентраты высокой чистоты (содержание Fe₂O₃ ≤ 0,15%).

Субщелочные щелочные полевошпатовые породы – нефелинсодержащие сиениты в Карелии представлены относительно изученным Елетьозерским объектом [22, 23, 26]. Имеющиеся данные позволяют говорить о нестабильности состава пород в пределах массива. Наиболее стабилен Северный участок, где отношение K₂O/Na₂O близко к 1. Основная разновидность сиенитов имеет крупнозернистое строение, структура гипидиоморфнозернистая. Визуально хорошо различимы микроклин (3 x 6 мм), нефелин (2 x 4 мм), гнездообразные скопления мелкочешуйчатого биотита. Нефелин, наряду с фенокристами, образует мелкие зерна, расположенные среди микроклин-пертита (рис. 7).

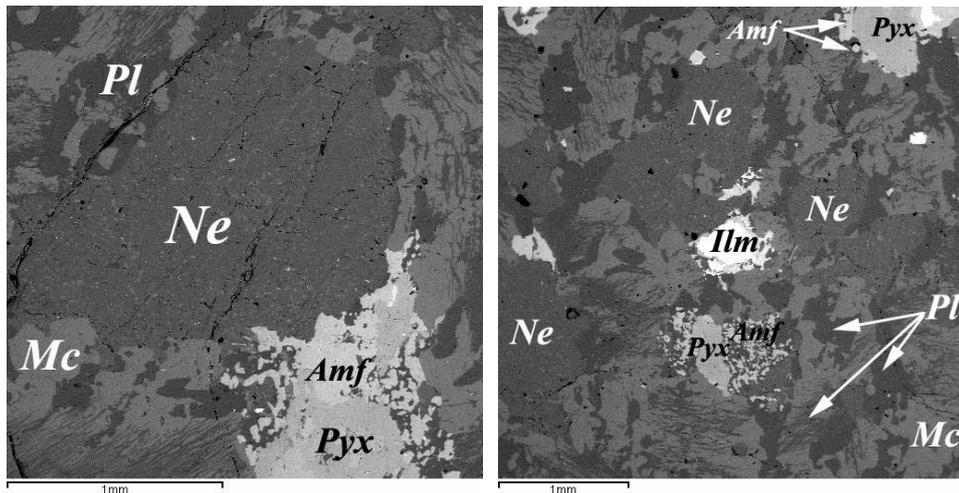


Рис. 6. Нефелиновые сиениты Северного участка. Изображение выполнено на сканирующем электронном микроскопе VEGA II LMU, где Pl – плагиоклаз, Ne – нефелин, Mc – микроклин, Amf – амфибол, Pyx – пироксен, Птм – полевои шпат

Сиениты в центральной части более мелкозернистые. Зерна полевых шпатов раздроблены. Состав пород не постоянный. Количество нефелина увеличивается до 25%, он частично замещается канкринитом. Увеличено, по сравнению с северной частью, и содержание темноцветных минералов, среди которых преобладают мелкошуйчатый биотит и эпидот. В Южной части отмечена микроклинизация сиенитов, характерно высокое содержание магнетита. Тонкие сростания минералов-железоносителей с породообразующими в сиените развиты незначительно.

Качество концентрата магнитной сепарации определяется тониной помола (рис. 7).

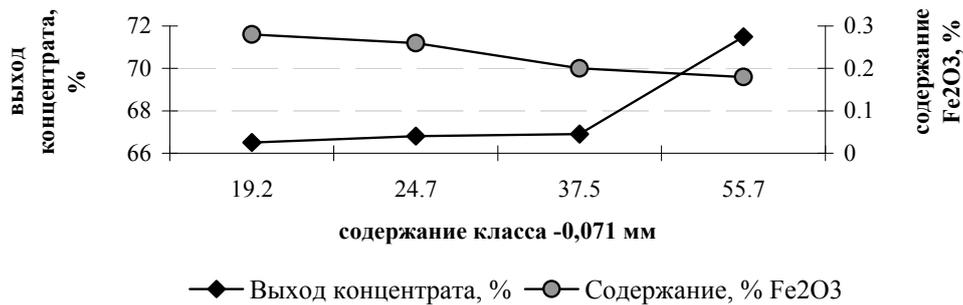


Рис. 7. Зависимость качества концентрата от крупности материала, поступающего на обогащение

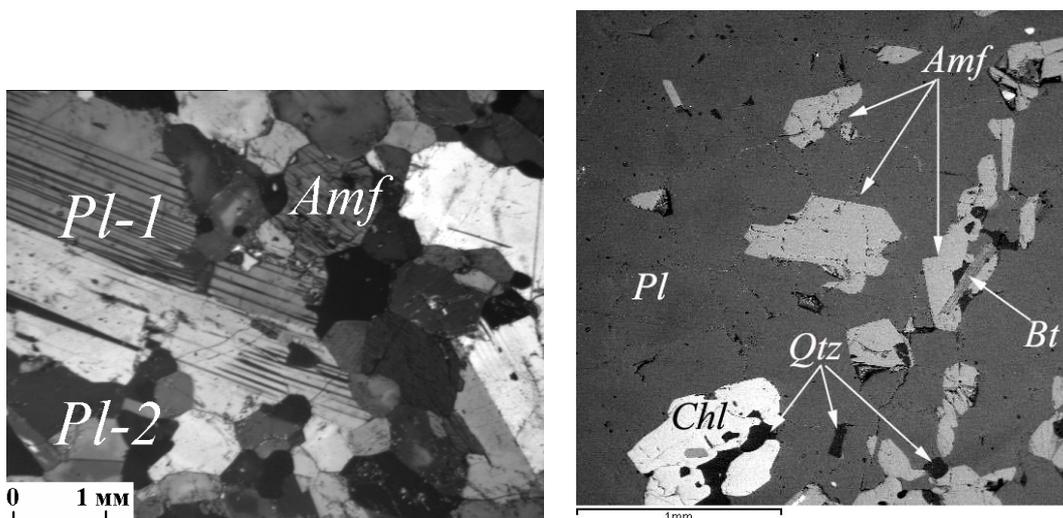


Рис. 8. Фото шлифов анортозита, где Pl – плагиоклаз, Amf – амфибол, Q – кварц, Bt – биотит, Chl – хлорит

Анортозиты являются новым нетрадиционным для России видом полевошпатового сырья. Основными породообразующими минералами являются плагиоклазы и амфибол (рис 8), контрастные по своим свойствам Главные минералы: плагиоклаз ~80-85%, амфибол ~10-15%. Плагиоклаз двух разновидностей: вытянутые пластинчатые формы (от 0,1 до 0,6 мм) (P1-1) и более мелкие, вторичные (P1-2) со следами деформаций в виде системы трещин, соссюритизация умеренная (рис. 8).

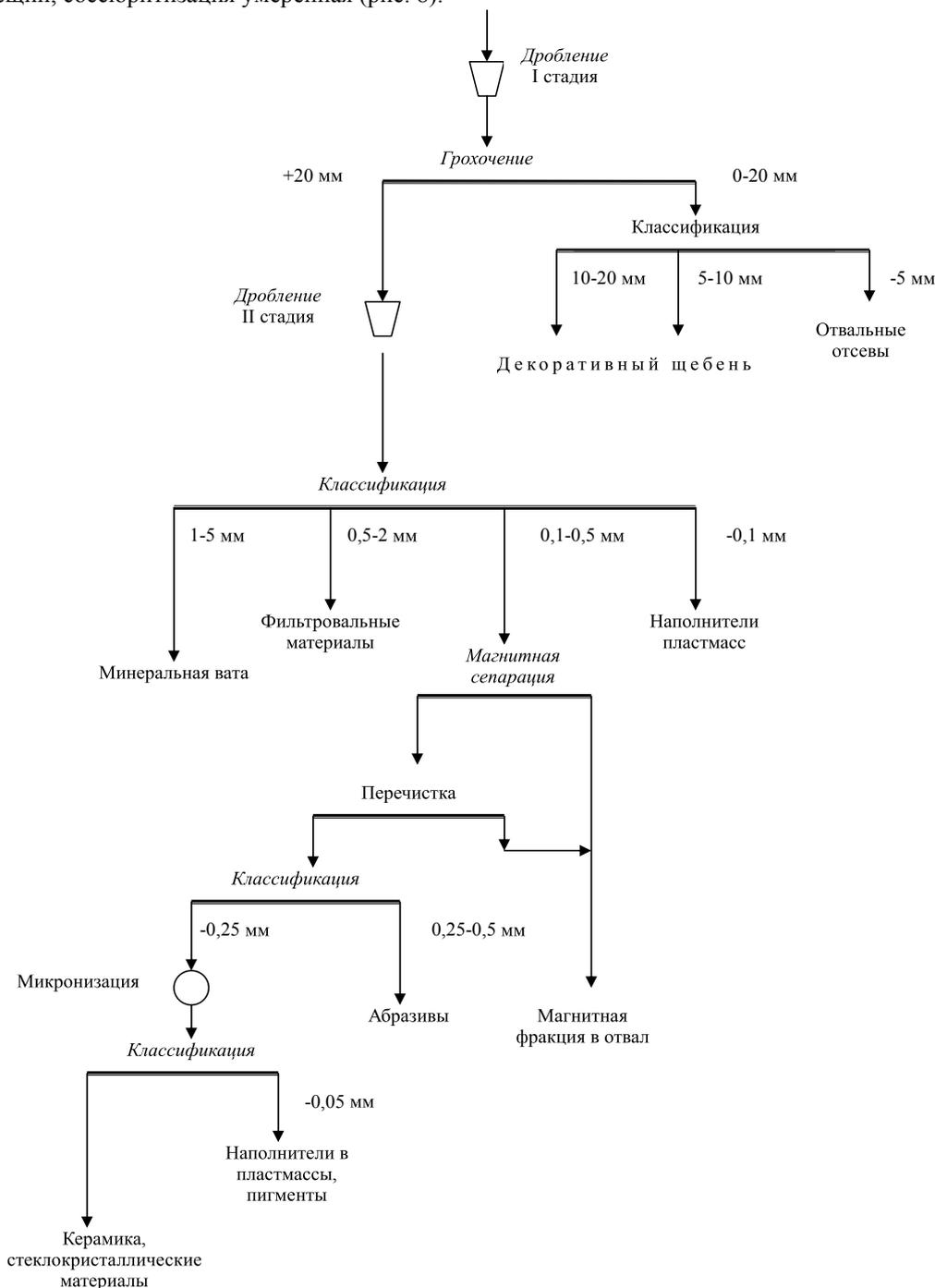


Рис. 9. Комплексная технологическая схема обогащения анортозитов

В результате проведенных исследований с целью создания минерально-сырьевой базы на территории Лоухского района РК за счет вовлечения в эксплуатацию нетрадиционного минерального сырья на основе проявления анортозитов, представляющих промышленный интерес, проведена оценка возможности освоения Котозерского месторождения анортозитов как источника сырья многоцелевого назначения [26, 42].

Маркетинговые исследования и изучение возможных областей использования исходной породы и продуктов обогащения определили требования к качеству продуктов при использовании в конкретных направлениях. В соответствии с этим разработана технологическая схема обогащения с учетом комплексности использования минерального сырья (рис. 9). Данная технология без существенных

компоновочных изменений и затрат позволяет гибко реагировать на выпуск продуктов, пользующихся спросом в данный момент. В результате проведенных опытных технологических испытаний установлена возможность использования небогатой горной породы и анортозитового концентрата в качестве: сорбента катионов тяжелых цветных металлов, механической загрузки в минеральных фильтрах, основы для получения твердофазных композиционных пигментов, составляющей шихты декоративных стекол, минеральной ваты.

Индустриальные минералы силлиманитового ряда (технологическая характеристика)

В процессе изучения площадей распространения минералов силлиманитового ряда (силлиманит, андалузит, кианит) установлено, что значительные проявления силлиманита в Карелии не известны. Андалузит встречается в Палкъярвинской свите (Приладожье, район озер Палкъярви, Вахвярви, Янисъярви). На участке Вахвярви в породе, представленной кварц-биотитовыми сланцами, андалузит образует порфириобласты различной формы, размеры которых колеблются от 1 до 3-5 см в поперечнике. Количество их редко достигает 15%. Порфириобласты андалузита раздроблены, трещиноваты и представляют собой мелкозернистый агрегат в сростании с чешуйками серицита, полевого шпата, биотита, кварца (рис. 10, табл. 7). Эмульсионные включения графита в андалузите придают минералу черный цвет.

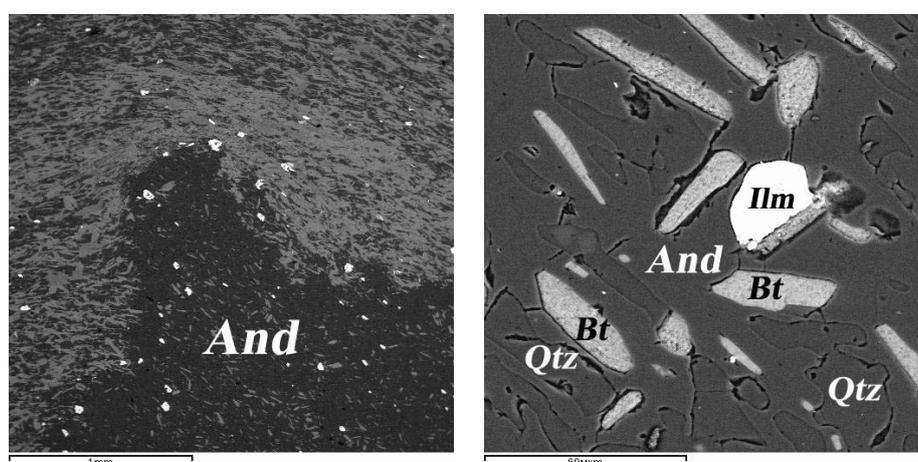


Рис. 10. Морфология андалузита и включения в нем. Изображение выполнено на сканирующем электронном микроскопе VEGA II LMU, где And – андалузит, Bt – биотит, Qtz – кварц, Plm – полевой шпат

Таблица 7. Характеристика включений в андалузите

Минерал	Размер, мкм	Морфология
Кварц	3-6	Округлые овалы
Биотит	5-6 x 11-27	Удлиненные таблички
Ильменит	11 x 22	Удлиненные таблички
Графит	0,5-1	Округлые

Андалузитсодержащая порода характеризуется сложностью выделения андалузита и низким качеством концентрата, что, однако, не исключает ее использования в областях, не требующих высокой чистоты

Изучение рудообразования и вторичных изменений кианитовых руд Хизоваарского рудного поля позволило выделить три промышленных типа руды, отличающихся по условиям образования, вещественному составу, гранулометрии слагающих минералов, характеру кристаллизации кианита, а также технологическим показателям обогащения (рис. 11) [21]. Отличительной особенностью кианита в рудах Северной линзы (*метаморфогенный тип*) является приуроченность их к графитизированным гранат-биотитовым сланцам, что определяет цвет кианита – синевато-черный, темно-серый до черного, что в свою очередь обусловлено равномерным вхождением тонкодисперсного углеродистого вещества. *Метасоматические руды* с кианитом распространены на участках "Восточный-2" и "Фукситовый". В пределах промышленно значимой Южной линзы руды представлены плотными, средне-мелкозернистыми *метаморфогенно-метасоматическими* кианит-кварцевыми сланцами, для которых характерны светло-голубоватые или бело-серые кристаллы кианита.

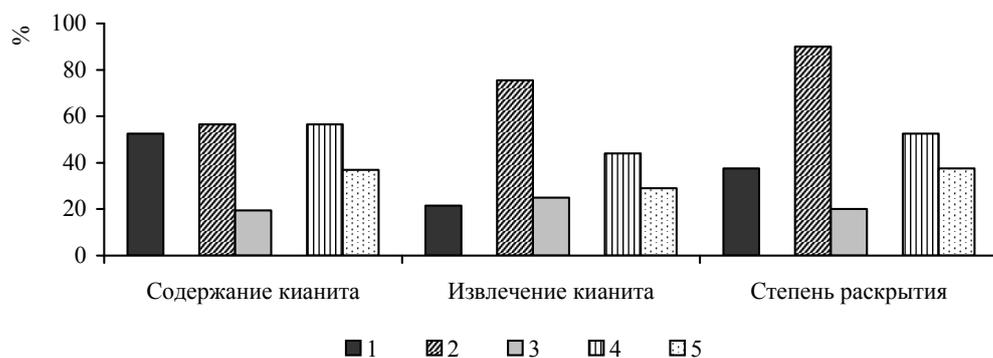


Рис. 11. Обогащаемость морфологических типов кианитовых руд Хизоварского рудного поля: 1 – метаморфогенный, 2 – метаморфогенно-метасоматический, 3 – метаморфогенно-метасоматический графитизированный, 4 – метасоматический неизмененный, 5 – метасоматический графитизированный

Кианит-кварцевые сланцы Южной линзы представляют собой породы, состоящие из кварца, кианита, мусковита, пирита. В незначительных количествах присутствует рутил, гранат, биотит, пирротин, графит и др. Кианит в преобладающем количестве представлен иголками с размером сечения от 0,5 мм до 3 мм при длине до 3 см, с изъеденными контурами. Включения в игольчатом кианите представлены пленками, минералами, а также флюидными включениями. Пленки на кианите образуются чаще всего в результате частичного замещения пирита лимонитом с образованием бурого налета гидроксидов железа. Минеральные включения в кианите представлены: кварцем (размером 20-70 мкм и менее), пиритом, рутилом (10-30 мкм и менее), реже распространены включения апатита (рис. 12).

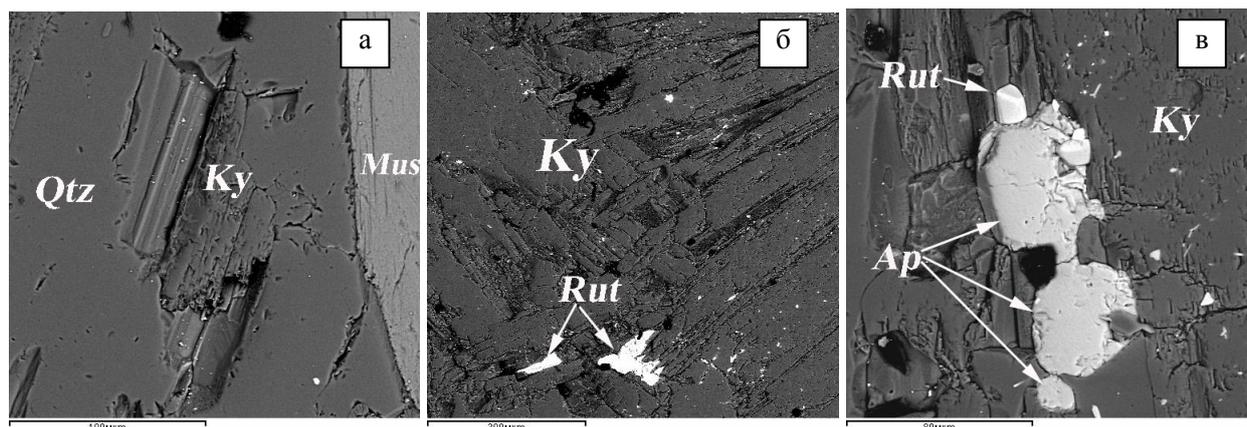


Рис. 12. Микрофото кианита из кианит-кварцевых сланцев: а) игольчатый кианит; б) радиально-лучистый кианит; в) включения в кианите. Qtz – кварц, Ky – кианит, Mus – мусковит, Rut – рутил, Ap – апатит. Изображение выполнено на сканирующем электронном микроскопе VEGA II LMU

В основной массе составы игольчатых и лучистых кианитов не отличается от стехиометрического (табл. 8). Изучение кианита и особенностей его состава в руде с использованием сканирующего электронного микроскопа VEGA II LSH (анализатор INCA Energy 350, ускоряющее напряжение-20 kV, ток зонда-350 pA), показало, что встречаются кианитовые разности с пониженным содержанием алюминия (определение 2), а также реликты каолинита (определения 3, 4), природа которого трактуется двояко [50].

Таблица 8. Состав кианита по данным микроанализатора INCA ENERGY 350

Определение	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃
1	63.46	36.54	
2	49.60	50.40	
3	35.09	44.12	1,23
4	37.95	45.75	0,54

Наличие в кианите неудаляемых включений других минералов и присутствие реликтов каолинита определяют предел обогащаемости кианита Южной линзы (табл. 9) по Al₂O₃, соответствующий 60,02% [51].

Таблица 9. Качественная характеристика кианитового концентрата

Концентрат	Содержание оксидов, % по массе						
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	Na ₂ O	K ₂ O
Товарный	37,80	1,46	57,10	0,61	0,28	0,04	0,03
Предельно обогащенный	37,50	1,20	60,02	0,40	0,03	0,05	0,04

Углеродистое индустриальное сырье (технологическая характеристика)

Графит

В Карелии известно три группы проявлений графита, изученных с различной степенью детальности (табл. 10), образующих два технологических типа [26, 52].

Обогащаемость графитосодержащих руд Карелии определяется минеральным составом и структурными элементами: размерами и формой графитовых чешуй и типами сростаний графита с породообразующими минералами. Наибольший интерес представляют графитовые руды месторождения Ихала. Здесь выделено несколько генетических и технологических типов руд [53]. Установлено, что неизменные биотитовые гнейсы, мигматиты, щелочные метасоматиты характеризуются легкой обогащаемостью. Сростки графита представлены параллельными сростаниями с биотитом. Содержание углерода в концентратах составляет 90-95% при извлечении 92-97%. В метасоматитах крупночешуйчатый графит образует сростания с амфиболом и пироксенном, а мелкочешуйчатый с размером чешуй 0,03-0,3 мм находится в тесном сростании с полевыми шпатами.

Таблица 10. Технологические показатели обогащения графитовых руд Карелии по группам

Месторождение, рудопроявление графита	Содержание углерода, %		Извлечение углерода, %
	В руде	В концентрате	
Питкярантская группа			
Кительское	39,8*	76,4	91,4
Шварц	31,2*	58,6	97,3
Руокоярви	5,9	45,3	84,1
Импилехти	3,5	81,5	94,0
Сортавальская группа месторождений и рудопроявлений графита			
Вуорио	2,8	77,1	Не опр.
Ихальская группа			
Северный	5,0	92,7	92,8
	2,9	91,2	93,4
	2,8	92,2	92,3
Западный	2,9	92,3	94,9
	3,2	95,3	96,5
	5,9	95,0	94,4
Терваярви	3,9	88,0-90,0	96,0

Таблица 11. Ожидаемые показатели обогащения графитовых руд Ихальского месторождения различных природных типов

Тип руды		Особенности технологической схемы			Характеристика концентрата, %		
		Крупность	Количество перечистных операций	Количество операций доизмельчения	Степень раскрытия сростков графита	Содержание углерода	Извлечение углерода
Биотитовые гнейсы	Неизменные	50-60% кл.-0,07мм.	3-5	1	75-80	92,43	91,57
	диафторированные		5	2	65-70	90,51	87,58
Мигматиты			3-5	1	75-78	95,0	94,58
Щелочные метасоматиты			3-5	1	70-75	86,65	94,23

Более сложные и разнообразные по составу и типам сростаний сростки образует графит в диафторированных биотитовых гнейсах. Преобладают трудно раскрываемые сростки с пирротинном и сложные сростки с биотитом и полевыми шпатами, биотитом и кварцем. Графитовые руды из зон диафтореза характеризуются низкими технологическими показателями (табл. 11).

Шунгитовая порода

С позиций современных знаний термином шунгит следует определять элементарный углерод с метастабильной структурой, неспособной к графитизации. Углерод связывается с подвижностью гидрокарбонатов из керогенов. Породы, содержащие 10-70% шунгита, называются шунгитовыми. Минеральную основу шунгитовых пород составляют алюмосиликаты, кварц, реже – карбонат.

Породы, содержащие шунгит, на территории Карелии встречаются во многих районах, но промышленная их ценность определена наиболее полно для месторождений Заонежья (Шуньгское, Максово, Загоино) и Кондопожского района (Нигозерское, Мягрозерское). Области использования шунгитосодержащих пород, определяются их составом и свойствами. Малоазольный шунгит в последние годы стал широко использоваться в качестве адсорбента для очистки бытовых и сточных вод, газовых выбросов, а также в нетрадиционной медицине. Невыдержанность состава шунгитовых пород в пределах разновидности (рис. 13-а), подтвержденная исследованиями, весьма важный показатель при промышленном использовании.

Обогащение шунгитовых пород с целью повышения содержания углерода имеет смысл только для разновидностей пород, богатых углеродом, развитых на месторождениях Загоино, Максово, Шуньгском (рис. 13-б). Изучение обогатимости начатое в 30-е годы и продолженное с 1970 гг показало исключительно трудную их обогатимость механическими методами с целью повышения содержания углерода.

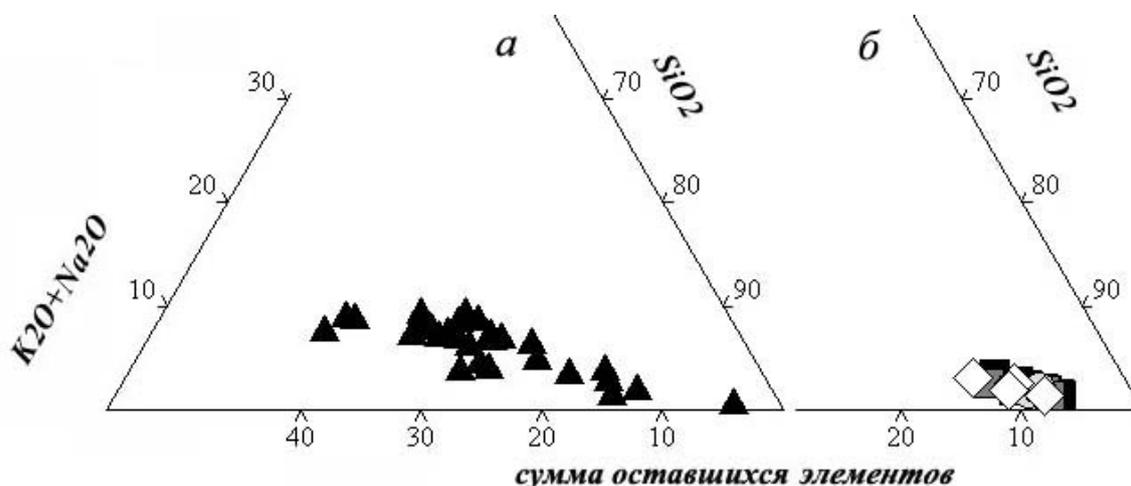


Рис. 13. Диаграмма химического состава зольной части шунгитовых пород (по технологическим пробам)

■ – Загоино ■ – Максово ○ – Карнаволок □ – Подсосонье; ▲ – Лебящина

Шунгитовые породы месторождения Загоино в основной массе сложены тонкокристаллическим агрегатом серицит-биотит-кварцевого состава с тонкорассеянным шунгитовым веществом. Установлено наличие трех типов кристаллов кварца, размером более 20 мкм, слюды имеют размерность 0.1-0,5 мкм, пирит-до 1мкм. Содержание в зольной части Na_2O – 0.04-0.08%, K_2O – 1.31-2.35%. Аналогичны по химическому составу и структурным особенностям и породы Максовского месторождения – содержание в зольной части Na_2O – 0,1-0.38%. K_2O – 1,28-2,47%. Среди механических методов обогащения пород с непостоянным составом важными с точки зрения их практической ценности являются методы, основанные на использовании электропроводности – это радиометрическое обогащение индукционным радиорезонансным методом, рассчитанное на разделение кускового сырья и магнито-гидростатическая (МГС) сепарация, питанием которой служит материал, дробленный до крупности не более 1 мм. Сочетание этих методов сокращает потери ценного компонента и позволяет получать продукты с высокой электропроводимостью (до 200 См/м) для радио-экранирующих материалов [54].

Индустриальное кварцевое сырье (технологическая характеристика)

Традиционно состояние МСБ кварцевого сырья территории Карелии связывалось с пегматитами Беломорья, где в 80-90х гг были выявлены и утверждены запасы кварца для использования в производстве оптического стекла, кварцевой керамики и синтеза искусственных кристаллов.

Позднее на территории Карелии в 1995-2000 гг. Институтом геологии КарНЦ РАН совместно с Северной поисково-разведочной экспедицией проводились широкомасштабные региональные исследования по проекту «Прогнозно-минерагеническое изучение Республики Карелия в масштабе 1:1000000 с целью выявления объектов,

перспективных на минеральное сырье для производства специальных кварцевых изделий». В результате проведения геологических, минералогических и технологических исследований было показано, что разнообразие и особенности структурно-формационных обстановок, фациальных условий проявления метаморфизма и, как следствие, химизма кварцеобразующих растворов явились определяющими причинами формирования типов и подтипов кварца, среди которых помимо традиционных месторождений и проявлений пегматитового, силекситового и жильного кварца, в качестве новых генетических разновидностей для данной региональной структуры впервые выделены гранулированный жильный кварц, сливные кварциты, кварцевые метасоматиты и кварцевая галька.

Были осуществлены детальные геологические исследования некоторых участков с проведением кварцетрической съемки (Фенькина-Лампи, Степаново озеро, Меломайс). На этом этапе основные исследования были направлены на выявление структурно-текстурных, минералогических и геохимических особенностей исходного сырья, проводились технологические испытания по предварительному обогащению с использованием стандартных методов обогащения кварца – магнитная сепарация, флотация, кислотное выщелачивание. Аналитические исследования кварцевых концентратов после предварительного обогащения были проведены в лабораториях ВНИИСИМС (Александров), Tatsumori Corp (Япония), Analytica Ab (Швеция). Основные результаты данного этапа исследований опубликованы в монографии [24] и ряде статей [55-58 и др.].

Важным этапом исследований кварцевого сырья стало выявление типоморфных свойств генетических типов кварца, позволяющих прогнозировать технологические показатели и оценить качество кварцевого сырья. Основные типоморфные свойства кварцевого сырья: содержание элементов-примесей, текстурно-структурные особенности, газонасыщенность, содержание и распределение минеральных включений, содержание структурных примесей и др. [59].

По содержанию элементов-примесей наиболее чистым природным сырьем Карелии является перекристаллизованный, гранулированный жильный кварц и интенсивно рекристаллизованный жильный кварц (табл. 13)

Таблица 13. Содержание элементов-примесей в генетических типах кварца Карелии

Генетические типы	Участок	Содержание элементов-примесей, ppm													
		Al	Fe	K	Na	Ti	Li	Ca	Mg	Cu	Cr	Mn	Ni	Co	Сумма
Керамические пегматиты	Кюрьяла	150	42,5	7,5	93,5	5,5	5	21,6	2	2	-	-	-	-	329,6
Кварцевые метасоматиты	Хизоваара	233	9,5	5	54	20,3	5	7,9	1	1	-	-	-	336,7	
Жильный гранулированный	Рухнаволок	31,1	1,9	4,6	22,8	4	2,1	8,3	0,4	0,4	0,6	0,4	0,6	1	78,2
Жильный молочно-белый	Фенькина-Лампи	47,9	12,2	29,2	74,0	2,0	0,4	24,1	16,0	0,2	0,9	0,6	1	1	209,1
Кварцитовый	Метчангъярви	380	85	250	21	56	0,1	11	45	0,2	1,8	-	-	-	850,1
Кварцитовый перекристаллизованный	Степаново озеро	87	6,3	15,5	95	12	0,3	7,7	5,6	0,2	1	0,2	1	1	232,8

Анализ выполнен Tatsumori Corp. (Япония)

Важными типоморфными признаками являются субструктуры метагенеза кварца, которые характеризует интенсивность проявленных метаморфических процессов и степень дефектности кварцевых зерен (рис. 14). Возрастание степени деформации приводит к увеличению неоднородности структуры самих зерен кварца, что в результате играет негативную роль в процессах дезинтеграции при рудоподготовке. Наименее деформированные зерна кварца, характеризующиеся однородной структурой и малым количеством микродефектов, наблюдаются в метасоматитах, кварцитах и перекристаллизованных (сливных) кварцитах.

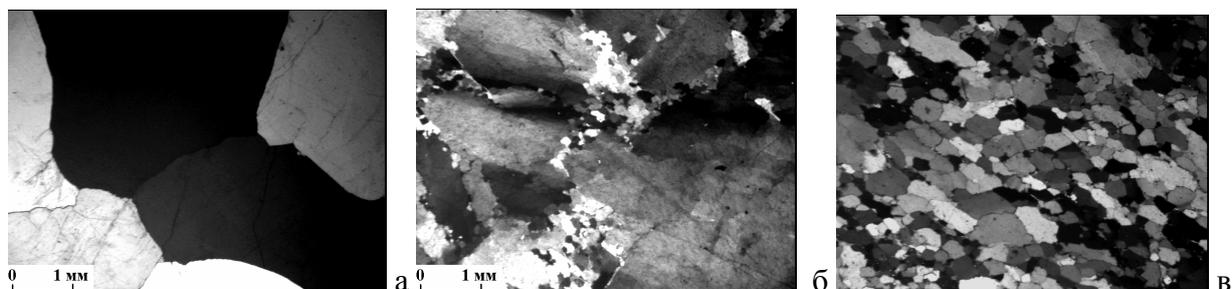


Рис. 14. Структурно-текстурные особенности (субструктуры метагенеза): а – гранобластовая равновесная структура; б – мозаичность и зачатками микрогрануляции; в – вторичная рекристаллизация с образованием микрогранулированного агрегата

Важными типоморфными признаками кварцевого сырья являются виды и формы вхождения минеральных примесей (рис. 15). Современные технологии обогащения кварцевого сырья позволяют практически полностью освободиться от минеральных примесей. Труднообогащаемым является кварц, в котором содержатся мелкодисперсные включения минералов (серицита, эпидота, хлорита, кальцита и др.). Практически неудаляемыми остаются только микроскопические включения (< 10 мкм), в частности рутил в тонкоигольчатом виде.

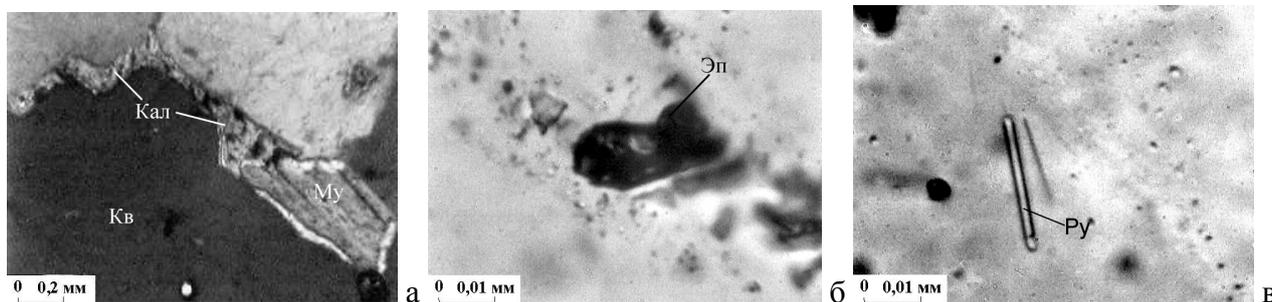


Рис. 15. Минеральные включения в кварце: а – мусковит, кальцит; б – эпидот; в – рутил

Одним из наиболее значимых типоморфных признаков кварца является газонасыщенность – наличие газовой-жидких включений в кварце, а также их размеры и распределение в зернах кварца (рис. 16) [60, 61 и др.].

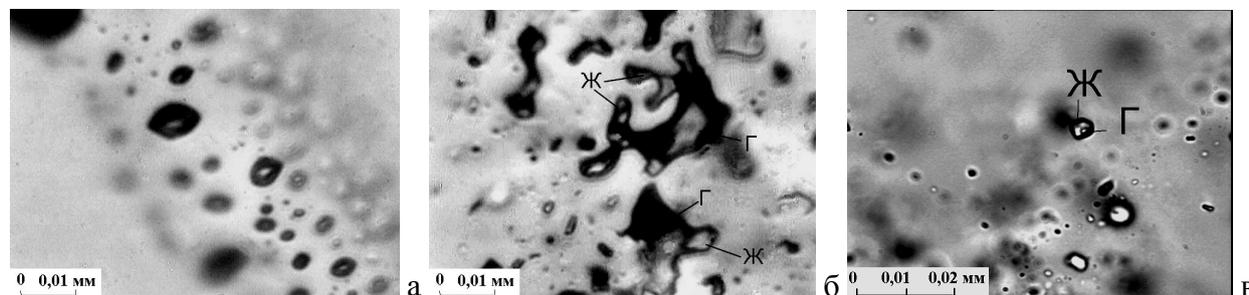


Рис. 16. Газово-жидкие включения: а – по микротрещинам, б – крупные включения; в – мелкие включения. Первые технологические испытания по глубокому обогащению жильного кварца и кварца нетрадиционных типов были проведены в лаборатории ОАО «Полярный кварц» по отработанной у них технологии для жильного кварца Полярного Урала. Полученные результаты показали возможность значительного очищения кварцевой крупки, однако большой чистоты добиться не удалось по этой технологии [62]. Назрела необходимость разработки соответствующих технологий, применимых к конкретному сырью, что требует тонких исследований физико-химических особенностей кварца.

Большой шаг вперед в этой связи был сделан благодаря исследованиям на сканирующем микроскопе Tescan, который позволяет определять тонкие минеральные примеси, влияющие на обогащаемость кварца, их химический состав. Это дало возможность выявить характерные микропримеси для кварца из разных генетических типов, в частности детальные исследования проведены для кварца участка Меломайс (рис. 17) с целью подбора технологий глубокого обогащения [63, 64].

Большой прогресс в исследованиях кварцевого сырья Карелии связан с сотрудничеством с учеными-физиками ВИМСа – В.Т. Дубинчуком и Л.Т. Раковым, которые проводят исследования кварца с помощью методов ЭПР и электронного микроскопа.

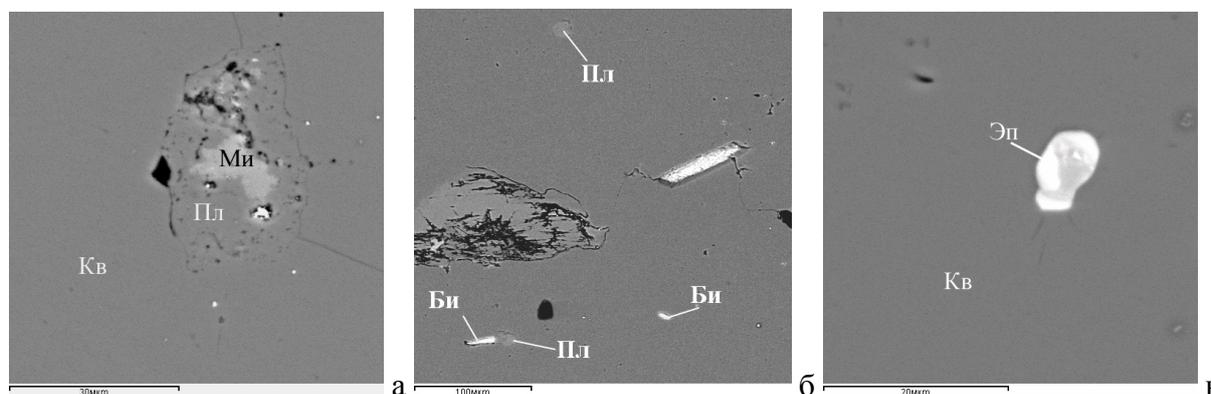


Рис. 17. Микровключения в кварце участка Меломайс: а – плагиоклаз (2 генерация), микроклин; б– плагиоклаз (1 генерация), биотит, микроклин; в – эпидот

Результаты исследований методом ЭПР различных генетических типов кварцевого сырья Карелии показали большой потенциал нетрадиционных типов кварцевого сырья – жильного молочно-белого, сливных кварцитов, кварцевых метасоматитов [65]. Содержание структурных примесей, которые показывают теоретический предел обогатимости кварца, в кварце данных типов значительно ниже, чем в традиционном гранулированном жильном и пегматитовом кварце. В результате обработки кварцевой энергетическими полями происходит вскрытие ГЖВ с образованием минеральных фаз вокруг вскрывшихся пор [64].

В настоящее время в лаборатории проводятся исследования по глубокому обогащению кварцевого сырья Карело-Кольского региона, подбору технологий обогащения, основанному на детальном исследовании свойств кварца методами технологической минералогии, в сотрудничестве с ГИ КНЦ РАН (Апатиты), ИГЕМ и ФГУП «ВИМС». Кроме стандартных методов, используются методы направленного воздействия.

Комбинированные схемы обогащения – путь к комплексному использованию индустриальных горных пород

Комбинированные схемы обогащения позволяют более полно использовать руду. В большинстве случаев, когда мы имеем дело с оценкой значимости того или иного индустриального минерала в горной породе, можно извлечь еще один-два и более полезных компонента [67]. Такие конкретные примеры касаются практики разработки слюдяных и керамических пегматитов северной Карелии: при освоении мусковитовых пегматитов извлекались листовая мусковит и кварц, керамических пегматитов – отдельные блоки пегматитовой породы микроклин-кварцевого состава и микроклин. При разработке технологических схем обогащения кианитовых руд Хизоваарского месторождения нами предложены способы получения одновременно кианитовых, кварцевых и пиритовых концентратов; мусковитовых кварцитов Восточно-Хизоваарского месторождения – чешуйчатый мусковит и глубоко обогащенный кварц; гранатовых руд объекта «Высота-181» – гранат, кианит, кварц, полевой шпат; карбонатитов Тикшеозерского месторождения (участок «Карбонатитовый» – апатит, чистый кальцитовый продукт, магнетит, флогопит; сиенитов массивов Элисенваарской группы – апатит, барий-стронциевый полевой шпат, титанит и биотит.

Нетрадиционными правомочно считать уже длительное время разрабатываемые виды минерального сырья, представления о физических, физико-химических и физико-механических свойствах которых в последние годы существенно расширились, и обосновывается возможность их использования в новых прогрессивных направлениях промышленного производства. Иллюстрацией может стать приводимая таблица 14 по одному из важных направлений целевого использования большой группы индустриальных минералов и горных пород в абразивной промышленности.

Таблица 14. Классификация индустриальных пород и минералов Карелии абразивного назначения по группам твердости

Твердость по шкале Мооса			
Более 7	5,5-7		Менее 5,5
	Кремниевые	Другие	
Корунд	Кварц	Полевой шпат	Апатит
Гранат	Кварцит	Гранит	Кальцит
Ставролит	Песчаник	Слюдяной сланец	Диатомит
	Кварцевый песок		Доломит
	Кварцевый конгломерат		Оксиды железа
			Известняк
			Кремнистый сланец

Другой пример относится к высококремниевым кварцитам месторождения Метчангъярви. По вещественному составу и физико-механическим свойствам эти кварциты являются комплексным сырьем и могут быть использованы в различных отраслях народного хозяйства:

- производство технического кремния марок Кр-1, Кр-2;
- в качестве флюсов при выплавке меди, никеля, фосфора;
- в качестве футеровочных масс для индукционных печей и сталеразливочных ковшей;
- производство динасовых изделий для мартеновских печей и воздухонагревателей доменных печей;
- для производства ферросплавов;
- для производства черного карбида кремния;
- для производства фарфоро-фаянсовых изделий любого назначения;
- производство технического, лабораторного, медицинского и оконного стекла;
- изготовление керамических литейных форм;
- в качестве футеровки помольных агрегатов и мелющих тел;
- в качестве кислотостойких материалов в химической промышленности;
- производство жаростойких бетонов;
- в качестве высокопрочных строительных материалов, белого декоративного щебня и долговечных облицовочных материалов.

Заключение

Большой объем выполненных лабораторных исследований, проистекающих из геолого-минералогического этапа изучения целого ряда промышленных минералов Карелии, показал перспективы переработки конкретных природных типов руды (кианит, апатит, кварц, графит, гранат, нефелин-полевой шпат, анортозит и другие).

Раскрыта роль и влияние геолого-минералогических факторов и типоморфных свойств минералов на оптимальный выбор технологии переработки от стадии рудоподготовки до циклов обогащения. Перспективная оценка минерально-сырьевой базы Карельского региона на основе комплексных геологических и технолого-минералогических исследований весьма положительная и сопоставимая с минеральным потенциалом всей Фенноскандии.

Данный цикл исследований, базирующихся на системном анализе геолого-минералогических особенностей и технологических решений для основных промышленных минералов восточной части Фенноскандинавского щита, может сыграть определенную роль в развитии минерально-сырьевого направления Республики Карелия.

Работа выполнена при финансовой поддержке фундаментальных исследований по проектам Программы № 23 Президиума РАН и Программы ОНЗ-3.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Glebovitsky V.A.* The Early Precambrian of Russia. Amsterdam etc; Harwood Acad. Publ., 1997. 61 p.
2. *Щипцов В.В., Кожеевников В.Н., Скорнякова Н.И.* Гранитоиды архея юго-восточной части Балтийского щита (Карельский геоблок). Л.: Наука, 1987. 119 с.
3. *Богатиков О.А., Коваленко В.И., Шарков Е.В.* Магматизм, тектоника, геодинамика Земли: связь во времени и пространстве. М.: Наука, 2010. 606 с.
4. *Пекки А.С., Разоренова В.И.* Месторождения полевошпатового сырья Карелии. Л.: Наука, 1977. 152 с.
5. Решение III сессии Российского совещания «Общие вопросы расчленения докембрия» // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2001. Т. 9, № 3. С.101-106
6. *Голубев А.И., Светов А.П.* Геохимия базальтов платформенного магматизма Карелии. Петрозаводск: Карелия, 1983. 191 с.
7. *Соколов В.А.* Геология и литология карбонатных пород среднего протерозоя Карелии. М.-Л., 1963. 183 с.
8. *Соколов В.А.* К геологии верхнекарельских образований Северного Приладожья // Тр. Карел. фил. АН СССР. 1955 (1956), вып. 3. С.17-27
9. *Турченко С.И.* Месторождения неметаллов в карбонатных породах зоны Ладога-Онега, Северо-Запад России: подход к оценке месторождений Са -мраморов, тремолита, скаполита и волластонита // Малый горный бизнес на Северо-Западе России и международный опыт. М.: Геоинформмарк, 1995. С.18-19
10. Геология, литология и палеогеография ятулия Центральной Карелии // В.А. Соколов, Л.П. Галдобина и др. Петрозаводск, 1970. 345 с.
11. Геология шунгитоносных вулканогенно-осадочных образований протерозоя Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1982. 175 с.
12. *Горлов В.И.* Онежские шунгиты (геология, генезис и прогнозная оценка): Автореф. дисс. канд. геол.-мин. наук. Петрозаводск, 1984. – 20 с.
13. *Biske N.S.* Graphite // Precambrian industrial minerals of Karelia. –Petrozavodsk: Poliprint, 1993. P. 40-45
14. *Гродницкий Л.Л., Полин А.К.* Пегматиты Северной Карелии и их ореолы. Петрозаводск: Карелия, 1975. 227 с.
15. *Володичев О.И., Щипцов В.В.* О метаморфическом факторе формирования мусковитовых пегматитов (район центральной части Западного Беломорья) // Мусковитовые пегматиты. Л.: Наука, 1975. С.165-168
16. *Зарубин В.В.* Особенности вмещающей среды и закономерности размещения пегматитовых жил месторождения Тэдино (Северная Карелия) // Труды ВСЕГЕИ. 1969. Т. 147. С. 58-70
17. *Хазов Р.А., Попов М.Г., Бискэ Н.С.* Рифейский калиевый щелочной магматизм южной части Балтийского щита. СПб: Наука, 1993. 218 с.
18. *Хазов Р.А., Иващенко В.И.* Новые проявления щелочного магматизма и апатитового оруденения на Балтийском щите // ДАН СССР. 1980. Т. 252. № 4. С. 944-947;
19. *Изоитко В.М.* Технологическая минералогия и оценка руды СПб.: Наука, 1997. 582 с.
20. *Пирогов Б.И.* Роль минералогических исследований в обогащении руд // Минералогический журнал. № 1. 1982. С. 81-82
21. Хизоваарское кианитовое поле (Северная Карелия) // Щипцов В.В., Скамницкая Л.С., Гаранжа А.В. и др. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1988. 102 с.
22. Precambrian Industrial Minerals of Karelia (ed. V.V.Shchiptsov). Poliprint Ltd, Petrozavodsk, 1993. 84 p.
23. *Каменева Е.Е., Скамницкая Л.С.* Обогащение минерального сырья Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2003. 230 с.
24. *Данилевская Л.А., Скамницкая Л.С., Щипцов В.В.* Кварцевое сырье Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2004. 236 с.
25. Гранатовые руды Карелии // В.В.Щипцов, Т.П.Бубнова, Л.С.Скамницкая, А.В.Гаранжа, А.М.Ручьев. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2009. 208 с.
26. Минерально-сырьевая база Республики Карелия // Кн.2. Неметаллические полезные ископаемые. Подземные воды и лечебные грязи. Петрозаводск: Карелия. 2006. 336 с.+ вкл.

27. Месторождения индустриальных минералов Фенноскандии: геология, экономика и новые подходы к переработке и использованию // под ред. В.В.Щипцова, Л.С.Скамницкой, Л.А.Данилевской. Петрозаводск, 1999. 162 с.
28. Геолого-технологическая оценка индустриальных минералов и пород Республики Карелия и отдельных регионов Европейского континента // Сб.научных статей, отв.ред.В.И.Соколов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2003. 103 с.
29. Геолого-технологическая исследования индустриальных минералов Фенноскандии // Сб.научных статей, отв. ред. В.И.Соколов. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 1997. 84 с.
30. Результаты фундаментальных и прикладных исследований по разработке методик технологической оценки руд металлов и промышленных минералов на ранних стадиях геологоразведочных работ // Сб. научных статей по мат.первого Российского семинара по технологической минералогии / научн.ред. В.В Щипцов. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2006. 163 с.
31. Значение исследований технологической минералогии в решении задач комплексного освоения минерального сырья // Сб. научных статей по мат. второго Российского семинара по технологической минералогии / научн. ред. В.В Щипцов. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. 200 с.
32. Новые методы технологической минералогии при оценке руд металлов и промышленных минералов // Сб. научных статей по мат. третьего Российского семинара по технологической минералогии / научн. редактор В.В Щипцов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2009. 187 с.
33. *Щипцов В.В.* Кианит – эффективное сырье для производства огнеупоров: сферы потребления, производители и мировая торговля // Новые огнеупоры. № 8. 2005. С. 78-82
34. *Щипцов В.В.* Обзор и оценка индустриальных минералов Республики Карелия // Геология рудных месторождений. Т. 47. № 1. 2005. С.3-15
35. *Данилевская Л.В., Щипцов В.В.* Состояние и ресурсы минерально-сырьевой базы кварца Республики Карелия // Разведка и охрана недр. № 10. 2007. С. 29-33
36. *Ильина В.П.* Стеклокристаллические материалы на основе минерального и техногенного сырья Карелии. /Стекло и керамика. № 9. 2007. С. 20-23
37. *Лебедева Г.А.* Исследование технологических свойств горных пород Карелии как сырья для производства минеральной ваты // Стекло и керамика. 2007. № 10.
38. *Соколов В.И., Щипцов В.В.* Влияние состава и свойств горных пород на их термостойкость // Огнеупоры и техническая керамика. № 6. 2007. С.45-49
39. *Щипцов В.В.* Технологическая оценка минеральных ресурсов Карелии // Обогащение руд. №1. 2007. С. 35-38
40. *Скамницкая Л.С., Бубнова Т.П.* Результаты технологических исследований диатомитов Карелии // Обогащение руд. 2008. № 1. С.3-8
41. *Щипцов В.В., Лебедева Г.А, Ильина В.П.* Перспективы использования минерально-сырьевой базы Карелии для производства строительных материалов // Строительные материалы. № 5. 2008. С.8-10
42. Геолого-технологическая характеристика крупного проявления анортозитов Котозерского участка (северная Карелия). В.В.Щипцов, Л.С.Скамницкая., Т.П.Бубнова., А.В.Гаранжа, Л.А.Данилевская, А.И.Савицкий, О.В.Букчина // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып.7. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2004. С.151-162.
43. *Каменева Е.Е., Попова Т.В., Скамницкая Л.С.* Усиление контрастности флотационных свойств кианита и кварца // Материалы Межд. совещания "Направленное изменение физико-химических свойств минералов в процессах обогащения полезных ископаемых (Плаксинские чтения)". М.: Альтекс, 2003. С.28-29.
44. *Скамницкая Л.С., Каменева Е.Е., Белаишев Б.З.* Изменение качественных характеристик кварца в условиях воздействия различными силовыми полями // Кварц. Кремнезем: Материалы Международного семинара. Сыктывкар: Геопринт, 2004. С.52-53.
45. *Щипцов В.В., Перепелицын В.А., Грищенко Е.Е., Ененко В.П., Заверткин А.С.* Исследование первоуральского и карельского кварцитов для футерофки индукционных тигельных печей // Новые огнеупоры, № 6. 2002. С.37-45
46. *Белаишев Б.З., Скамницкая Л.С., Лебедева Г.А., Озерова Г.П.* Нетрадиционные методы очистки кварца от газово-жидких включений // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып 3. Петрозаводск. 2001. С. 131-135.
47. *Щипцов В.В., Скамницкая Л.С.* Минералогическо-технологические особенности кварцевого сырья Карелии // Обогащение руд. № 3. 2000. С. 23 -31
48. Перспективы развития ресурсосберегающей и экологически чистой технологии обогащения калийполевошпатового сырья Кольского полуострова и Карелии / Литвинцев Э.Г., Мокроусов В.А., Зверев В.В., Скамницкая Л.С., Бархатов А.В. и др. // Комплексное освоение минеральных ресурсов Севера и Северо-Запада СССР (Европейская часть). Петрозаводск, 1989. С. 214-218
49. Вскрышные породы Костомукшского железорудного месторождения и пути их использования в народном хозяйстве. Петрозаводск: изд. Карелия, 1983. С-142.
50. *Волотовская Н.А. Жиров Б.К.* Хромсодержащие минералы свиты Хизоваары // Известия Карелофинской базы АН СССР. 1948.№1. С. 41-53.
51. *Щипцов В.В., Скамницкая Л.С., Бубнова Т.П.* Кианит хизоваарского месторождения – генетические и практические аспекты // Типоморфные минералы и минеральные ассоциации – индикаторы масштабности природных и техногенных месторождений и качества руд (материалы Всероссийской научной конференции). Екатеринбург, 2008. С. 138-140.
52. *Скамницкая Л.С., Бискэ Н.С., Злоидова Н.Г.* Методические рекомендации по технологической оценке графитовых руд Ихальского месторождения. Серия «Наука – производству» Петрозаводск. 1987. 48 с.

53. Geology and commercial assesment of graphite deposits in the eastern Fennoscandian Shield. Biske N, Skammitakaya L, Michailov V, Sarapaa O. //Comprehensive assesment of nonmetalliferous deposits.. 1990, Finish-Soviet Saintific-Technological Cooperation. P. 38-49.
54. Скамницкая Л.С., Галдобина Л.П., Бархатов А.В. Вещественный состав и обогатимость шунгитовых пород Толвуйской структуры // Материалы междунаро дного симпозиума «Углерод содержащие формации в геологической истории Условия формирования, рудоносность, физико-химия углерода, технологии» Петрозаводск, 2000. С. 149-161
55. Щитцов В.В., Астала Ю., Родионов В.С. Характеристика элементов-примесей в основных природных политипных кварцах территории Карелии // Геология и полезные ископаемые Карелии Петрозаводск: изд. Кар.НЦ РАН, 1998. Вып. 1. С. 129-137.
56. Щитцов В.В., Скамницкая Л.С., Астала Ю. Обогатимость кварца основных месторождений Карелии // Проблемы комплексной переработки минерального сырья и охраны окружающей среды. Москва, 1999. С. 230-239
57. Щитцов В.В., Данилевская Л.А., Гаранжа А.В., Родионов В.С. Прогнозно-минерагеническая оценка кварценоности Карелии //Геология и полезные ископаемые Карелии. Петрозаводск: изд. Кар.НЦ РАН, 2001. Вып. 4. С. 71-79
58. Данилевская Л.А., Гаранжа А.В. Месторождение жильного кварца Фенькина-Лампи: геолого-минералогические аспекты формирования, типоморфные свойства и оценка качества // Геолого-технологические исследования индустриальных минералов Фенноскандии: сб. ст., Петрозаводск. 2003. С. 29-38.
59. Данилевская Л.А. Комплексное исследование типоморфных свойств кварца при прогнозировании технологических показателей и оценки качества кварцевого сырья // Современные методы исследований как основа выявления новых типов руд и технологии их комплексного освоения: мат. Годичного собрания РМО. – СПб, 2006. С. 128-131.
60. Данилевская Л.А. Флюидные включения в кварце Карелии // Месторождения индустриальных минералов Фенноскандии: геология, экономика и новые подходы к переработке и использованию: материалы межд. конференции. Петрозаводск, 1999. С. 68-72
61. Данилевская Л.А., Скамницкая Л.С. Микровключения в кварце и их влияние на степень очистки при обогащении // Значение исследований технологической минералогии в решении задач комплексного освоения минерального сырья: Сб. статей. Петрозаводск: изд. КарНЦ РАН, 2007. С. 128-135.
62. Данилевская Л.А., Скамницкая Л.С., Щитцов В.В. Минералого-технологическая оценка и перспективы и использования сырья кварцевой жилы Меломайс (Карелия) // Обогащение руд. 2006. № 3. С. 11-15
63. Данилевская Л.А., Щитцов В.В. Прогноз перспективности нового кварценосного объекта Меломайс в Карелии // Разведка и охрана недр. 2007. №10. С. 33-36
64. 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: матер. 3 Всерос. Семинара по технологической минералогии. Петрозаводск: изд. КарНЦ РАН, 2009. С. 83-94
65. Данилевская Л.А., Раков Л.Т. Структурные примеси в кварце как важный критерий оценки качества кварцевого сырья и прогноза его технологических свойств // Результаты фундаментальных и прикладных исследований по разработке методик технологической оценки руд металлов и промышленных минералов на ранних стадиях геологоразведочных работ. Матер. Первого Российского семинара по технологической минералогии. Петрозаводск, 2006. С. 119-124
66. Щитцов В.В. О комплексности месторождений индустриальных минералов Карелии // Мат.межд.совещания «Плаксинские чтения-2005» Современные проблемы комплексной переработки природного и техногенного минерального сырья. СПб, 2005. С.141-142

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВАХ КИАНИТОВЫХ РУД КЕЙВ

Нерадовский Ю.Н., Войтеховский Ю.Л., Карпов С.М.

Учреждение Российской академии наук Геологический институт Кольского научного центра РАН, г. Апатиты

Классификация и наиболее полная технологическая характеристика кианитовых руд кейвских месторождений подробно изложена в работах И.В. Белькова [1, 2]. Классификация включает 5 типов и 7 разновидностей руд (табл. 1). В её основу положено разделение руд по текстурно-структурным особенностям, которые в первую очередь определяют технологические свойства руд. Поскольку содержание кианита в сланцах непостоянно, принято деление руд на богатые (>40%), средние (40-30%), бедные (30-20%) и убогие (<20%). Эта классификация широко использована при анализе технологических свойств кейвских руд [3, 4, 5].

Роль разных типов руд в формировании месторождений неодинакова. Наибольший объём составляют волокнисто-игольчатые (61.9%), менее развиты параморфические (35.7%) и конкреционные руды (2.4%). Они значительно различаются размерами агрегатов и индивидов кианита (табл. 2). Отличительные особенности типов руд контрастно выражены в морфологии агрегатов кианита. В минеральном и химическом составе различия менее значительные (табл. 3, 4). Исключение – порфиробластические руды с резко пониженным содержанием углеродистого вещества и повышенным – мусковита.