

12. Руденко С.А., Иванов М.А., Романов В.А. Метаморфизм минералов – важное явление в истории их формирования // ЗВМО, 1978. № 6. С. 698–710.
13. Пирогов Б.И., Поротов Г.С., Холошин И.В., Тарасенко В.Н. Технологическая минералогия железных руд. Л.: Наука, 1988. 304 с.
14. Пирогов Б.И. Онтогенический метод в познании технологических свойств минералов // Проблемы онтогении минералов. Л.: Наука, 1985. С. 22–30.
15. Григорьев Д.П. Соотношение технологической минералогии с сопредельными отраслями знания // Онтогения минералов и технологическая минералогия. Киев: Наукова Думка, 1988. С. 11–15.
16. Григорьев Д.П. Рассуждения о минералогии. Сыктывкар: Геопринт, 1998. 88 с.
17. Современные методы оценки технологических свойств труднообогатимого и нетрадиционного минерального сырья благородных металлов и алмазов и прогрессивные технологии их переработки // Плаксинские чтения (Иркутск). М.: Альтекс, 2004. 232 с.
18. Юшкин Н.П. Наноминералогия: объекты, функции, перспективы // Минералогическое общество и минералогическая наука на пороге XXI века. СПб.: Мин. об-во при РАН, 1999. 20 с.
19. Котова О.Б. Поверхностные процессы в тонкодисперсных минеральных системах. - Екатеринбург: УрО РАН, 2004. 194 с.
20. Сидоренко Г.А. Современный фазовый анализ как средство оценки качества и обоснования путей технологической переработки минерального сырья // Обогащение руд. 1996. № 1. С. 32–35.
21. Ожогина Е.Г., Рогожин А.А. Применение комплекса минерало-аналитических методов для технологической оценки руд черных и цветных металлов // Разведка и охрана недр. 2005. № 4. С. 33–36.
22. Кушпаренко Ю.С. Минералогическая технология – новое направление изучения вещественного состава минерального сырья. М.: РИЦ ВИМСа, 1997. 40 с.
23. Стратегия использования и развития минерально-сырьевой базы редких металлов России в XXI веке // Тез. докл. Международ. симпозиума. М.: Изд. ВИМС МПР, 1998. 384 с.
24. Минералогия – основа использования комплексных руд // СПб.: Мин. об-во при РАН, 2001. 218 с.
25. Туресебеков А.Х., Конеев Р.И., Каширский С.А., Ахмедов А.М. Дискретное состояние вещества в рудных и техногенных системах // Минералогическое общество и минералогическая наука на пороге XXI века. СПб.: Мин. об-во при РАН, 1999. С. 174–175.
26. Ревнивцев В.И. Рудоподготовка как новое направление горных наук // Основные направления развития техники и технологии обогащения ПИ. Л., 1983. С. 3–22.
27. Наноминералогия. Ультра- и микродисперсное состояние минерального вещества. СПб.: Наука, 2005. 581 с.
28. Лучинин В.В. Индустрия наносистем. Системный подход. // Дополнение к книге Ч. Пула, Ф. Оуэнса Мир материалов и нанотехнологий. М.: Техносфера, 2005. С. 319–327.
29. Конеев Р.И. Наноминералогия золота эпитеpmальных месторождений Чаткало-Кураминского региона (Узбекистан). СПб.: DELTA, 2006. 206 с.

## **РОЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ МИНЕРАЛОГИИ ПРИ ОЦЕНКЕ МНОГОЦЕЛЕВОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНДУСТРИАЛЬНЫХ МИНЕРАЛОВ РЕСПУБЛИКИ КАРЕЛИЯ**

***Щипцов В.В.***

Институт геологии Карельского НЦ РАН, г. Петрозаводск

### ***Введение***

За длительный период изучения индустриальных минералов Карелии выполнены геологические исследования различных видов (групп) месторождений и проявлений полезных ископаемых. В течение многих лет в Институте геологии КарНЦ РАН проводится систематическое изучение вещественного состава и технологических свойств индустриальных минералов Карелии. Этот научный потенциал и практический опыт большого коллектива исследователей и положен в основу анализа состояния и прогноза потенциальных возможностей продуктов обогащения индустриальных минералов Республики Карелия для многоцелевого использования в различных отраслях народного хозяйства.

Систематизация является неотъемлемой частью динамической оценки состояния запасов или ресурсов и обоснования стратегий их разработки с учетом критерия доступности запасов (minerals availability), т.е. доступность минеральных ресурсов в системе «общество – минеральные ресурсы», характеризующее возможность их эффективного и безопасного использования в зависимости от состояния ресурсов, потребности в них и достигнутого технологического уровня [1].

В общей схеме информационных потоков важное место занимают базовые ресурсы результатов научно-исследовательских работ в области геологии, технологической минералогии, обогащения индустриальных минералов [2] и создания на их основе строительных, технических и другого назначения материалов.

Мировой рынок индустриальных минералов весьма динамичен. К сожалению, в России, как и в бывшем СССР, до сих пор по отношению ко многим минеральным типам определяется их второстепенная роль. В настоящее время в области добычи, переработки и использования индустриальных минералов сложилась неблагоприятная картина в целом для нашей страны. Анализируя данные по экспорту и импорту минерального сырья, приходим к выводу, что Россия выступает в роли сырьевого придатка, поставляет на мировой рынок свои сырьевые ресурсы и закупает продукты их переработки для собственных нужд. В то же время индустриальные минералы традиционно относились к одному из приоритетных направлений экономики большинства развитых стран мира.

Разработка новых технических решений и нетрадиционных технологий обогащения руд промышленных минералов с целью обеспечения высокого уровня извлечения полезных минералов и комплексного использования сырья, сопоставимого с мировым уровнем, является важной научной и практической задачей.

В исследованиях по разработке новых технологий обогащения руд Карелии очень важный акцент делается на комплексный подход к применению минерального сырья, что может быть положено в обоснование стратегии освоения минерально-сырьевых ресурсов Республики Карелия. Эту задачу необходимо решать с учетом современного состояния и эффективности применения минерального сырья в различных отраслях промышленности.

### ***О понятии комплексных месторождений индустриальных минералов***

Уже прошло семь десятилетий с момента введения в научный и производственный оборот акад. А.Е. Ферсманом [3] понятия «комплексного использования сырья». А.Е. Ферсман наметил основные типы горнопромышленного комбинирования – это закономерное сочетание полезных ископаемых в одном районе, но не в одном и том же рудном теле; закономерное сочетание нескольких полезных веществ в одном и том же минералогическом теле; комбинированное использование различных ископаемых тел определенного района; комбинированное использование различных производительных сил данной территории; межрайонное промышленное комбинирование. В этой статье нелишне будет напомнить слова А.Е. Ферсмана: «Комплексная идея есть идея в корне экономическая, создающая максимальные ценности с наименьшей затратой средств и энергии, но это идея не только сегодняшнего дня, это идея охраны наших природных богатств от их хищнического расточения, идея использования сырья до конца, идея возможного сохранения наших природных запасов на будущее. Эта идея дает максимально эффективное использование производительных сил, открывая пути для приложения самых высоких технических методов, и, вместе с тем, группируя предприятия не только по типу продукции, но и по типу технологических процессов и свойствам местного сырья» [3]. За этот прошедший период выполнен и опубликован огромный объем теоретических и прикладных работ по геологическим, материаловедческим, технологическим, экологическим, социальным и экономическим аспектам проблемы. Создалась очень благоприятная почва для систематизации полученных материалов в междисциплинарном обобщении.

В последние годы в научном и прикладном аспектах природно-ресурсная значимость земных недр существенно повышается за счет комплексного подхода к освоению всей совокупности ресурсов недр [4, 5, 6]. Это повышает актуальность и значимость исследования, оценки и повышения эффективности недропользования.

Территория Карелии представляет собой потенциально значимую минерально-сырьевую область. Особенно актуальным представляется новый взгляд на оценку потенциала с позиций комплексного освоения. Необходимо определить, что к комплексным месторождениям индустриальных минералов относятся те руды, из которых на данном этапе экономически выгодно и технически возможно извлечь несколько ценных минералов (или компонентов), используемых в различных областях промышленного производства: огнеупорное, керамическое, стекольное, химическое, строительное и т.д. Характерной чертой современного этапа освоения недр становится вовлечение в промышленную сферу руд новых, включая новые типы проявлений, и малых месторождений. В определенных случаях такие объекты характеризуются сложным вещественным составом и трудной обогатимостью при традиционном подходе. Значимыми и приоритетными становятся исследования, направленные на повышение комплексности использования минерального сырья, полноты извлечения полезных компонентов и получение новых нетрадиционных видов продукции.

В зависимости от форм нахождения полезных компонентов выделяются различные типы комплексных месторождений или проявлений [7]. Примерами таких типов могут служить:

1. один главный индустриальный минерал, содержащий несколько ценных примесей;
2. два или более ценных индустриальных минералов;
3. совокупность используемых рудных и индустриальных минералов и горных пород;
4. индустриальное многокомпонентное сырье;
5. индустриальное полисортовое сырье многоцелевого использования;
6. техногенные месторождения.

Особенности изучения и переработки перечисленных руд различны. Формирование эффективной системы недропользования на основе комплексного освоения и использования всей совокупности ресурсов недр относится к сложному многоэтапному и непрерывному процессу, основывающемуся на глубоких теоретических, методологических исследованиях, обобщениях, моделировании и практических проработках, диагностики, координации, мониторинга и коррекции. Все это требует пересмотра традиционных подходов и понимания многих экономических категорий, принципов, методов, оценок [8].

Таким образом, совершенно неслучайно основные задачи и результаты исследований связываются со следующими основными целями:

- комплексная технолого-минералогическая оценка промышленных минералов Карелии и усовершенствование технологических схем управления качеством с использованием опыта Норвегии, Финляндии и Швеции;
- обоснование минерально-сырьевой базы для использования в различных отраслях промышленности – огнеупорной, стекольной, керамической, строительных материалов.

### ***Структурная классификация использования промышленных минералов Карелии***

Принципиальное значение приобретает систематика и разработка классификации промышленных минералов и горных пород Карелии на основе важного критерия "конечный продукт использования" [9, 10]. Создание иерархической структурной классификации использования промышленных минералов и горных пород Карелии по конечному продукту позволяет использовать потенциальные возможности минерально-сырьевой базы Республики Карелии более конкретно и экономически обосновано в сопоставлении с мировыми стандартами. Подобная разработка включает в себя комплект материалов в бумажном и электронном виде – это необходимый инструмент для принятия правильных решений в определении выбора объекта для постановки поисково-оценочных работ или организации добычи определенных видов полезных ископаемых промышленных минералов и горных пород. В обобщенной форме это имеет следующую структуру:

1. Общие сведения, включающие в себя в первую очередь название месторождения, административный район, карту с координатами и место расположения.

2. Геологическая характеристика – генетический тип месторождения, геологическая формация, возрастные данные изотопного анализа, схемы, планы, рисунки, краткое геологическое описание залежи (залежей) полезного ископаемого (морфометрические параметры и др.).

3. Характеристика руды или полезного ископаемого, представленного горной породой – минеральный и химический составы, запасы или ресурсы, среднее содержание полезного компонента

4. Результаты аналитических исследований – силикатный анализ, ИКС, микрозонд, электронная микроскопия, ЭПР, ДТГ, РФА, лазерный анализатор частиц и др.

5. Определение типоморфных признаков первого и второго порядка, среди которых основными являются кристаллохимические особенности (химия монофракций, изоморфные примеси), гранулометрия и морфология минералов, текстурно-структурные особенности руды, физические свойства (плотность, твердость, цвет, магнитные и электрические и др.)

6. Обогащение – сведения о степени изученности, методах обогащения, характеристика концентратов (гранулометрия, химические характеристики и др.), области использования (соответствие ГОСТам, ТУ, рынок сбыта, ценовая динамика).

7. Библиография, включая отчеты, хранящиеся в государственных геологических фондах и в архиве Карельского НЦ РАН

В практике определены понятия для минерального сырья: а) традиционные – давно известные и используемые; б) нетрадиционные – те виды минерального сырья, полезные свойства которых были известны, но их практическое использование стало рентабельным благодаря разработке новых технологий; в) новые виды – ранее неизвестные минералы и породы, выявленные 10–20 лет, которые могут явиться по отношению к традиционным видам альтернативным источником сырья. В настоящее время накоплен материал по всем трем группам.

Большую долю в производственной сфере занимает минеральное сырье во всех отраслях строительства. Например, щебень, песок и гравий среди минеральных ресурсов относится к основному виду сырья. Нельзя представить нашу жизнь без дорог, мостов, улиц, кирпичей, бетона или без красок, стекла, пластика и т.п. Более чем 90% материала используется в производстве асфальтовой массы, 80% – в бетоне. Порошковый известняк относится к важной добавке в сельском хозяйстве, медицине и др. Эти материалы используются все более интенсивно, чтобы защитить окружающую среду – это эрозионный контроль, очистка воды, сокращение выбросов диоксидов серы.

Данные, приведенные в таблице 1, показывают значимость промышленных минералов и горных пород, потенциал и перспективы которых в значительной доле не использованы в экономике Республики Карелия. Рыночные возможности очень широки, и они, как правило, связаны с оценкой нетрадиционного минерального сырья по использованию в различных областях и возможностью открытия нетрадиционных производств на территории Карелии за счет существующей минерально-сырьевой базы на основе упомянутого минерально-сырьевого комплекса.

## Основные области возможного использования индустриальных минералов и горных пород Карелии

Область промышленного использования	Основная продукция
Абразивная	Абразивные круги Абразивы в деревообработке Абразивы в детергентах Наждачная бумага Пасты, порошки, дробь
Газовая и нефтяная	Буровые растворы
Керамическая	Глазурь Глиняные керамические изделия Глушеное стекло Майолика Санитарная керамика Техническая керамика Тонкая керамика Фарфоро-фаянсовая посуда Эмаль
Медицина	Бактерициды Медицинское стекло Медицинские препараты
Металлургическая	Антипригарные покрытия Железистые окатыши Кремний, карбид кремния Металлургический порошок Огнеупоры (динас и др.) Очистка форм для отливок Сорбенты в гидрометаллургии Сплавы (железо-кремниевые, кремниво-магнезиальные и железо-кремниво-хромовые) Титановая губка Флюс Футеровочный материал Электроды для дуговой сварки
Охрана окружающей среды	Обработка поверхности озер, лесных массивов Очистка от газов Фильтрация воды
Пищевая	Корм для домашних животных Обработка продуктов и добавки Очистка зерна
Связь	Оптическое волокно
Сельское хозяйство	Агрохимические удобрения Борьба с вредителями (пестициды и др.)
Смешанные отрасли	Антикоррозийные средства Бытовые нагреватели и теплоаккумулирующие устройства Водоструйное оборудование (гранение и резание) Камины, тарелки и др. бытовые предметы Камнелитейные изделия (трубы, фасонное литье и др.) Косметика Лабораторная посуда Очистка днищ кораблей Пиленый камень Пробирный камень Сварка Смазки
Стекло	Бутылки (прозрачные и темные) Бытовое стекло Окрашенные стекла Спецстекло
Стройматериалы	Асфальт Бетон (жаростойкий и др. сорта) Бутовый камень Вяжущие (строительная известь, магнезиальные вяжущие и др.) Кирпич Минеральная вата Облицовочные плиты Огнеупорный кирпич Пескоструйный материал Песок, гравий Плитки для кровель и облицовки Прессованные изделия

	Силикатный кирпич Строительная керамика Цемент (различные сорта) Штукатурка Щебень
Химическая	Высокодисперсный кремнезем Высокоочищенный магнезит Катализатор Кормовые фосфаты Наполнители: бумажное производство, краски, лаки, резина, пластмассы, мастики и другие композиционные материалы Пигменты Поташ и сода Сорбент Термостойкий материал и др. Фосфорные удобрения Химстойкие материалы (кислотоупорный порошок и т.д.) Целлюлозно-бумажное производство Экстракционная фосфорная кислота
Электроника и оптика	Высоковольтный электрофарфор Кварцевые лампы (различные типы) Распределительные доски Слюдобумага Тонколистовая керамика для конденсаторов Электроизоляторы
Электроника и оптика	Изоляторы покровные и заливочные компаунды Конструкционные радиоэкранирующие материалы Оптические устройства Специальные оптические стекла Шлифование и полирование деталей кинескопов Электронные устройства

В связи с этим анализ и систематика потенциальной минерально-сырьевой базы на территории Республики Карелия за счет вовлечения нетрадиционных и новых видов минерального сырья представляются в современных условиях важными материалами для разработки прогноза развития направлений недропользования и связанных с ними горно-перерабатывающих узлов и новых промышленных производств.

### ***Технологико-минералогические исследования индустриальных минералов Карелии***

На основе геолого-минералогических особенностей и технологических показателей месторождений индустриальных минералов Карелии определяются оптимальные параметры рудоподготовки и обогащения полезных ископаемых.

Признаки типоморфных особенностей минералов имеют два порядка [11]. Первый порядок – это признаки, зависящие от условий образования. К ним относятся химический состав, присутствие элементов-примесей, структура (параметры, дислокации и т.п.), конституция, структурно-текстурные особенности породы (морфологический тип текстуры, типы сростаний минералов, морфология и гранулометрия минеральных агрегатов), степень выветривания, поверхностные пленки и другие свойства минералов и горных пород. Второй порядок – это признаки, производные от первого порядка. К ним относятся физические и механические типоморфные свойства (цвет, прозрачность, контактная электризация, твердость, микротвердость, хрупкость, упругость, пластичность, пористость, сорбция, адсорбция, растворимость, реакционная способность, коэффициент анизотропии, люминесцентность, радиоактивность и др.).

На примерах конъюнктуры некоторых индустриальных минералов прослеживается картина современных тенденций в развитии техники и спроса на новые материалы. С развитием высоких технологий все более значимыми становятся минеральные продукты высокой чистоты, а это в свою очередь на примере Карелии влечет за собой интерес к индустриальным минералам Фенноскандинавского щита, часть из которых не играла значительной роли в недалеком прошлом (такие индустриальные минералы докембрия, как кианит, гранат, новые типы полевошпатовых проявлений, кварцевое сырье, мусковит из нетрадиционных источников, ильменит, тальк и др.).

В целом выделены два подкласса индустриального минерального сырья Карелии.

#### **Индустриальные минералы**

##### ***Элементы***

Алмаз С

Графит С

##### ***Сульфиды***

Пирит Fe<sub>2</sub>S

**Оксиды**

Ильменит	$\text{Fe}^{2+}\text{TiO}_3$
Кварц	$\text{SiO}_2$
Кварц, особо чистый	$\text{SiO}_2$
Магнетит	$(\text{Fe}^{3+}, \text{Fe}^{2+}) \text{Fe}^{3+}\text{O}_4$
Хромит	$\text{Fe}^{2+}\text{Cr}_2\text{O}_4$

**Фосфаты**

Апатит	$\text{Ca}_5[(\text{F}, \text{OH}) \text{I} (\text{PO}_4)_3]$
--------	---

**Карбонаты**

Кальцит	$\text{CaCO}_3$
Доломит	$\text{Ca, Mg}(\text{CO}_3)_2$
Магнезит	$\text{MgCO}_3$

**Гидрокарбонаты**

Сода	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
------	---

**Сульфаты**

Барит	$\text{Ba}[\text{SO}_4]$
-------	--------------------------

**Фториды**

Флюорит	$\text{CaF}_2$
---------	----------------

**Алюмосиликаты**

Андалузит	$\text{Al}_2[\text{O I SiO}_4]$
Асбест (щелочной амфибол-асбест)	$\text{Ca}_2(\text{Mg, Fe}^{3+})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
Биотит	$\text{K}(\text{Mg, Fe}^{3+}, \text{Mn})_3[(\text{OH, F})_2 \text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$
Гранат (альмандин)	$\text{Fe}^{3+2} \text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$
Кианит	$\text{Al}_2[\text{O I SiO}_4]$
Мусковит	$\text{KAl}_2[(\text{OH, F})_2 \text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$
Полевой шпат, бариево-стронциевый	
Полевой шпат	$\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ и $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$
Сподумен	$\text{Li, Al} [\text{Si}_2\text{O}_6]$
Ставролит	$4 \text{Al}_2\text{Ox}[\text{SiO}_4]\text{AlFe}_2\text{O}_3(\text{OH})$
Тальк	$\text{Mg}_3[(\text{OH})_2 \text{I Si}_4\text{O}_{10}]$
Оливин	$(\text{Mg, Fe})_2[\text{SiO}_4]$
Тремолит	$\text{Ca}_2(\text{Mg, Fe}^{2+})_5 \text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$

**Индустриальные горные породы****Метаморфические**

Блочный камень: гранатовый амфиболит, кварцит, мрамор и др.

Керамические пегматиты

Кварцит

Кровельные сланцы

Серпентинит

Тальковый камень

Шунгитовые высокоуглеродистые сланцы

Шунгитовые низкоуглеродистые сланцы

**Магматические**

Анортозит, нетрадиционный полевой шпат

Блочный камень: гранит, габбро-диабаз, габбронорит, диабаз и др.

Вулканиды (геллефлинта), нетрадиционный полевой шпат

Кварцевый порфир, нетрадиционный полевой шпат

Керамические пегматиты

Ладогалиты, нетрадиционный полевой шпат

Нефелиновые и щелочные сиениты, нетрадиционный полевой шпат

Пироксеновый порфирит

Рапакиви, нетрадиционный полевой шпат

**Осадочные**

Глины, керамические

Диатомит

Каолин

Карбонатные породы (известняки)

Охры природные

Песчано-гравийный материал

Валуны

## Сапропели

Практика обогащения полезных ископаемых показывает, что представления об идеальных кристаллах и минералах не могут служить основой для разработки новых технологий и технологических решений. Современный уровень исследований, в отличие от традиционных методов эмпирической оценки обогатимости руд, предполагает изучение взаимосвязи генезиса минералов и технологических свойств минеральных агрегатов. За последние годы накоплен обширный фактический материал по технологической минералогии руд различного состава, определено влияние изоморфизма поверхности, дефектов кристаллической решетки, текстурно-структурных особенностей минеральных комплексов на природу адсорбционных центров и другие свойства минералов, ответственных за их поведение в разделительных процессах.

На примере технолого-минералогического изучения минералов и руд Карелии установлено, что разнообразие геодинамических обстановок на протяжении длительного периода развития Фенноскандинавского щита и особенности структурно-вещественных комплексов определили типоморфные признаки. Эти свойства (характер оруденения, текстурно-структурные особенности, размер вкрапленности рудных и нерудных минералов, их состав, гранулометрическая граница раскрытия сростков, химический состав минералов и т. д.) являются основой для выбора технологии обогащения.

В соответствии с принятой методологией исследования проводились в двух направлениях:

- теоретическое предположение и экспериментальное изучение закономерностей изменения свойств минералов с целью интенсификации процессов обогащения;
- выбор и научное обоснование технологий обогащения на основе изучения закономерностей селективного разделения парагенетических ассоциаций промышленных минералов.

Одним из перспективных направлений развития технологии обогащения является разработка и обоснование способов и методов изменения природных свойств минералов с целью повышения технологических показателей. Использование термических, радиационных, химических и других видов энергетического воздействия на минералы является важнейшим современным направлением технологической минералогии. Преобразование свойств минералов в заданном направлении позволяет не только изменять обогатимость руд, но и создавать новые процессы извлечения полезных компонентов.

В развитие этого научного направления изучена возможность повышения технологических показателей обогащения кианитовых, графитовых, гранатовых и некоторых других типов руд Карелии на основе предварительного модифицирования свойств минералов.

Особенностью современного этапа геолого-технологического изучения промышленных минералов Карелии является исследование новых нетрадиционных видов на поисково-оценочной стадии. В этой связи в лаборатории геологии, технологии и экономики минерального сырья Института геологии КарНЦ РАН выполнены системные технолого-минералогические исследования целого ряда перспективных типов промышленных минералов: маложелезистых мусковитовых сланцев, гранатовых и гранат-ставролитовых, кианитовых, титансодержащих, апатит-карбонатных руд, анортозитов и нетрадиционных видов полевошпатового сырья.

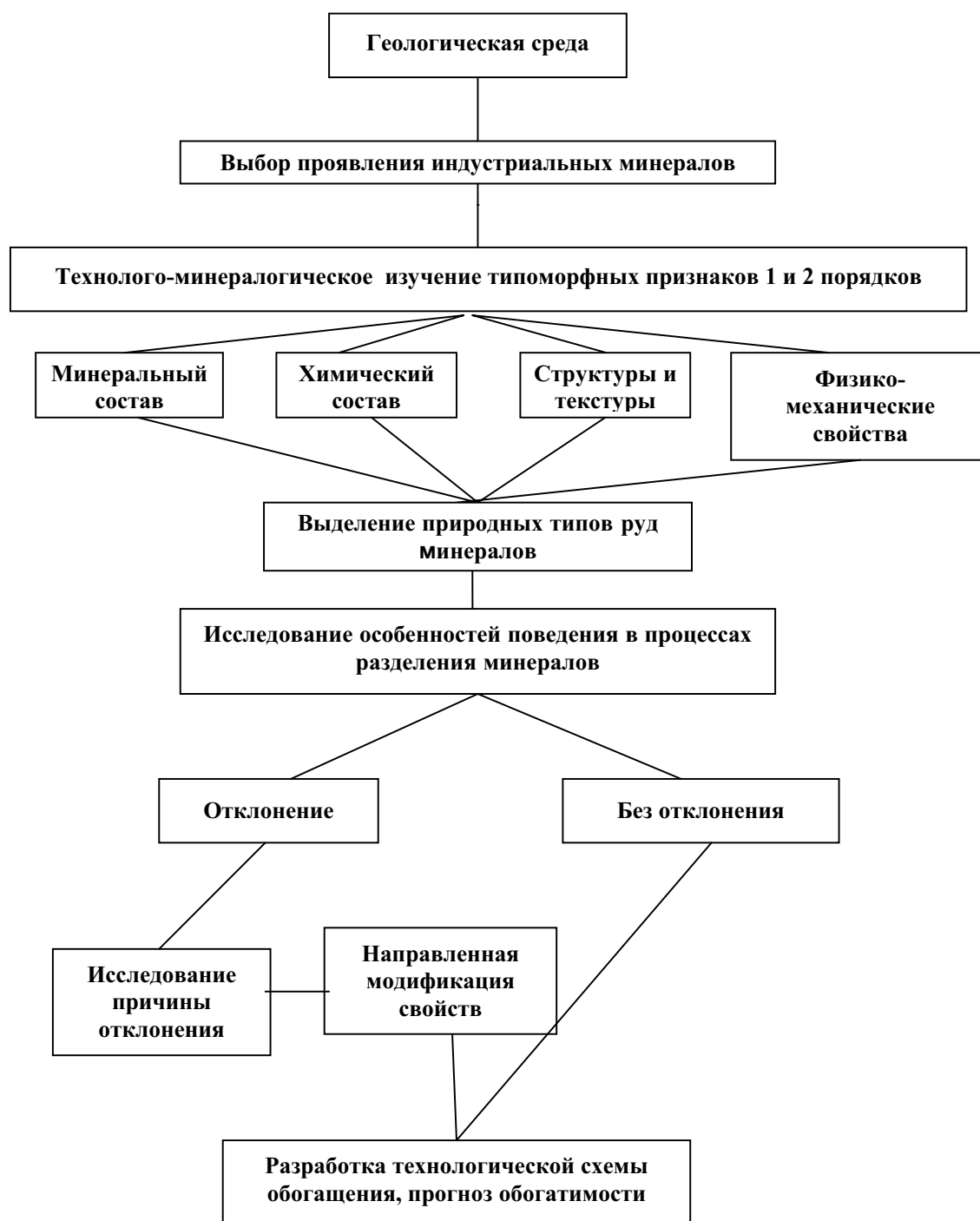
На примере минералов Карелии выполнен комплекс исследований по выявлению и научному обоснованию механизмов изменения их свойств под воздействием ультразвука, химически активной плазмы, СВЧ-излучения, протонного облучения, воздействия мощными электромагнитными импульсами. Идея заключена в усилении контрастности свойств разделяемых минералов на основе направленного воздействия различными силовыми полями для повышения эффективности процессов обогащения, т.е. становится возможным на принципиально новом уровне показать технологические решения на основе разработанной в лаборатории геологии, технологии и экономики минерального сырья института блок-схемы технолого-минералогического изучения промышленных минералов (рис. 1).

Ниже приводятся примеры результатов исследований по вышеупомянутой методике.

### ***Анортозиты Карелии – новый нетрадиционный для России вид полевошпатового сырья***

В кадастр новых проявлений полевошпатового сырья Карелии включены анортозиты участка «Котозерский» (Лоухский район).

На мировом рынке анортозиты, в составе которых плагиоклазовая часть сложена, в основном, лабрадором или битовнитом, имеют наибольшее промышленное применение. Важными направлениями по использованию подобного состава плагиоклазовых концентратов являются керамическое производство бытового и технического назначения, создание на их основе строительных материалов, абразивов, наполнителей пластмасс и резин, специальных красок и т.д. В будущем прогнозируется увеличение спроса на анортозиты, включая эти и другие перспективные направления.



**Рис. 1. Блок-схема минералого-технологического изучения промышленных минералов Карелии**

В настоящее время проведены целевые поиски месторождений нетрадиционного типа, позволившие выделить локальные участки и выявить прогнозные ресурсы с достоверностью, необходимой и достаточной для постановки собственно поисковых работ на анортозит на участке «Котозерский» [12]. Технологическое изучение анортозитов на разных стадиях позволило оценить их обогатимость. Испытано несколько схем получения плагиоклазовых концентратов. Концентраты характеризуются высоким содержанием оксидов алюминия (29–30%) и кальция (12–12,5%) и низким щелочей (3,9–4,5%) и железа (0,1–0,2%).

Получение высококачественного концентрата обеспечивается при флотационном способе получения плагиоклаза. Такая схема используется при обогащении анортозитов в Финляндии. Недостатком флотационной схемы является низкий выход концентрата и применение химических реагентов для разделения минералов. Для снижения потерь плагиоклаза следует ориентироваться на производство плагиоклазового концентрата



многоцелевого назначения, что позволяет обогащать более крупный материал. Перспективной представляется схема сухого магнитного обогащения. При обогащении более тонкого материала мокрым способом на сепараторах с высокой интенсивностью магнитного поля общее содержание железа в плагиоклазовом концентрате снизится, но будет ниже и выход.

За рубежом выпуск подобных сепараторов для обогащения слабомагнитных руд организован рядом концернов, в т.ч. "Sala International" AS. Концерн имеет производственные единицы в Швеции, Англии, Италии и Канаде. Сепаратор фирмы "Sala" может быть смонтирован на установке «Caravan», обеспечивающей мобильность и быстрый ввод в эксплуатацию, при необходимости лишь в основных строительных сооружениях. Установка оборудована собственным источником энергии, агрегатами для дробления, измельчения и обогащения.

В результате проведенных исследований показаны возможности оценки аноксидов данного объекта как многоцелевого сырья. Особенно благоприятны полученные данные о растворимости аноксидов в HCl и H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, выполненные по стандартной методике.

### ***Гранатовые руды северной Карелии (Высота-181)***

В Карелии существует закономерная геологическая локализация проявлений потенциально промышленного граната, что связывается в первую очередь с отдельными участками одной из мезоструктур Карельского региона – Беломорским мобильным поясом. К одному из таких объектов относится «Высота-181» [13].

Вещественный состав большинства проявлений представлен такими минералами как кианит, гранат, мусковит, биотит, полевой шпат и кварц, остальные минералы присутствуют в незначительном количестве. Промышленный интерес представляют два природных типа гранатовой руды: 1 тип – гигантозернистый кианит-гранат-двуслюдяной сланец; 2 тип – средне-крупнозернистый кианит-гранат-двуслюдяной сланец.

Гранат в сланцах характеризуется размерами кристаллов от 100–150 (изредка 250) до 2–4 мм в поперечнике. Кристаллы граната во всех типах пород обычно разбиты трещинами, поэтому при дроблении кристаллы граната разрушаются, уменьшаясь до размеров меньше миллиметра. Размеры зерен граната в амфиболитах – 0,6–2,65 мм, средний размер – 1–1,3 мм

Обогатимость выделенных типов руды изучена в лабораторных условиях на материале технологических проб. Анализ материала, поступающего на обогащение, показывает, что основная масса граната в руде при измельчении концентрируется в крупных +0,5 мм классах. Кроме свободных зерен граната, присутствуют неправильной формы агрегаты, состоящие из зерен граната и микровключений биотита, кианита, амфибола, рудного и кварца. Руды легко обогащаются методами гравитационной и магнитной (сухой или мокрой) сепарации. Получены концентраты, содержание граната в которых не менее 90%, а извлечение в концентрат не менее 81%.

Гранат относится к перспективным индустриальным минералам, поле его использования на мировом рынке расширяется.

### ***Маложелезистые мусковиты Северной Карелии – новый тип чистых промышленных минералов***

В 1999 г. в Лоухском районе было выявлено месторождение маложелезистого мелкочешуйчатого мусковита в мусковитовых кварцитах Восточно-Хизоваарского оруденения [14]. Вещественный состав и текстурно-структурные особенности руды месторождения позволяют использовать при обогащении два метода – гравитацию (на концентрационном столе) и флотацию. При измельчении руды мусковит выделяется в виде частичек пластинчатой формы. Для устранения переизмельчения мусковита и потерь его со шламами измельчение руды целесообразно осуществлять в замкнутом цикле с классификацией.

В материале крупностью 2 мм раскрытие сростков мусковита с кварцем не обеспечивается в достаточной мере. Хорошо раскрывается мусковит, образующий цепочки в кварц-мусковитовой породе, а также сростания с рудными минералами. Тонкочешуйчатый мусковит в сростании с рутилом и чешуйки мусковита в мелких зернах кварца и кианита, а также разориентированные лейсты мусковита в кварцевом агрегате раскрываются трудно. Оптимальная крупность измельчения перед обогащением с учетом текстурно-структурных особенностей руды, генераций мусковита и раскрываемости сростков основной массы мусковита, соответствует измельчению материала до крупности менее 1,0 мм.

Основные рекомендуемые условия и параметры технологического процесса комплексного использования руды:

- Технология обогащения – гравитационная для выделения мусковита и флотационная при получении кварца.

- Основная продукция – мусковитовый концентрат, попутная – кварцевый продукт, пески строительные.

- Руда после двухстадийного дробления и измельчения подвергается обесшламливанию по классу 0,1мм. Пески обесшламливания являются исходным питанием цикла получения мусковитового концентрата.

Рекомендуемый метод гравитационного обогащения – концентрация на столах. Процесс осуществляется в три стадии – основная операция и две перечистки промежуточных продуктов. Промпродукты основной операции и I перечистки являются питанием последующих стадий концентрации. Промпродукт II перечистки, тонкие сливы – отвальные продукты. Готовый мусковитовый концентрат выделяется в каждой стадии концентрации на столах и объединяется в общий продукт. Хвосты гравитации являются исходным питанием цикла получения кварцевого продукта. Технологический процесс осуществляется в открытом цикле. Мусковитовый концентрат после гравитации после флотации поступает на фильтрацию, сушку и упаковку.

Получение кварцевого продукта имеет два положительных момента:

1. непосредственное вовлечения отходов в сферу попутного производства и получение дополнительной товарной продукции из того же объема добываемой горной массы;

2. экономия расходов на поддержание отвального и хвостового хозяйства.

С этих позиций оценена возможность получения дополнительной продукции из хвостов обогащения мусковитовых сланцев месторождения Восточная Хизоваара.

Хвосты гравитационные в основной массе представлены разнородной массой крупностью 1–0,1 мм. Минеральный состав их представлен, %: кварцем – 91,5, мусковитом – 2, полевым шпатом – 5, кианитом – 1. Турмалин рутил, сульфиды и гематит в сумме составляют не более 0,5%.

### ***Оценка ресурсного потенциала карбонатитов Тикшеозерского массива (формация ультраосновных-щелочных пород и карбонатитов)***

По результатам геолого-съёмочных и научно-исследовательских работ на территории северной Карелии в границах Тикшеозерского массива щелочно-габброидной формации выявлены апатитоносные карбонатиты, представляющие интерес как промышленное сырьё. Тикшеозерский массив по составу силикатных пород занимает положение между двумя формациями. Таких массивов единицы и локализованные в них карбонатиты, как правило, существенно отличаются по рудному наполнению от традиционных массивов щелочно-габброидной формации.

Оценка народнохозяйственной значимости определяется следующими критериями: область применения и потребность (дефицитность) в сырье; геологическая и технологическая изученность; масштабы ресурсов (обеспеченность предприятия) и качество сырья (содержание компонентов, потребительские свойства).

Разнородность состава карбонатитов в определенных пределах подчеркивается вариациями минерального состава, структурно-текстурными особенностями и др. особенностями. Для получения стабильных качественно-количественных показателей следует предусмотреть усреднение руды перед обогащением.

В практике используются три метода для получения кальцитовых концентратов [15]:

- Прямая селективная флотация кальцита
- Магнитно-флотационная технология
- Обратная флотация кальцита

Наиболее предпочтительным является метод обратной флотации кальцита, когда в пенный продукт извлекаются силикатные минералы. В качестве собирателя флотации силикатов может быть использован реагент из группы аминацетатов (флотигам). По методу обратной флотации прорабатывался ряд вариантов схемы обогащения.

В целом, способ обратной флотации кальцита обладает определенной технологической простотой исполнения, по сравнению с двумя другими методами. В результате проведенных исследований были получены кальцитовые концентраты, содержащие 92–97% кальцита, что соответствует требованиям к качеству сырья для производства строительной извести, силикатного кирпича, известкования кислых почв, а также известняка, используемого для получения глинозема при переработке нефелина. Извлечение кальцита в концентрат составляет 78%. С целью получения более чистого кальцитового концентрата камерный продукт обратной флотации после сушки подвергался сухой магнитной сепарации.

В таком концентрате магния не обнаружено,  $P_2O_5$  – 0,36–0,47%, S – 0,02%,  $SiO_2$  – 0,16%, железа около 1%. Практически удалось извлечь все слюды, на что косвенно указывает полное отсутствие окиси магния в составе кальцитового концентрата. Для выделения магнетитового концентрата может быть применена двухстадийная магнитная сепарация в слабом поле.

Основные технологические показатели полученных по схеме комплексного обогащения апатитоносных карбонатитов продуктов приведены в таблице 2.

Качественно-количественные показатели обогащения карбонатитов

Продукт	Содержание в руде	Размер зерен, мм	Выход	Содержание	Извлечение	Содержание	Извлечение
				P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		CO <sub>2</sub>	
Апатит	4,31	0,1х 0,2 до 2х2	8,65	38,34	76,95		
Кальцит	79,72	Мелкие 0,5-1 Крупные до 3	66,10	0,47–1,0		39,5–40,1	
Магнетит	4,03		4,20	0,1	0,1		
Флогопит	5,60		2,14	0,68	0,34		
Шлам			15,65	2,80	10,17		
Отвальные хвосты			3,26	6,91	5,23		
Руда			100	4,31	100		100

Комплексное освоение недр в настоящее время переживает, по существу, новый виток начального этапа формирования и уточнения самого понятия, сущности, особенностей, выработки путей, принципов, технологических, организационных, экономических подходов и формулирования научных проблем, поэтому, делая вывод о необходимости комплексного освоения Тикшеозерского объекта, можно пока только ставить проблему. Тикшеозерский узел может стать основой формирования крупного горнопромышленного узла, выгодного в экономическом отношении со всех сторон, что на практике станет примером формирования эффективной системы недропользования на основе комплексного освоения и использования всей совокупности ресурсов недр. Тикшеозерское месторождение карбонатитов в перспективе может лечь в основу создания малоотходного горнопромышленного узла в Северной Карелии.

Карбонатное сырье – карбонатная составляющая апатит-карбонатных руд рудопроявления «Карбонатитовое» является основным видом минерального сырья Тикшеозерского массива. С другой стороны, по прогнозам потребность на внутреннем рынке в апатитовом концентрате будет значительно расти. Если обращаться к апатиту как товарному продукту, получаемому из тикшеозерских карбонатитов, то этот продукт будет иметь ряд качественных преимуществ по сравнению с рыночным апатитовым концентратом, выпускаемым ОАО «Апатит».

Полученные показатели экономической эффективности проекта свидетельствуют об инвестиционной привлекательности проекта в настоящих экономических условиях для горнодобывающей промышленности [16]. По масштабам запасов – обеспеченности предприятия сырьевой базой и качеству сырья – потребительским свойствам ресурсы оцениваются по группе ожидаемой средней рентабельности.

### ***Кварцевое сырье Карелии***

Проведенные исследования Институтом геологии КарНЦ РАН совместно с Северной поисково-разведочной экспедицией по проекту «Прогнозно-минерагеническое изучение Республики Карелия в масштабе 1:1000000 с целью выявления объектов, перспективных на минеральное сырье для производства специальных кварцевых изделий» показали большой потенциал не только традиционно известной Беломорской области, но и всей территории Карелии, основную часть которой занимает Карельский кратон. Используя эти материалы в дальнейшем было научно обосновано практическое значение минерально-сырьевой базы особо чистого кварца Карелии – одного из перспективных регионов России [17].

Выявлены особенности геодинамических обстановок формирования кварца на различных стадиях развития по трем мезоструктурам Карельского региона – Беломорский подвижный пояс, Карельский кратон и карельская часть Свекофеннского складчатой области и установлены новые кварценозные проявления, в том числе и кварцевые жилы с гранулированным кварцем, приуроченные к зонам кислотного выщелачивания этапа свекофеннской активизации, сливные кварциты и россыпи галечного кварца, в составе которых содержится до 30% гранулированного или прозрачного кварца. К новым находкам относится целый ряд объектов различных типов кварца: Хизоваара, Тербестров, Фенькина-Лампи, Корпярви – кварцевые жилы, Шайвозеро – силекситовый кварц, северный участок оз. Тикшозеро, Малое Янисъярви – перекристаллизованный кварцитовый кварц, побережье Белого моря (Одинчиха и др.) – галечно-россыпной кварц [18]. Проведенные минералого-технологические исследования кварцевого сырья позволили сделать предварительную оценку возможных направлений использования и промышленной значимости конкретных объектов [17]. Разнообразие и особенности структурно-формационных обстановок, фациальных обстановок проявления метаморфизма и метасоматизма 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 кварц, сливные кварциты и кварцевые метасоматиты.

Регионально-минерагеническое изучение минерально-сырьевой базы кварца Карелии раскрыло потенциал и перспективы новых кварцевых объектов. Обоснование новых методологических подходов к исследованиям создало основу для комплексной оценки перспектив региона на кварц в целом, а также для стадийного прогнозирования месторождений в контурах минерагенических зон, потенциально кварцевых районов и узлов, геолого-экономической оценки территории и планирования поисковых и поисково-оценочных работ.

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

### **Заключение**

Выполнен цикл научных исследований по обоснованию ценности перспективных индустриальных минералов карельской части Фенноскандинавского щита (гранатовые, мусковитовые руды, новые типы полевошпатовых пород – анортозиты, кварцевое сырье), позволивший на принципиально новом уровне показать технологические решения на основе предложенной блок-схемы технолого-минералогического изучения индустриальных минералов с оценкой комплексности их многоцелевого использования.

Исследования выполнялись при финансовой поддержке РФФИ-Карелия (грант 05-05-97524) и проекта фундаментальных исследований ОНЗ РАН (направление 3).

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. *Пешков А.А., Мацко Н.А., Кононыхин М.А., Морев А.Н.* Проблемы обоснования стратегий освоения минерально-сырьевых ресурсов // Горный журнал. № 4. 2005. С. 18–23.
2. *Аксенов С.А.* Государственное геологическое информационное обеспечение недропользования // Минеральные ресурсы России. № 1-2, 2003. С. 60–66.
3. *Ферсман А.Е.* Комплексное использование ископаемого сырья. Л.: АН СССР, 1932. 20с.
4. *Агошков М.И.* Развитие идей и практики комплексного освоения недр // Горный журнал, 1984. № 3. С. 3–6.
5. *Трубецкой К.Н., Уманец В.Н.* Комплексное освоение техногенных месторождений // Горный журнал. 1992. № 1. С. 12–16.
6. Горные науки, освоение и сохранение недр Земли / Под ред. акад. К.Н.Трубецкого. М.: Изд. АГН, 1997. 475 с.
7. *Изоитко В.М., Щипцов В.В.* К вопросу о комплексности месторождений полезных ископаемых // Тез. докл. Годичного собрания ВМО «Минералогия – основа использования комплексных руд» – С.-Петербург, 2001.
8. *Ларичкин Ф.Д.* Методические особенности оценки экономической эффективности комплексного использования сырья // Север и рынок. 2000. № 2. С. 92–99.
9. *Virta R., Lorenz W., Reguero M.* Industrial minerals and rocks. Classification of end uses // Industrial Minerals. 1994. № 319. P. 133–139.
10. *Щипцов В.В.* Значение индустриальных минералов Карелии в областях промышленного производства // Геология и полезные ископаемые Карелии. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2001. Вып. 3. С. 126–131.
11. *Изоитко В.М.* Технологическая минералогия и оценка руд. СПб: Наука, 1997. 592 с.
12. Геолого-технологическая характеристика крупного проявления анортозитов Котозерского участка (северная Карелия) / Щипцов В.В., Скамницкая Л.С., Бубнова Т.П. и др. // Сб. Геология и полезные ископаемые. Петрозаводск, 2004. Вып. 7. С. 151–163.
13. *Щипцов В.В., Скамницкая Л.С., Каменева Е.Е., Савицкий А.И.* Гранатовые руды Северной Карелии, технологические подходы к их освоению и возможные области использования // Геология и полезные ископаемые Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2002. Вып.5. С. 82–91.
14. Мусковитовые кварциты Карелии – новый промышленный тип слюдяного сырья / Щипцов В.В. и др. // Геология и полезные ископаемые Карелии. Петрозаводск, 2003. Вып. 6. С. 67–78.
15. Технологические исследования карбонатитов Тикшезерского массива // Бархатов А.В., Скамницкая Л.С., Бубнова Т.П. и др. // Минеральное сырье Лоухского района. – Петрозаводск, 1991. С. 20–35.
16. Технологико-экономическая оценка комплексного использования карбонатных пород Тикшеозерского массива / Щипцов В.В., Скамницкая Л.С., Бубнова Т.П., Щипцова Н.И. / Проблемы рационального использования природного и техногенного сырья Баренцева региона в технологии строительных и технических материалов. - Сыктывкар, 2007. С. 228–230.
17. *Щипцов В.В., Данилевская Л.А., Гаранжа А.В., Родионов В.С.* Прогнозно-минерагеническая оценка кварценоносности Карелии // Геология и полезные ископаемые Карелии. Петрозаводск: изд. Кар.НЦ РАН, 2001. Вып. 4. С. 71–79.
18. *Данилевская Л.А., Скамницкая Л.С., Щипцов В.В.* Кварцевое сырье Карелии. Петрозаводск, 2004. 226 с.
19. *Щипцов В.В., Скамницкая Л.С., Бубнова Т.П.* Минералого-петрографические особенности кварц-мусковитовых сланцев месторождения Восточная Хизоваара (северная Карелия) и их обогатимость // Материалы IV конгресса обогатителей стран СНГ. М.: Т. II, Альтекс, 2003. С. 240–242.