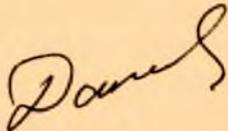


На правах рукописи

ДАНИЛЕВСКАЯ Людмила Александровна



**ГЕОЛОГИЯ, МИНЕРАЛОГИЯ ПРОЯВЛЕНИЙ
КВАРЦЕВОГО СЫРЬЯ И КРИТЕРИИ
ПРОГНОЗА ЕГО КАЧЕСТВА НА ТЕРРИТОРИИ
КАРЕЛЬСКОГО КРАТОНА**

*Специальность 25.00.11 – Геология, поиски и разведка
месторождений твердых по-
лезных ископаемых, минерагения*

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук**

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2003**

Работа выполнена в Институте геологии Карельского научного центра РАН (г.Петрозаводск)

Научный руководитель –
доктор геолого-минералогических наук

Владимир Владимирович Щипцов

Официальные оппоненты:

доктор геолого-минералогических наук, профессор

Владимир Васильевич Гордиенко,

кандидат геолого-минералогических наук

Станислав Иванович Турченко

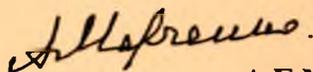
Ведущее предприятие – ВНИИ синтеза минерального сырья (ВНИИСИМС), г.Александров.

Защита диссертации состоится 21 мая 2003 г. в 16 ч на заседании диссертационного совета Д 212.224.01 в Санкт-Петербургском государственном горном институте имени Г.В.Плеханова (техническом университете) по адресу: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, д. 2, ауд. № 4312.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского государственного горного института.

Автореферат разослан апреля 2003 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета
д.г.-м.н.



А.Г.МАРЧЕНКО



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИИ

Актуальность исследований. Значительный скачок в последние десятилетия в развитии электронной, компьютерной, оптической промышленности привел к постоянно возрастающему спросу на высокочистые кварцевые концентраты. Однако существующий дефицит кварцевого сырья, пригодного для их получения, вызывает необходимость поиска новых кварценосных объектов. До последнего времени все проводившиеся на территории Карелии исследования кварцевой минерализации были направлены в основном на изучение пегматитов Беломорской пегматитовой провинции как наиболее перспективной на кварцевое сырье, в то время как Карельский кратон, составляющий основную часть территории Карелии, был изучен недостаточно. Фундамент кратона характеризуется континентальной корой раннедокембрийского возраста, состоящей из гнейсов, кристаллических сланцев и гранитов. Метаморфические процессы полифациальны и полихронны от зеленосланцевой до гранулитовой фации. В широком диапазоне меняющихся геологических обстановок предполагается формирование кварцевых образований различных по своему генезису и качественным характеристикам, в том числе пригодных для получения высокочистых кварцевых концентратов.

Систематизация кварцевых образований в пределах Карельского кратона, оценка качества кварцевого сырья и разработка научных критериев прогноза локализации кварцевой минерализации с определенным качеством сырья имеют большое значение для развития методологии прогнозирования и оценки перспективности данной территории на кварцевое сырье. В этом состоит актуальность и значимость проведенных исследований.

Цель и задачи исследований. Главной целью работы стало выделение генетических типов кварцевого сырья, оценка их качества и разработка комплекса научных критериев для прогноза качественных характеристик кварцевого сырья в пределах Карельского кратона.

В соответствии с поставленной целью решались следующие основные задачи:

- выделение генетических типов кварцевого сырья Карельского кратона на основе характерных геологических, минералогических и геохимических особенностей кварцевых образований;

- выявление типоморфных признаков кварца всех выделенных генетических типов и рассмотрение их возможного влияния на технологические свойства кварцевого сырья;

- прогнозирование качества кварцевого продукта в результате комплексной оценки типоморфных особенностей кварцевого сырья и определение перспективных типов и разновидностей кварцевого сырья для получения высокочистых концентратов;

- выявление закономерностей локализации кварцевого сырья различных генетических типов в пределах изучаемой территории и определение влияния геологических условий формирования кварцевого сырья на его качественные характеристики;

Научная повизна. 1. Проведена систематизация кварцевых образований Карельского кратона с выделением типов и подтипов кварцевого сырья, в том числе впервые на данной территории выявлены проявления гранулированного жильного кварца, сливных кварцитов и кварцевых метасоматитов. .

2. Детально рассмотрены структурно-текстурные особенности кварцевого сырья, вариации газовой-жидких включений и температурные условия формирования кварцевой минерализации различных генетических типов.

3. Установлена зависимость содержания примесей Ti и Li в кварце от степени его перекристаллизации, деформации и химизма кварцеобразующих растворов.

4. Выделен ряд типоморфных признаков кварцевого сырья, влияющих на его технологические свойства и позволяющих прогнозировать качество кварцевого продукта.

5. Разработана методика экспрессного анализа газонасыщенности кварцевого сырья по шлифам и тонким пластинкам с учетом размерности газовой-жидких включений.

6. Предложена схема разработки критериев прогноза качества кварцевого сырья по комплексу минералогических и геологических признаков.

7. Выявлены критерии прогноза на высокочистое кварцевое сырье в пределах Карельского кратона.

Фактический материал и методы исследований.

Геологическую основу работы составили материалы, собранные автором в период полевых работ 1998-2002 гг. Часть проб и образцов была предоставлена геологами Института геологии КарНЦ РАН (В.В. Щипцовым, А.В. Гаранжой, А.И. Голубевым, В.А. Коншиным и др.) и главным геологом Северной поисково-разведочной экспедиции В.С. Родионовым. Данные по ЮТА-кварцу (мировому стандарту высококачественного кварцевого сырья) из месторождения Spruce Pine в Северной Каролине (США), в том числе и образцы исходной породы были любезно предоставлены Г.И. Крыловой. В целом были изучены кварценозные и кварцосодержащие породы по 14 месторождениям и проявлениям Карельского кратона, в том числе автор принимала участие в кварцетрическом картировании двух проявлений – Фенькина-Лампи и Степаново озеро, а также в проведении поисковых работ на участке Меломайс. Лабораторные исследования включали просмотр более 300 шлифов и пластинок, замеры температур гомогенизации газовой-жидких включений в жильном кварце 7 участков. Фотографии пластинок кварца и природных объектов сделаны с использованием цифровой камеры, фотографии шлифов – с использованием видеоприставки к микроскопу, соединенной с компьютером. Подготовка проб и предварительное обогащение производились в Институте геологии КарНЦ РАН в лаборатории геологии и технологии неметаллов.

Физико-химические исследования кварца проводились по стандартным методикам в ведущих лабораториях, специализирующихся на изучении кварцевого сырья. Определение элементов-примесей по 100 пробам осуществлялось методами атомно-абсорбционной и эмиссионной спектроскопии в лабораториях ВНИИСИМС (г. Александров), Tatsumori Corp (Япония) и фирмы Analytica Ab (Швеция). Коэффициент светопропускания определялся на спектрофотометре ФГУ-УХЛ-4.2 во ВНИИСИМСе (г. Александров). Определение декрептоактивности кварца по 30 пробам производилось в лаборатории термобарогеохимических методов Всероссийского

института минерального сырья (ВИМС). Кроме того, изучение 25 проб кварца методом декрепитации осуществлялось в Институте геологии Кар.НЦ РАН Белашевым Б.З. Параметры элементарной ячейки кварца были определены по 40 пробам рентгеноструктурным методом в Институте геологии Кар.НЦ РАН (аналитик Инина И.С.). Гомогенизация газово-жидких включений проводилась автором на кафедре минералогии Санкт-Петербургского государственного университета. Спектры ЭПР для кварца получены в Институте геологии и геофизики СО РАН (Новосибирск) на радиоспектрометре "Radiopan" SE/X 2544 (аналитик Л.Г. Гилянская).

Практическая значимость работы и реализация результатов работы. Вопросы, рассмотренные в диссертации, гармонично связаны с плановыми научно-исследовательскими работами лаборатории геологии и технологии неметаллов Института геологии Кар.НЦ РАН и договорным проектом по прогнозно-минерагеническому изучению территории Карелии на кварцевое сырье, в которых диссертант принимала непосредственное участие. Проведенные исследования различных месторождений и проявлений кварцевого сырья Карельского кратона показали перспективность данного региона в пределах Карело-Кольской кварценозной провинции для нахождения промышленно значимых объектов кварцевого сырья различного назначения, что говорит о необходимости дальнейшего изучения данной территории. Выявленные типоморфные особенности кварца позволили уже на данном этапе отбраковать некоторые проявления кварца как неперспективные на плавочное сырье. Предложенная экспрессная методика определения плотности газово-жидких включений позволит достаточно оперативно оценивать газонасыщенность кварцевого сырья. Выявленные закономерности размещения кварцевого сырья различных генетических типов положены в основу прогнозно-минерагенической карты кварценосности территории Карелии в масштабе 1:1 000 000, составленной В.В. Щипцовым, Л.А. Данилевской, А.В. Гаранжой, В.С. Родионовым (2000 г.) и выполненной в рамках Республиканской целевой программы «Освоение недр и развитие горнопромышленного комплекса Республики Карелия на 2000-2002-2010 годы». В отчете «Прогнозно-минерагеническое изучение Республики Карелия в масштабе

1:1000000 с целью выявления объектов, перспективных на минеральное сырье для производства специальных кварцевых изделий» (2000 г.) рекомендованы области и участки для постановки поисков и поисково-оценочных работ.

Апробация работы. Основные положения проведенных исследований докладывались на ежегодных научных конференциях молодых ученых, посвященных памяти чл.-корр. АН СССР К.О. Кратца (Апатиты, 1999; Петрозаводск, 2000; Санкт-Петербург, 2001), ежегодном собрании ВМО «Минералогия основа использования комплексных руд» (Санкт-Петербург, 2001), международной конференции «Месторождения индустриальных минералов Фенноскандии: геология, экономика и новые подходы к переработке и использованию» (Петрозаводск, 1999), международном симпозиуме «Минералогические музеи в XXI веке» (Санкт-Петербург, 2000). Результаты исследований изложены в отчете НИР по индустриальным минералам Карелии (1999 г.) и в научно-производственном отчете по прогнозно-минерагеническому изучению территории Карелии на кварцевое сырье (2000 г.).

Публикации. Содержание работы отражено в 10 публикациях.

Объем и структура работы. Диссертация включает в себя введение, 5 глав, заключение и список литературы из 133 библиографических наименований (всего 188 стр.). В тексте представлено 84 рисунка и 42 таблицы. В первой главе рассматривается состояние изученности территории на кварцевое сырье. Во второй главе дается краткий геологический очерк изучаемого региона с закономерностями локализации кварцевого сырья. Третья глава посвящена характеристике генетических типов кварцевого сырья, а в четвертой главе рассматриваются типоморфные особенности данных типов, и дается оценка их перспективности для получения концентратов повышенной чистоты. В пятой заключительной главе рассматриваются закономерности размещения выявленных типов кварцевого сырья в пределах Карельского кратона и приводятся критерии прогноза на особо чистое кварцевое сырье на данной территории.

Благодарности. Автор считает своим приятным долгом выразить глубокую благодарность и признательность за помощь и поддержку коллегам, в сотрудничестве с которыми проводились

исследования Л.С. Скамницкой и А.В. Гаранже. Автор глубоко благодарен главному геологу Северной геологоразведочной экспедиции В.С. Родионову за помощь в предоставлении фактического материала, фондовой литературы, а также консультации. На разных этапах работы автор пользовался поддержкой и консультациями геологов-кварцевиков Ю.А. Шатнова, Н.Г. Быдтаевой, Т.Г. Быдтаевой, Л.С. Скобеля, А.В. Козлова, Л.Т. Ракова, а также сотрудников Института геологии Кар.НЦ РАН В.А. Коншина, С.А. Светова, В.А. Шекова. Кроме того, автор благодарен Н.Р. Тигушкиной и И.С. Куимовой за помощь в подготовке проб и монофракций, Е.Т. Чеботаревой за быстрое изготовление шлифов и пластинок, И.С. Ининой за большой объем проведенных рентгеноструктурных исследований, Б.З. Белашеву за выполнение работ по декрепитации. Большое содействие в выполнении работ по гомогенизации газовой-жидких включений оказала Н.И. Пономарева (СПбГУ), за что автор ей искренне благодарен. Глубокую признательность автор выражает Т.С. Юсупову и Л.Г. Гилинской (ИГиГ СО РАН) за организацию и выполнение анализов ЭПР, а также Хидео Ивасаки (Япония) и Юхани Астала (Финляндия) за содействие в организации аналитических исследований.

Глубокую благодарность за неоценимую помощь в понимании теоретических аспектов, предоставлении фондовых материалов и научной литературы, а также большой интерес к проводимым научным исследованиям автор выражает Г.И. Крыловой.

Особую признательность за постоянное внимание к работе, обсуждение различных ее аспектов и неизменную поддержку автор выражает своему научному руководителю В.В. Щипцову.

ОСНОВНЫЕ ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ИХ ОБОСНОВАНИЕ

Положение 1. Полихронность метаморфических процессов Карельского кратона, разнообразие термодинамических и структурно-тектонических условий их проявления определили широкий диапазон генетических типов кварцевого сырья в его пределах.

Карельский кратон представляет собой архейскую структуру в восточной части Фенноскандинавского щита, которая имеет

длительную историю развития, характеризующуюся сменой геодинамических обстановок, проявлением полихронного метаморфизма (от зеленосланцевой до амфиболитовой фаций) и разноплановой тектонической активностью. Это обусловило формирование на данной территории многообразия геолого-фациальных комплексов, различающихся по составу пород, генезису, геохимической специфике рудоконтролирующих растворов, что в свою очередь определило образование различных типов кварцевой минерализации на территории Карельского кратона.

В результате исследования геологических условий формирования кварцевых проявлений, минералогическо-петрографических особенностей кварца и содержания элементов-примесей в кварце и кварцсодержащих породах была проведена систематизация кварцевых образований Карельского кратона (табл. 1). В ее основу была положена общая систематика кварцевых образований Е.П. Мельникова (1988), существенным дополнением к которой стало выделение подтипов жильного кварца, которые отражают степень его диафорических изменений, что сказывается на качественных характеристиках кварцевого сырья.

К образованиям магматогенного генезиса в пределах Карельского кратона были отнесены только два кварценосных комплекса – керамических пегматитов и силекситов. Месторождение Кюрьяла Улялегского пегматитового поля является классическим примером керамических пегматитов с блоковым кварцем в центральной части, которые генетически связаны с позднеорогенными гранитами свекофеннского возраста, а пространственно приурочены к Улялегскому комплексу гранитов рапакиви. Генетическая связь с интрузивными породами, слабое проявление вторичных деформационных процессов и перекристаллизации обусловили высокие содержания элементов-примесей в кварце пегматитов (295,1 ppm), близкие по своим значениям к керамическим пегматитам Беломорской пегматитовой провинции (месторождения Чкаловское и Никонова Варакка).

Силекситы, выявленные на участке Шайвозеро (южная часть Пяозерского поднятия – Тухкальский домен), значительно отличаются от классических силекситов по содержанию различных

Таблица 1

Систематика кварцевых образований Карельского кратона в эндогенной серии (составлена на основе систематики Е.П. Мельникова (1988) с добавлениями автора)

Группа	Генетические типы	Кварцосодержащие и кварценозные комплексы	Подтипы	Месторождения и проявления	
Магматогенная	Пегматитовый	Керамических пегматитов	Первично кристаллизованный, слабо деформированный	Кюрьяла	
		Силекситовый	Катаклазированный, рекристаллизованный	Шайвозеро	
Метаморфогенная	Метаморфогенно-пегматитовый	Слюдоносно-редкометаллопегматитовый	Слабо рекристаллизованный	Пиртима Рябовара	
	Метаморфогенно-метасоматический	Кварцкианитовый		Хизовара	
		Кварцмусковитовый		Восточная Хизоваара	
	Метаморфогенно-гидротермальный	Кианит-сланцевый кварцевожильный	Динамометаморфизованный, перекристаллизованный, в т.ч. гранулированный		Рухнаволок Хизовара Кукаозеро
		Гнейсо-гранитовый кварцевожильный	Гранитизированный, рекристаллизованный		Меломайс
		Зеленосланцевый кварцевожильный	Слабо перекристаллизованный		Койкары
			Интенсивно рекристаллизованный		Корпярви Ихоярви
		Катаклазированный с кристаллизационными изменениями		Фенькина Лампи	
	Метаморфогенно-осадочный	Кварцитовый			Хизоваара Метчангъярви
		Перекристаллизованных кварцитов			Кукаозеро Степаново озеро

элементов-примесей и структурно-текстурным особенностям кварцевого сырья. Это обусловлено проявлением низкотемпературного метаморфизма на данной территории, связанного со свекофеннским тектогенезом, который привел к интенсивному рассланцеванию и окварцеванию раннеархейских пород по наложенным тектоническим зонам (Щипцова, 1998). Данные процессы, по всей видимости, стали причиной интенсивного катаклаза и рекристаллизации кварца силекситов, что привело к повышенному содержанию газовой-жидких включений и элементов-

примесей K (25 ppm), Na (56 ppm) и Ca (20 ppm) по сравнению с высокотемпературным кварцем силекситов Беломорья (Пиртостров – 11,3, 35,2 и 6,5 ppm соответственно). В тоже время в силекситах Шайвозера значительно меньше содержание Al (33,2 ppm), Ti (2,1 ppm) и Li (0,37 ppm), чем в силекситах Пиртострова – 95,7, 5,3 и 5,7 ppm соответственно.

Слюдоносно-редкометалльные пегматиты образуют большие по площади поля в пределах Парандово-Тикшеозерского зеленокаменного пояса (зоны сочленения Карельского кратона и Беломорского подвижного пояса), характеризующегося полихронным метаморфизмом амфиболитовой и эпидот-амфиболитовой фаций кианит-силлиманитового типа. Данные пегматиты локализуются на флангах зон наложенного метаморфизма, отвечающих условиям пониженного давления и общей проницаемости по сравнению с участками развития слюдоносных пегматитов Беломорья (Гордиенко, 1996). Наблюдается усложнение минерального состава пегматитов и обогащение их летучими и флюофильными элементами. Одно из таких месторождений – Пиртима, где наблюдается куст пегматитовых жил с различной минерализацией, в том числе амазонитовой. Блоковый и ядерный кварц данного месторождения варьирует по цвету, степени прозрачности и характеризуется незначительными деформационными преобразованиями в виде блокования.

В пределах Парандово-Тикшеозерского зеленокаменного пояса (Хизоваарская структура) развиты кварцсодержащие породы метаморфогенно-метасоматического генезиса, образование которых связано с проявлениями кислотного выщелачивания на регрессивных стадиях регионального метаморфизма. С ранним этапом связано образование кварц-кианитового комплекса по породам основного и среднекислого состава (Северная и Южная линзы), а к более позднему этапу приурочено формирование кварц-мусковитовых пород по зонам рассланцевания как по метаморфитам, так и по кварц-кианитовым породам (Восточная Хизоваара). Содержание кварца в данных породах в среднем составляет 60-70%. В качестве второстепенных минералов присутствуют кианит, мусковит, биотит, плагиоклаз, акцессорные - турмалин, рутил, сфен,

апатит, графит, сульфиды. Породы характеризуются очень малым содержанием газовой-жидких включений, но высокими концентрациями элементов-примесей (в среднем 336,7 ppm), особенно Al, Ti, Na и Li, что связано в основном с присутствием минеральных включений.

Кварцевые жилы кианит-сланцевого кварцево-жильного комплекса локализованы на трех участках: Рухнаволоок, Хизоваара, Кукаозеро в пределах Парандово-Тикшеозерского зеленокаменного пояса. Формирование их происходило в условиях эпидот-амфиболитовой фации повышенных давлений с проявлениями перекристаллизации и грануляции кварца в результате диафореза. Для данного кварца характерно невысокое содержание элементов-примесей (Рухнаволоок – 87,6 ppm, Хизоваара – 82 ppm, Кукаозеро – 94,7 ppm), варьирующее в различных типах кварца в пределах участков (гранулированном, перекристаллизованном или гранулированном с наложенными деформационными изменениями), но в целом остаются высокими содержания Ti (до 10 ppm). Вариации содержания Li зависят от степени грануляции кварца и интенсивности вторичных деформационных изменений: наименьшее содержание Li характерно для негранулированного сливного кварца или гранулированного кварца с интенсивно проявленными пластическими деформациями (0,2-0,9 ppm), наиболее высокие концентрации Li (до 4,7 ppm) наблюдается в гранулированном кварце с равновесной гранобластовой структурой.

К гнейсо-гранитовому кварцево-жильному комплексу отнесена крупная (до 100 м мощности) кварцевая жила участка Меломайс, которая приурочена к тектонически активной зоне сочленения гнеймо-гранитов основания (Вокнаволоокский блок) и вулканогенно-осадочного комплекса пород Костомукшской структуры. Кварцевая жила претерпела интенсивные метаморфические преобразования в виде рассланцевания, а также минерализации и рекристаллизации, приуроченным к зонам рассланцевания. Минерализация проявлена в виде эпидот-полевошпат-слюдистого материала. Среднее содержание SiO₂ в породе – 97,3%.

Кварцевые жилы зеленосланцевого кварцево-жильного комплекса развиты в породах, претерпевших метаморфизм от зеленосланцевой до эпидот-амфиболитовой фации. На территории

Карельского кратона их образование в основном связано с периодом свекофеннской тектоно-магматической активизации, локально проявившейся на уже консолидированной коре в виде процессов растяжения или дизъюнктивной тектоники. На разных участках кварцевые жилы различаются по геологическим условиям локализации, степени диафорических изменений и свойствам кварцевого сырья и могут быть подразделены на три подтипа: 1) слабо перекристаллизованный кварц участка Койкары, характеризующийся деформационными субструктурами в виде факелов и пластинок деформации, высокими содержаниями элементов-примесей (241,1 ppm); 2) интенсивно рекристаллизованный кварц (Корпиярви и Ихиярви), в котором проявлены катаклаз и вторичная рекристаллизация с образованием полос микрогранулированного кварца, содержание элементов-примесей в среднем составляет 106,1 ppm; 3) катаклазированный кварц с кристаллизационными изменениями (Фенькина-Лампи), характеризующийся фрагментарной, мозаичной микроструктурой, наличием сети мелких прожилков с вторичным кварцем и кристаллами в полостях, содержания элементов-примесей значительно варьируют в пределах жил (116,7-450,1 ppm). В целом для кварцевого сырья данного комплекса характерно повышенное содержание K, Na и Ca, что связано с наличием минеральных примесей и большого количества газо-жидких включений, но фиксируется низкое содержание Ti и Li.

Образования кварцитового комплекса входят в состав мощной осадочной толщи нижнего ятулия, образовавшейся в протоплатформенный этап в бассейновой фациальной обстановке с условиями хорошего перемива и сортировки осадочного материала, что привело к образованию текстурно- и химически-зрелых практически мономинеральных песчаников и кварцито-песчаников, метаморфизованных в дальнейшем в кварциты. Среднее содержание SiO_2 в кварцитах месторождения Метчангъярви - 97,8%.

Интенсивная тектоническая активизация свекофеннского периода в зоне сочленения Карельского кратона и Беломорского подвижного пояса (участки Кукаозеро и Степаново озеро) привела к метаморфическому преобразованию кварцитов ятулийского возраста, с образованием прослоев сливных кварцитов, в которых

наблюдаются небольшие кварцевые жилки. Характерна перекристаллизация кварца с образованием структур капельного бластеза, грануляционной мозаичности, уменьшение содержания минеральных примесей и рафинирование химического состава кварцитов. Среднее содержание элементов-примесей в сливных кварцитах Степаново озеро – 232,8 ppm, характерны повышенные концентрации Al (87 ppm), Na (95 ppm) и Ti (12 ppm).

Таким образом, длительная эволюция земной коры в пределах Карельского кратона, характеризующаяся проявлением полихронного метаморфизма и разноплановой тектонической активностью, обусловила формирование на данной территории многообразия кварцевой минерализации.

Положение 2. Комплекс типоморфных свойств кварца специфичен для различных генетических типов проявлений кварцевого сырья, что позволяет на начальных стадиях геолого-минералогического изучения территорий прогнозировать качество кварцевого продукта на региональном и локальном уровнях.

Для оценки качества кварцевого сырья выделенных генетических типов был проведен комплекс исследований типоморфных свойств кварца, которые включают в себя как традиционные характеристики, лимитируемые ГОСТами и ТУ (содержания элементов-примесей, минеральных примесей, коэффициент светопропускания, декрептоактивность), так и свойства, позволяющие определять обогатимость кварцевого сырья. Были изучены структурно-текстурные особенности, которые влияют как на прочностные свойства кварца при дроблении и измельчении (Крылова, Морохов, 1999), так и на температуры полиморфных превращений при плавлении кварца (Емлин и др., 1988). При изучении минеральных включений было уделено особое внимание форме вхождения минералов и срастанию их с кварцем, поскольку современные методы технологического передела позволяют удалять практически все минеральные примеси за исключением тонких иголок рутила (Jung, 1995). Для оценки зараженности кварца газово-жидкими включениями была предложена методика определения плотности включений по классам крупности по шлифам и тонким пластинкам, позволяющая характеризовать зараженность кварца как

крупными ($>0,01$ мм), так и мелкими ($<0,005$ мм), не удаляемыми при термической обработке, включениями. Наличие структурных примесей в кварце, характеризующее предел обогатимости кварцевого сырья при современных технологиях очистки, определялось по концентрациям основных парамагнитных центров.

По содержанию элементов-примесей наиболее чистым природным сырьем является перекристаллизованный, гранулированный кварц кианит-сланцевого кварцево-жильного комплекса и интенсивно рекристаллизованный кварц зеленосланцевого кварцево-жильного комплекса. Повышенные содержания элементов-примесей в большинстве типов кварцевого сырья связаны с присутствием минеральных примесей, в меньшей степени газовой-жидких включений. Высокое содержание Ti в кварце некоторых проявлений связано с наличием трудноудаляемых игольчатых включений рутила, что не дает возможности получения высококачественных кварцевых концентратов из данного кварца. Для жильного кварца характерно интенсивное проявление деформаций, что может вызвать повышенную диффузионную мобильность элементов-примесей при отжигах, более высокую проницаемость для агрессивных сред при выщелачивании, но вместе с тем и способность к переизмельчению при рудоподготовке. Газонасыщенность кварца возрастает с увеличением интенсивности деформационных процессов, уменьшается с появлением второй генерации рекристаллизованного кварца. Наименее газонасыщенным является кварц кварцосодержащих метасоматитов, жильный перекристаллизованный, гранулированный и кварцитовый.

Рекристаллизованный и катаклазированный, а также гранитизированный подтипы кварца характеризуются наличием двух генераций кварца: первичный – замутненный и вторичный – прозрачный. При этом вторичный кварц отличается не только отсутствием газовой-жидких включений, но и более низкими параметрами элементарной ячейки и повышенным индексом кристалличности, что говорит о более совершенной кристаллической структуре и меньшем содержании структурных примесей в данном кварце. А разделение этих разновидностей в результате технологического передела может значительно повысить сортность сырья с изначально невысоким качеством.

Основные парамагнитные центры, зарегистрированные в кварце Карельского кратона – E_{1-2} , $Al-O'$ и Ge_{1-2} , в незначительном количестве присутствуют $Ti-H$ -центры. При этом наименьшее суммарное содержание основных парамагнитных центров ($Ge+Al+Ti$ в относительных единицах) наблюдается в кварц-кианитовых метасоматитах (1,57), силекситах (2,35), перекристаллизованном кварце участка Кукаозеро (2,85) и кварце зеленосланцевого кварцево-жильного комплекса (Койкары – 1,29, Корпиярви – 1,54, Фенькина-Лампи – 2,96), а наибольшие концентрации характерны для гранулированного кварца (Хизоваара – 11,18, Рухнаволок – 25) и кварца слюдоносно-редкометалльных пегматитов (6,56), средние значения характерны для кварцитов (4,99), перекристаллизованных кварцитов (Кукаозеро – 3,38, Степаново озеро – 4,27) и кварца гнейсо-гранитового комплекса (4,55). То есть в результате высокотемпературной перекристаллизации и грануляции происходит увеличение содержания структурных примесей, в то время как проявление вторичной низкотемпературной рекристаллизации ведет к их уменьшению.

Совокупность выявленных типоморфных особенностей кварцев различных генетических типов позволила определить следующие перспективы для кварца Карельского кратона:

- Кварцевое сырье керамических пегматитов участка Кюрьяла и мусковит-редкометалльных пегматитов участка Пиртима является труднообогатимым, из-за присутствия трудноудаляемых при обогащении минералов-примесей (мелкодисперсные плагиоклаз, мусковит, биотит, иголки рутила) и повышенных концентраций парамагнитных центров.

- Природное кварцевое сырье силекситов участка Шайвозеро заражено примесями Na, K и Ca, которые связаны с минеральными и газово-жидкими включениями. Характер распределения и состав минеральных примесей позволяет прогнозировать их удаление при глубоком обогащении. Плотность газово-жидких включений составляет $3,56 \times 10^3 \text{ см}^{-2}$, при этом трудноудаляемых включений (<0,005 мм) <50%. Слабая зараженность данного кварца структурными примесями определяет его перспективность для получения высокочистых концентратов.

▪ Перекристаллизованный и гранулированный жильный кварц участков Рухнаволок, Хизоваара и Кукаосозеро отличается низкой газонасыщенностью (плотность включений в среднем $2 \times 10^5 \text{ см}^{-2}$), равномерным гранулометрическим составом. Получение высокочистых концентратов из жильного кварца участков Хизоваара и Рухнаволок будет затруднено из-за присутствия волосовидного рутила в гранулах кварца (особенно Хизоваарского), а также высокой интенсивности Al, Ge - парамагнитных центров, Ti-Li центров (Рухнаволок) и Ti-H центров (Хизоваара), что говорит о повышенных концентрациях структурного Al, Ge, Ti в кварце обоих участков и присутствии структурного Li в кварце Рухнаволока. Жильный кварц участка Кукаосозеро является перспективным сырьем для получения высокочистых кварцевых концентратов.

▪ Жильный кварц участка Меломайс в целом является труднообогатимым сырьем из-за сильной минерализованности и довольно высокой плотности газовой-жидких включений, но положительным моментом является отсутствие игольчатого рутила, распределение основной массы минеральных примесей и газовой-жидких включений по трещинам и границам зерен, что значительно облегчает их удаление, а также невысокие концентрации ЭПР-центров. Повысить сортность сырья позволит отделение вторичных прозрачных от первичных замутненных гранул кварца.

▪ Жильной кварц зеленосланцевого кварцево-жильного комплекса (Корпиярви, Ихиярви, Койкары, Фенькина-Лампи), несмотря на зараженность элементами-примесями, является в целом перспективным сырьем для получения высокочистого кварца, так как отсутствует трудноудаляемый игольчатый рутил, характерны невысокие концентрации ЭПР-центров. Однако данное сырье является труднообогатимым из-за присутствия минералов-примесей (особенно кварц уч. Койкары) и высокой плотности включений (в среднем $5,2 \times 10^5 \text{ см}^{-2}$). Учитывая возможность отделения прозрачных зерен кварца от замутненных при современных методах обогащения, можно прогнозировать получение высокочистых кварцевых концентратов из интенсивно рекристаллизованного (Корпиярви) и катаклазированного (Фенькина-Лампи) кварца.

▪ Полимнеральные породы (кварциты и метасоматиты) в целом отличаются практическим отсутствием газовой-жидких включений и

деформаций, равномерным гранулометрическим составом кварца. Но сильная минерализованность делает эти породы труднообогатимыми, а наличие в кварцитах Метчангъярви большого количества игольчатых и волосовидных включений рутила не дает возможности получения высокочистых концентратов из данного кварца при современных способах очистки. Возможность получения высокочистого кварца из метасоматитов (Хизоваара) определяется решением проблемы разделения чистых зерен кварца и зерен с вростками зерен рутила.

▪ Сливные кварциты (Кукаозеро, Степаново озеро) также являются труднообогатимым сырьем из-за присутствия большого количества минералов-примесей, особенно мелкодисперсных, иногда рутила.

Учитывая типоморфные особенности кварцевого сырья различных генетических типов и возможность их обогащения современными методами, потенциал Карельского кратона на сырье для плавки определяется главным образом перспективностью кварцевого сырья зеленосланцевого кварцево-жильного комплекса. Кроме того, перспективными типами на плавку являются силекситовый и жильный гранулированный, перекристаллизованный кварц, подвергшиеся вторичным деформационным изменениям в результате стрессовых нагрузок, а также жильный кварц гнейсо-гранитового комплекса.

Таким образом, детальное изучение типоморфных свойств кварца позволяет прогнозировать качество кварцевых продуктов и отбраковывать труднообогатимое сырье на стадии геолого-минералогического изучения проявлений.

Положение 3. Карельский кратон имеет значительные перспективы выявления промышленных объектов высокочистого кварцевого сырья и других видов кварцевой продукции. Дифференциация его территории по потенциальным типам кварцевого сырья возможна на основе выявленных функциональных связей качественных характеристик кварца с условиями его формирования.

В настоящее время при прогнозировании территорий на кварцевое сырье, особенно для плавки, необходимо большое внимание уделять качественным характеристикам сырья уже на

стадиях ревизионных работ, при этом целесообразно учитывать не только предусмотренные ТУ характеристики, но и весь комплекс типоморфных свойств кварца. Такой подход позволит более четко определять перспективные территории на определенный вид сырья и прогнозировать качество кварцевого продукта на стадии геолого-минералогического изучения проявлений. В связи с этим автором предлагается схема разработки критериев прогноза качества кварцевого сырья Карельского кратона по комплексу минералогических и геологических признаков (рис. 1).

Качественные характеристики кварцевого сырья, определяющие его использование в промышленности, обусловлены термодинамическими условиями образования кварцевых тел и наложенными процессами их преобразования, что в свою очередь определяется историей геологического развития соответствующих участков земной коры. Соответственно анализ геологического развития конкретных геологических структур Карельского кратона с учетом влияния присущих им процессов образования и преобразования кварцевых тел – ключ к прогнозу качественных характеристик кварцевой минерализации на региональном и локальном уровнях.

Анализ геологических условий локализации кварцевого сырья в пределах Карельского кратона и их влияния на качественные характеристики кварца показал, что высокие давления при региональном метаморфизме (в частности метаморфизм кианит-силлиманитового типа в пределах Парандово-Тикшеозерского зеленокаменного пояса) обуславливают повышенные содержания углекислоты в растворах, формирование игольчатого и волосовидного рутила (Хизоваара, Рухнаволок), наличие структурных примесей в кварце. В тоже время стрессовое давление, возникающее в местах проявления дизъюнктивной тектоники и в местах хрупко- и вязкопластического течения, оказывает благоприятное воздействие, так как происходит перекристаллизация кварца с уменьшением содержания структурных примесей (Кукасозеро, Шайвозеро, Корпярви).

Основными условиями формирования кварца повышенной чистоты являются невысокие температуры и давления при кристаллизации кварца или на стадии вторичных деформационных

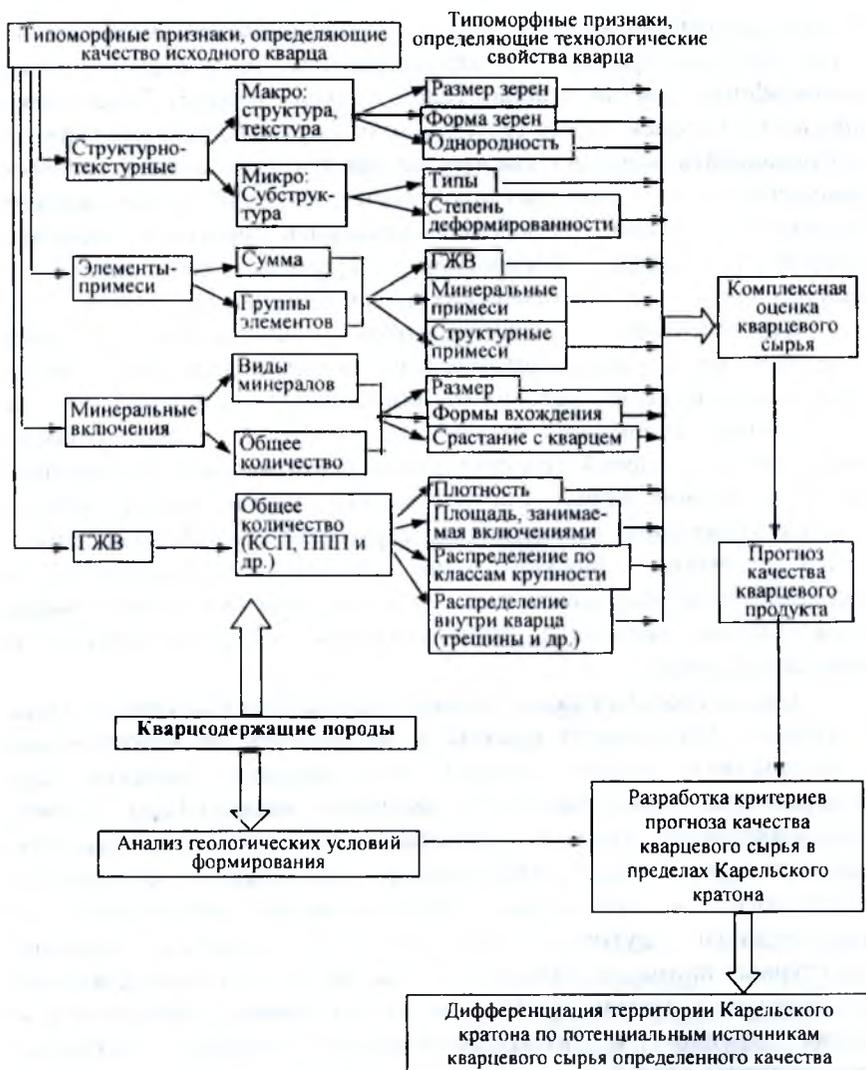


Рисунок 1. Схема разработки критериев прогноза качества кварцевого сырья по комплексу минералогических и геологических признаков

изменений. Важным фактором его локализации является структурно-тектонический, так как кварцевые жилы часто приурочены к сдвиговым зонам, зонам сбросов, зонам вязкопластического течения или территориям, где интенсивно проявлена дизъюнктивная тектоника. Кроме того, значительное влияние на чистоту кварцевого сырья оказывает вмещающая среда. Наиболее благоприятной вмещающей средой являются высококремнистые породы, в частности кварциты и кварцито-песчаники, а также интенсивно окварцеванные сланцы и гнейсы.

На основании выявленных геологических условий локализации кварцевого сырья потенциального для производства высокочистых концентратов, а также типоморфных особенностей природного кварца, в том числе определяющих его технологические свойства, были намечены следующие критерии прогноза на высокочистое кварцевое сырье в пределах Карельского кратона:

- Полицикличный региональный метаморфизм зеленосланцевой и эпидот-амфиболитовой фаций.

- Наличие долгоживущих тектонически активных зон и связанных с ними зон хрупко- и вязкопластического течения, сдвиговых зон или зон сбросов, а также областей проявления дизъюнктивной тектоники.

- Наличие площадей распространения пород, содержащих большое количество свободного кремнезема (двуслюдяных гнейсов, слюдяно-кварцевых сланцев, кварцито-песчаников и кварцитов). Неблагоприятны вмещающие породы амфиболитового состава и кианит-содержащие породы.

- Наличие крупных кварцево-жильных зон или площадей с маломощными жилами, но с высоким коэффициентом кварценоности.

- Развитие процессов катаклаза и окварцевания во вмещающих породах, проявление интенсивных деформационных процессов в жильном кварце, связанных с низкотемпературным метаморфизмом, которые приводят к образованию катаклазированного или вторично рекристаллизованного кварца.

- Неблагоприятным фактором является наличие углекислоты в газовой-жидких включениях, рутиловых иголок в зернах кварца.

Учитывая эти критерии на данном этапе можно локализовать перспективные участки на выявление промышленных объектов высокочистого сырья в пределах Карельского кратона: в первую очередь это Кумсинская зона, Тухальский узел и Костомукшский район. Кроме того, дополнительно можно наметить перспективный район оз. Кукаозеро, где интенсивно проявлены процессы дизъюнктивной тектоники и вязкопластического течения, развиты высококремнеземистые породы, в которых встречаются кварцевые жилы. Потенциальными территориями для обнаружения высокочистого жильного кварца могут быть области распространения нижнеятулийских кварцитов.

Таким образом, особенности геологического строения Карельского кратона, наличие районов развития кварцевой минерализации перспективной для выявления промышленных объектов высокочистого кварцевого сырья позволяет отнести Карельский кратон к потенциальной кварценосной территории. Выявление новых проявлений кварцевого сырья высокого качества возможно при комплексном прогнозировании с учетом функциональных связей качественных характеристик кварца с условиями его формирования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования кварцевых образований на территории Карельского кратона показали наличие большого разнообразия генетических разновидностей кварца, впервые в данном регионе были выявлены и обоснованы как важные в практическом отношении проявления гранулированного кварца, сливных кварцитов и кварцевых метасоматитов. По результатам исследований температурных условий образования кварца, структурно-текстурных, минералогических и геохимических особенностей кварцевых образований была разработана генетическая классификация кварценосных и кварцосодержащих пород Карельского кратона.

Комплексный подход в исследовании типоморфных свойств кварца различных генетических типов позволил не только характеризовать особенности исходного кварцевого сырья, но и прогнозировать качество кварцевых концентратов. В результате

были выявлены перспективные разновидности кварцевого сырья Карельского кратона для получения высокочистых кварцевых концентратов.

Изучение закономерностей размещения различных типов кварцевого сырья в пределах Карельского кратона и изменения их качественных характеристик в зависимости от вариаций геологических условий формирования позволило выявить критерии прогноза проявлений кварцевого сырья, пригодного для получения высокочистых концентратов. В результате на данном этапе локализованы потенциальные участки для нахождения промышленных объектов высокочистого кварцевого сырья в пределах Карельского кратона.

Анализ всех полученных данных и разработанные подходы по комплексным критериям прогноза кварцевого сырья с учетом анализа рудоконтролирующих факторов и типоморфных особенностей кварца показывает, что Карельский кратон является перспективной территорией для нахождения промышленно значимых кварцевых объектов, в том числе с высококачественным кварцевым сырьем, что увеличивает значимость Карелии как части Карело-Кольской кварценозной провинции и определяет необходимость проведения дальнейших поисковых работ на кварцевое сырье на данной территории и продолжения изучения уже выявленных перспективных объектов.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Данилевская Л.А. К минералогии жильного кварца Карелии. // Вопросы геологии Карелии. - Петрозаводск, 1999. - С. 28-33.
2. Данилевская Л.А. Новые генетические типы кварца на территории Карелии. // Геология и полезные ископаемые Северо-запада и центра России: матер. X молодежной научной конференции, посвященной памяти К.О. Кратца. - Апатиты 1999. - С. 103-110.
3. Assessment of quartz occurrences in the republic of Karelia and their potential for pure quartz product. V.V. Shchiptsov, L.S. Scamnitskaya, A.V. Garanzha, L.A. Danilevskaya etc.// Industrial minerals: deposits and new developments in Fennoscandia. - Петрозаводск, 1999. - С. 63-67.

4. Данилевская Л.А. Флюидные включения в кварце Карелии. // Месторождения индустриальных минералов Фенноскандии: геология, экономика и новые подходы к переработке и использованию: матер. межд. конф. - Петрозаводск, 1999. - С. 68-72.

5. Данилевская Л.А. Особенности микроструктуры жильного кварца Карелии // Геология и геоэкология Фенноскандии, Северо-Запада и Центра России: матер. XI молодежной научной конференции, посвященной памяти К.О. Кратца. - Петрозаводск, 2000. - С. 117-121.

6. Щипцов В.В., Данилевская Л.А. Особенности минералогии различных генетических типов кварца Карелии // Минералогические музеи в XXI веке: матер. междунар. Симпозиума по истории минералогии и минералогических музеев, геммологии, кристаллохимии и классификации минералов. - Санкт-Петербург, 2000. - С. 163-164.

7. Щипцов В.В., Скамницкая Л.С., Бубнова Т.П., Данилевская Л.А. Значение типоморфизма индустриальных минералов Карелии. Тезисы докладов международного совещания "Развитие идей И.Н. Плаксина в области обогащения полезных ископаемых и гидрометаллургии". Москва, 2000 – С. 18-20.

8. Данилевская Л.А. Влияние метаморфогенно-метасоматического фактора на типоморфизм кварца (Республика Карелия) // Геология и геоэкология Фенноскандинавского щита, Восточно-Европейской платформы и их обрамления: Материалы XII молодежной научной конференции, посвященной памяти К.О. Кратца. - С-Петербург, 2001. - С. 100-102.

9. Данилевская Л.А. Минералогические особенности кварца в полиминеральных системах (на примере Карельской кварценозной области) // Минералогия основа использования комплексных руд: Тезисы докладов Годичного собрания Минералогического общества при РАН. - С-Петербург, 2001. - С. 50-52.

10. Щипцов В.В., Данилевская Л.А., Гаранжа А.В., Родионов В.С. Прогнозно-минерагенетическая оценка кварценозности Карелии // Геология и полезные ископаемые Карелии. – Петрозаводск: изд. Кар.НЦ РАН, 2001. – Вып. 4 – С. 71-79.