















ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МИНЕРАЛОГИЯ, МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Сборник научных статей по материалам
IV Российского семинара по технологической минералогии

Петрозаводск
2010

RUSSIAN MINERALOGICAL SOCIETY
COMMISSION ON TECHNOLOGICAL MINERALOGY

RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES
INSTITUTE OF GEOLOGY
KARELIAN RESEARCH CENTRE



TECHNOLOGICAL MINERALOGY, METHODS FOR RECYCLING OF MINERAL PRODUCTS AND NEW MATERIALS

Edited by Dr.sc. Vladimir V.Shchiptsov

Petrozavodsk
2010

РОССИЙСКОЕ МИНЕРАЛОГИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО
КОМИССИЯ ПО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ МИНЕРАЛОГИИ

УЧРЕЖДЕНИЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ
КАРЕЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР



ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МИНЕРАЛОГИЯ, МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Под редакцией д.г.-м.н. В.В.Щипцова

Петрозаводск
2010

УДК 622.7
ББК 30.3

Т 38 **ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МИНЕРАЛОГИЯ, МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ** / Под редакцией д.г.-м.н. В.В.Щипцова.– Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2010, 192 с.
ISBN 978-5-9274-0415-5

УДК 622.7
ББК 30.3

Рецензент – докт.геол-мин. наук **О.И.Володичев**

ISBN 978-5-9274-0415-5

© Российское минералогическое общество, 2010
© Карельский научный центр РАН, 2010
© Институт геологии КарНЦ РАН, 2010

ПРЕДИСЛОВИЕ

Данный сборник научных статей по технологической минералогии является четвертым изданием под эгидой Комиссии по технологической минералогии РМО. Предыдущие три издания выходили по материалам ежегодных российских семинаров [1, 2, 3]. В основу данного издания положены материалы IV Российского семинара по технологической минералогии. Семинар проходил 14-16 сентября 2009 г. на борту теплохода «Борис Полевой» по маршруту Казань – Нижний Новгород – Казань. Организаторы – Комиссия по технологической минералогии РМО, ФГУП «ЦНИИгеолнеруд» и Учреждение Российской Академии наук Институт геологии Карельского научного центра РАН. Для участия в семинаре было принято более 40 докладов от 17 научных организаций, вузов и предприятий, представляющих различные регионы России и СНГ: Апатиты, Екатеринбург, Казань, Москва, Новосибирск, Петрозаводск, Санкт-Петербург, Сыктывкар, Ташкент, Чита.

На семинаре рассматривались актуальные проблемы технологической минералогии:

- современные методы исследования руд металлов и промышленных минералов при оценке их технологичности;
- новые методы переработки минерального сырья и получение новых материалов;
- исследования в области наноминералогии;
- новые подходы к оценке минерального сырья с учетом его комплексного использования.

На открытии семинара с приветственным словом выступил председатель Комиссии по технологической минералогии РМО В.В. Щипцов.

На семинаре были заслушаны заказные доклады от институтов, занимающихся проблемами технологической минералогии, и ведущих специалистов в данной области исследований. Основные доклады:

Пирогов Б.И. Современные проблемы технологической минералогии.

Юсупов Т.С. Изучение структурных преобразований минералов при тонком измельчении с целью регулирования их технологических свойств.

Лыгина Т.З., Корнилов А.В. Технолого-минералогические исследования – основа прогнозной оценки качества неметаллических полезных ископаемых.

Ожогина Е.Г. Основные направления минералогических исследований руд при создании технологий их комплексной переработки.

Войтеховский Ю.Л., Гришин Н.Н., Нерадовский Ю.Н., Касиков А.Г. Кианитовые руды Кейв – перспективная сырьевая база России: технолого-минералогический аспект.

Щипцов В.В., Скамницкая Л.С., Бубнова Т.П., Данилевская Л.А. Роль геологических, минералогических и технологических исследований Института геологии КарНЦ РАН в оценке потенциала минерально-сырьевой базы Республики Карелия.

Левченко Е.Н., Ваганов И.Н., Фунтиков Б.В. Возможности ФГУП «ИМГРЭ» и Бронницкой геолого-геохимической экспедиции в области технологической минералогии и методов обогащения минерального сырья.

Мелентьев Г.Б. Термохимические способы переработки природного и техногенного сырья и их инновационное значение.

В промежутках между заседаниями семинара для участников были организованы экскурсии по городу Нижний Новгород и городу Чебоксары, а также посещение Макарьевского женского монастыря на Волге.

Помимо этого, большая группа участников ознакомилась с Производственно-методическим аналитическим комплексом Бронницкой геолого-геохимической экспедиции до открытия семинара и Аналитико-технологическим сертификационным исследовательским Центром ФГУП "ЦНИИгеолнеруд" после семинара.

Участники семинара отметили:

- Высокий уровень проведения и отличную организацию научного семинара со стороны ФГУП «ЦНИИгеолнеруд».
- Широкий круг участников семинара – представители институтов РАН, ВУЗов, отраслевых институтов, коммерческих организаций, в основном представляющих различные региональные отделения РМО, включая представителя ИГГ АН Республики Узбекистан А.Х. Туресебекова.
- Участие молодых специалистов на семинаре – студенты, аспиранты, соискатели.
- Актуальность результатов исследований в фундаментальных и прикладных научных областях и их практическую значимость для оценки руд металлов и промышленных минералов.
- Необходимость интеграции смежных наук для решения задач технологической минералогии.
- Важность освещения международного опыта в области технологической минералогии, частично отмеченного в докладах О.Б. Котовой и В.В. Щипцова.
- Отличительную особенность 4 семинара – новые направления исследований, новые виды сырья, вовлечение в работу семинара специалистов по приборной базе (ООО «Термотехно», Москва с участием А.Н. Перекопайко).
- Большую роль исследований новых нетрадиционных видов минерального сырья для расширения минерально-сырьевой базы страны, а также вовлечение более широкого диапазона интервалов размерностей минеральных индивидов, обуславливающих новые области применения сырья.

- Наличие проблемных вопросов в сфере решения задач гранулометрии и морфометрии с помощью компьютерных анализаторов, необходимость развития методов и подходов в их решении.

Семинар и Комиссия по технологической минералогии постановили:

1. Провести следующий пятый семинар по технологической минералогии 4-6 октября 2010 г. в г. Сыктывкаре на базе Института геологии Коми НЦ УрО РАН на тему «Минералого-технологическая оценка месторождений полезных ископаемых и проблемы раскрытия минералов».
2. Издать сборник научных статей по материалам Четвертого российского семинара по технологической минералогии.
3. Широко осветить в научном сообществе мероприятия Комиссии по технологической минералогии.
4. Активно привлекать молодых ученых к участию в работе Комиссии по технологической минералогии.
5. Выразить огромную благодарность за организацию данного мероприятия руководству ФГУП «ЦНИИгеолнеруд» и поблагодарить за теплый прием в Нижнем Новгороде генерального директора Федерального государственного унитарного геологического предприятия «Волгогеология» Алексея Марковича Коломийца.

Рекомендовано:

1. Поставить вопрос о терминологии в области технологической минералогии с учетом участия специалистов различных дисциплин и развития аналогичных направлений международных наук о Земле с возможным созданием тезауруса.
2. Искать инновационные подходы в решении задач оптико-геометрического анализа.
3. Принимать активные меры к поиску новых комплексных подходов по оценке минерального сырья, включая их добычу и переработку.
4. Рассматривать масштабные проекты по проблемам минерального сырья, например, проект по алюмосиликатам, вовлекающий пять институтов Кольского НЦ и Карельского НЦ РАН.

Считаем приятным долгом выразить искреннюю благодарность рецензенту данного сборника научных статей председателю Карельского отделения Минералогического общества, главному научному сотруднику, док.геол.-мин.наук О.И.Володичеву за внимательное прочтение, советы и замечания.

5. 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.
6. 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.
7. 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: Карельский научный центр РАН, 2009. 187 с.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ МИНЕРАЛОГИИ

Пирогов Б.И.

РГГРУ, г. Москва

Технологическая минералогия объединяет минералогические и технологические исследования, связанные с изучением вещественного состава, текстурно-структурных признаков полезных ископаемых, технологических свойств минералов в эволюции единой геолого-техногенной системы на макро-, микро-, наноуровне, направленные на комплексное использование минерального сырья при разработке рациональных, экологически чистых схем обогащения (Пирогов Б.И.).

Она позволяет с единых позиций проследить весь ход изменений минерального вещества литосферы через технологию обработки и переработки до накопления в литосфере отходов (Ревнивцев В.И).

Введя понятие техногенеза, в 1933 г. А.Е. Ферсман писал: «Хозяйственная и промышленная деятельность человека по своему масштабу и значению сделалась сравнимой с самой природой…Человек геохимически переделывает мир». **Это в значительной степени предопределило минералого-технологическую эволюцию недр в горнорудном производстве.**

Формирование эффективной системы недропользования при добыче и переработке минерального сырья (МС) на основе комплексного освоения и использования всей совокупности ресурсов недр относится к сложному многоэтапному и непрерывному процессу глубоких теоретических, методологических исследований, обобщений, моделирования и практических проработок, диагностики, координации, мониторинга и коррекции. Требует пересмотра традиционных подходов и понимания многих экономических категорий, принципов, методов, оценок [1]. Горнодобывающая промышленность в мире, по данным ЮНЕСКО, развивается в среднем в 1,6 раза быстрее, чем все остальные виды индустрии. Сегодня горными работами во всем мире нарушено свыше 6 млн. га и ежегодно добывается свыше 100 млрд. т МС. В процессе горных, добычных и строительных работ за год перемещается около 1 км^3 пород, а это равносильно денудационной работе рек [2]. В техносфере горнопромышленных комплексов миграция вещества происходит по схеме: **извлечение из недр → переработка в промышленных технологических цепочках → образование водоемов-хвостохранилищ → минералого-геохимические преобразования отвальных хвостов с осаждением илов и миграцией химических элементов → осаждение их на геохимических барьерах (в частности, перемычках и дамбах) → выход на ландшафт и участие в биологическом круговороте** [3]. Подсчитано, что ***сквозные потери полезных ископаемых (ПИ) складываются из потерь: 10-30% – при добыче, 20-40% – при обогащении, 10-15% – при химико-металлургическом переделе.*** При этом возникают локальные геотехногенные аномалии. Для рудных районов в геотехногенезе ландшафтов и водных экосистем важны проблемы миграции минеральных форм As, Bi, Se,Te, F, Cd, In,Tl, W, U, Th и других элементов руд. С отходами производства связаны разнообразные техногенные МПИ, которые являются важнейшими новыми видами сырья. Их вовлечение в практическое использование повысит рентабельность предприятий и улучшит экологическую обстановку в регионах. *Поэтому сейчас главное направление хозяйствования – это разработка безотходных и малоотходных технологий в использовании МС.*

Начало XXI столетия в мире связано с возникновением минерально-сырьевого бума, в том числе и на твердые ПИ. На фоне резкого увеличения мирового производства ряда металлов и соответственно спроса на большинство видов МС, в частности, для металлургии, Россия сегодня существенно отстает, особенно от темпов бурно развивающегося Китая, как это показано в кратком обзоре ВИМСа по развитию новых минерально-сырьевых металлургических комплексов страны [4]. Подчеркивается, что *«ключевым элементом в решении сырьевых проблем отечественных горнометаллургических проектов должно стать* ***создание и применение современных прогрессивных технологий добычи, обогащения и передела руд***, *обеспечивающих эффективную эксплуатацию ныне нерентабельных месторождений, извлечение главных и основных сопутствующих полезных компонентов, замкнутый технологический цикл, минимизацию экологического ущерба и утилизацию отходов».* В решении этих задач, несомненно, *весьма значимой становится роль* ***технологической минералогии*** (ТМ), основные проблемы которой отражены в схеме (рис.1).

ПРОБЛЕМА 1. ТМ обеспечивает решение широкого комплекса задач по изучению и минералого-технологической оценке вещества, охватывая стратегический (формационный) и тактический (регионально-локальный) уровни. Ведь каждая руда (МС), с одной стороны, специфична по своим минералого-технологическим характеристикам, которые должны быть отражены в конкретных тактических технологических решениях, с другой – руды одной и той же формации (например, железистые кварциты докембрия; окисные марганцевые; сульфидные руды месторождений меднопорфировой и других формаций) стратегически близки по основным геолого-минералогическим факторам обогатимости [1, 5, 6 и др.]. Сегодня ***системный инновационный подход к минералого-технологической оценке различных видов МС, как природного, так и техногенного, является определяющим.*** При этом важно обеспечить «***рациональное сочетание методов рудоподготовки, обогащения и передела*** с целью комплексного извлечения полезных компонентов с получением широкого спектра ликвидных товарных продуктов и новых нетрадиционных видов минерального сырья» [4]. *Системность подхода определяют следующие позиции*:

– интеграция минералогических методов с обогащением на основе синтеза знаний минералогии (кристаллохимии, онтогении и др.) и развития эксперимента в технологии с целью повышения эффективности рудоподготовки и обогащения ПИ;

– выявление и оценка геолого-минералогических факторов, определяющих природу технологических свойств минералов (ТСМ) ПИ различных генетических типов, с учетом характера и глубины изменений их в гранулометрическом спектре на разных уровнях (макро-, микро -, наноуровне) минералогической «памяти»;

– выявление минералогических критериев оценки ПИ в единой геолого-техногенной системе (ЕГТС) на основе комплекса физических методов и прослеживание закономерностей эволюции ТСМ в различных узлах технологической схемы;

– разработка и внедрение технологических методов селективного выделения минералов с использованием новых систем рудоподготовки и обогащения ПИ;

– разработка и внедрение комплексных технологий получения новых нетрадиционных видов МС и, прежде всего, при переработке техногенного МС;

– совершенствование системы технологической оценки новых минеральных объектов на ранних стадиях ГРР.

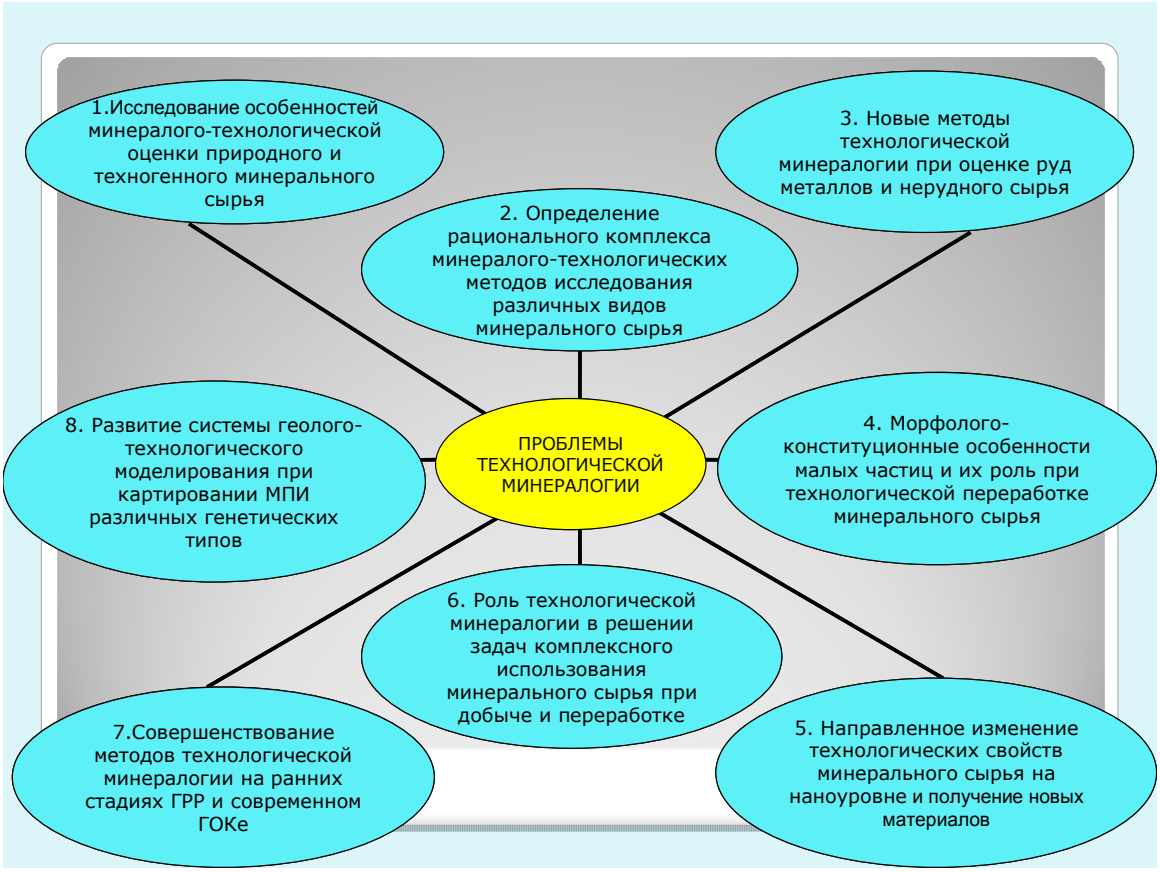


Рис. 1. Современные проблемы технологической минералогии

Так, в развитие новых минерально-сырьевых металлургических комплексов России ФГУГ «ВИМС» [4] среди передовых технологий добычи и переработки ПИ выделил следующие:

– в ***добыче МС –*** скважинные подземное выщелачивание и гидродобыча, сортировка радиометрическая крупнопорционная,

– в ***рудоподготовке*** – «сухие» методы дробления, измельчения (в том числе сверхтонкого), обеспечивающие при минимизации энергоемкости операций оптимальное раскрытие полезных минералов,

– в ***крупнокусковом обогащении*** – высокопроизводительные методы радиометрического, магнитного, гравитационного обогащения на материале классов крупности -200+10 мм,

– в ***глубоком обогащении*** – магнитное обогащение на аппаратах с постоянными магнитами, «сухие» методы гравитации, электрическая сепарация, селективная флотация,

– в ***химико-технологическом переделе*** – новые пиро -, химико– и биометаллургические процессы с использованием нетоксичных и малотоксичных реагентов, подготовка тонкодисперсных концентратов к металлургической плавке,

– в ***минералого-аналитическом обеспечении*** – высокоточные современные и экспрессные методы и технологии анализа вещественного состава, структуры и свойств пород, руд, минералов, технологических

продуктов, применяемые на всех стадиях работ по добыче и переработке ПИ, сертифицированные по единым стандартам.

Для труднообогатимых Mn, Cr, Fe-Ti-V и редкометалльных танталсодержащих руд ряда регионов за последнее десятилетие в ВИМСе в развитие предложенных направлений уже разработаны рациональные технологии комплексной их переработки. Аналогичные разработки выполнены и рядом других организаций как по рудному, нерудному, так и по техногенным видам МС.

ПРОБЛЕМА 2. Определение рационального комплекса минералого-технологических методов исследования различных видов МС, наряду с уже существующими комплексами минералого-аналитических и технологических методов, связано с внедрением новых методов изучения, оценки конституции и свойств минералов, позволяющих учесть специфику того или иного вида сырья. Особая роль при этом отводится глубоким минералогическим исследованиям с привлечением современных высокоточных, чувствительных и экспрессных методов, обеспечивающих выявление весьма тонких минеральных фаз на микро – и наноуровне. При этом используются прямые методы макро– и микроскопических исследований структурных, морфологических характеристик минералов, в том числе специальные виды микроскопии (электронной, туннельной, атомно-силовой), позволяющих изучать отдельные атомы и их мельчайшие закономерные группировки; тонких особенностей конституции, закономерностей изменчивости свойств минералов в практике поисково-оценочных и технологических работ [7]. В оценке минералов все более важной становится ***гетерогенность их состава и структуры***, предопределяющая необходимость оценки в технологических процессах роли весьма тонких частиц (<10-20 мкм). С появлением их, наряду с объемными преобразованиями, более значимым выявляется вклад измененных свойств поверхности, влияющих на изменчивость технологических свойств минералов [8]. Стал определяющим [9] количественный фазовый анализ как химическими, так и физическими методами в оценке минерального сырья. С ним связана оценка содержания минеральных и синтетических, кристаллических и аморфных фаз (соединений) природных и техногенных объектов. Выбор метода определяется объектом и требованиями к точности анализа, т. к. даже в одном объекте формы проявления элементов могут существенно отличаться. Так, на рис. 2 отражены особенности микронеоднородности обломков марганцевой карбонатной руды, позволившие учесть их в связи с разработкой схемы обогащения.

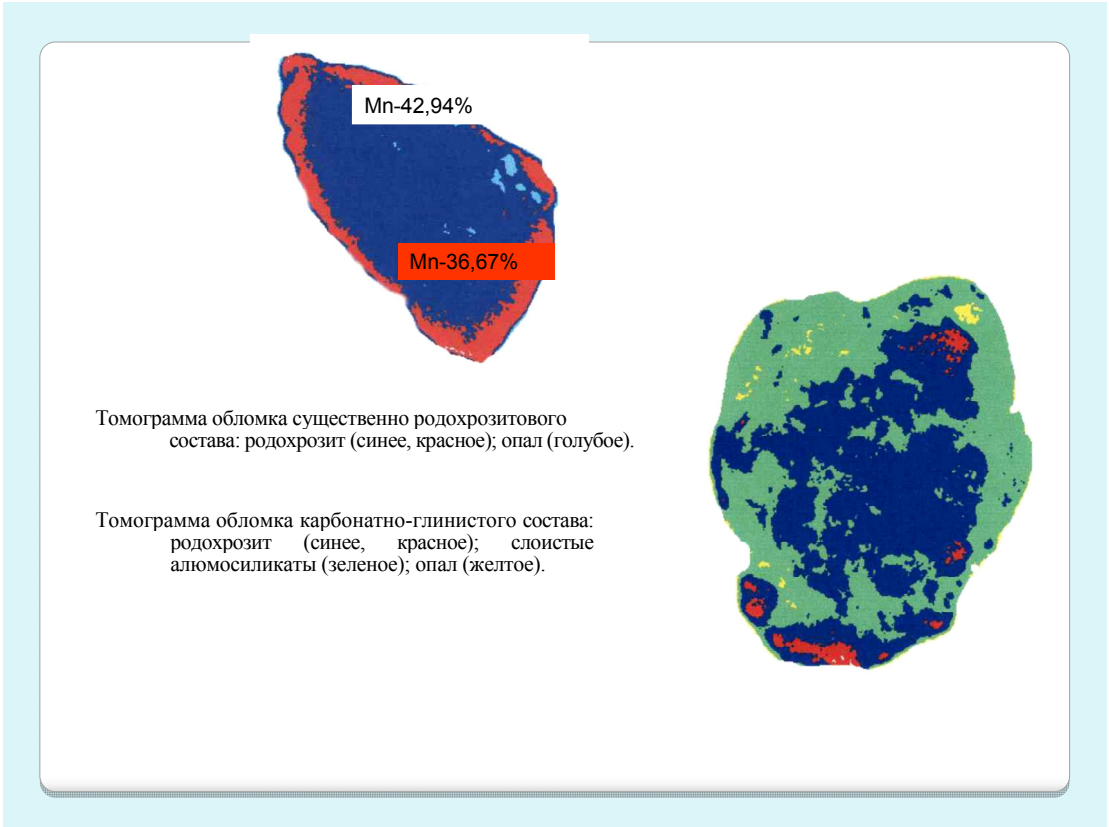


Рис. 2. Оценка неоднородности обломков карбонатной марганцевой руды Тыньиньского месторождения методом рентгеновской микротомографии (по Ожогиной Е.Г., 2002)

Весьма информативным методом фазово-структурной неоднородности магнетитов различных генетических типов железных руд является метод термомагнитного анализа (рис. 3), проведенный нами на аппаратуре и по методике, разработанной Колесниковым Л.В. (кафедра минералогии МГУ им. М.В. Ломоносова). Фазово-структурная гетерогенность фиксируется точкой Кюри минерала, проявлением пиков маггемита двух стадий выделения (*фазовая неоднородность*) и областью между кривыми нагревания и

охлаждения («*структурная» неоднородность*). Чем шире область между кривыми, тем грубее микроблочное строение индивидов, тем меньше среди них наночастиц. Аналогичную информацию, как показывают наши и другие исследования по различным видам МС, несомненно, могут нести данные ИКС, термического, магнитного и других анализов.

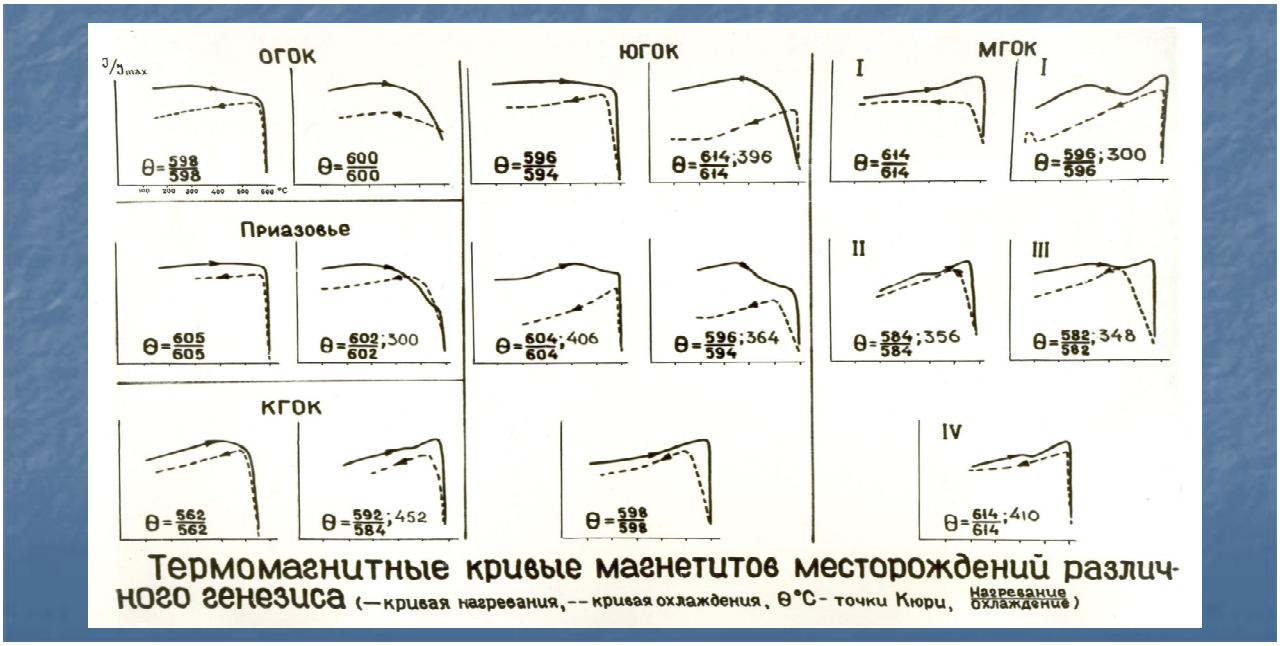


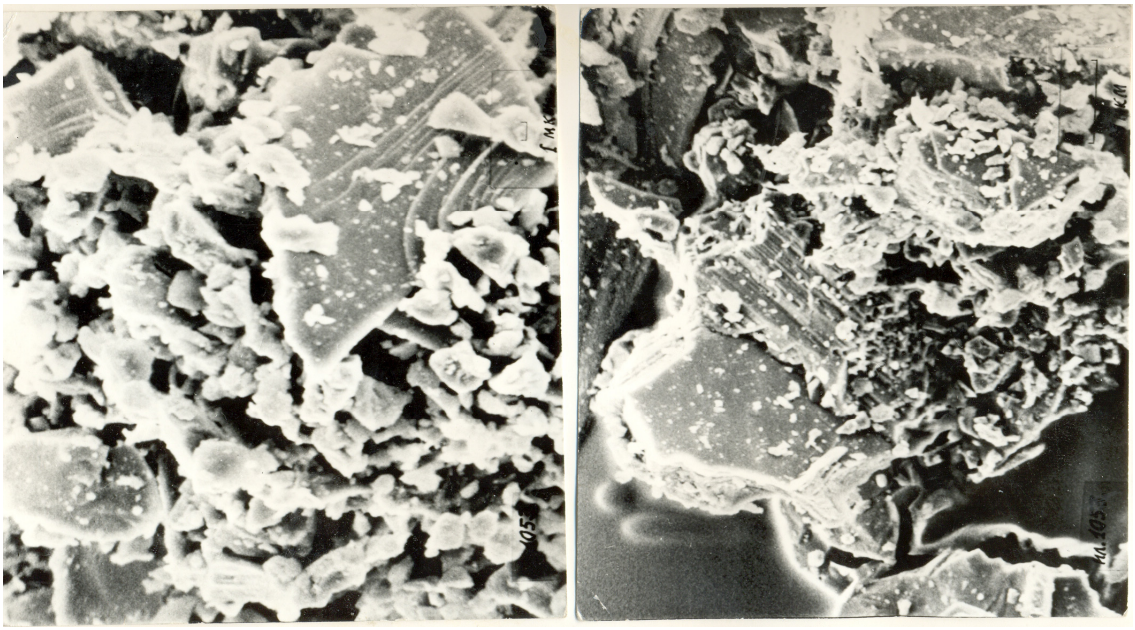
Рис. 3. Неоднородность фазового состава и магнитной структуры магнетитов различных месторождений: ОГОК – Оленегорское, ЮГОК – Скелеватское, МГОК – Михайловское, КГОК – Ковдорское месторождения

Сегодня используется высокий уровень комплексирования различных видов анализа. Достоверность оценки обогатимости МС зависит от полноты изучения вещественного состава и точности определения его технологически значимых параметров – текстурно-структурных, морфометрических, являющихся наиболее динамичными и важными, широко изменяющимися в технологическом процессе. ВИМСом [10 и др.] рекомендован комплексный подход к оценке рудных и нерудных ПИ с учетом их специфики. Одним из ведущих методов экспрессной минералого-технологической оценки выступает оптико-геометрический анализ, позволяющий при послойном сканировании объекта выявлять особенности распределения минеральных фаз, получать из автоматизированных компьютерных систем анализа изображений – морфоструктурные данные (вкрапленность в связи с гранулометрией, формой и типом срастаний с другими минералами), а также такие характеристики, как минеральный (фазовый) состав в исходном, измельченном материалах и технологических продуктах; гранулометрический состав (массовый и количественный) в тех же продуктах; начало раскрытия сростков; модальность (стадиальность) раскрытия; неоднородность минералов и степень их окисления; степень контрастности технологических свойств. По этой информации определяются: оптимальные режимы рудоподготовки с полным раскрытием рудных минералов и глубина обогащения по сочетанию механического и химико-металлургического переделов; рациональная схема обогащения, основные технологические показатели, которые могут быть получены при переработке по рекомендуемой схеме; неизбежные технологические потери. Также комплексно используются методы: РВТВ – рентгеновской вычислительной микротомографии (при послойном сканировании объекта выявляются особенности распределения минеральных фаз – форма и размеры, характер срастаний и др.), ЭМ и РЭМ, ИКС, РКФА, ЯГРС, ЯМР, ЭПР, ИТЛ, ТЭДС, КФА, термохимический, термобарогеохимический, радиографический, рентгеноспектральный, микрозондовый (протонный), люминесцентный и др. Использование онтогенического подхода в комплексе с традиционными минералогическими, а также современными физическими и физико-химическими методами анализа вещества при телесном исследовании индивидов, агрегатов минералов и ПИ в целом. Обработка полученной информации с помощью компьютера для выявления тонких особенностей конституции минералов, а также детальное изучение минеральных ассоциаций, выявление закономерностей изменчивости минералов в морфолого-структурном ряду с учетом технологических данных; получение информации о типоморфных признаках и свойствах минералов, определяющих обогатимость ПИ. ***Для рудных, нерудных, техногенных ПИ определяется свой комплекс минералогических и других методов минералого-технологической оценки с учетом их генетических особенностей и преобразований при обогащении***.

ПРОБЛЕМА 3 связана с внедрением новых методов минералого-технологических исследований в ТМ при оценке МС. Опираясь на исследования особенностей вещественного состава, текстурно-структурных признаков, физико-механических и физико-химических свойств ПИ различных генетических типов и законы минералогии, учитывая взаимосвязи и во многом подобие между процессами минералообразования (преобразования) в Природе и Технологии, данные технологических экспериментов, мы формируем наши представления о ТСМ. Внедрение в практику минералого-технологической оценки ПИ учения Д.П. Григорьева об онтогении минералов (ОМ) позволило глубже понять как природу становления, так и изменения ТСМ. Информация о свойствах локализуется на различных уровнях минералогической «памяти» – морфологическом, изотопном, молекулярном, структурном, магнитном и т.п. Минералоги и технологи должны понять характер и особенности проявления ТСМ, чтобы научиться управлять ими. Учение об ОМ вошло в основу совершенствования минералогического направления в ТМ, так как ***генезис руд (МС в целом) проявляется в качествах минералов — минерагенических признаках, «записанных в конституции, морфологии и свойствах минеральных индивидов и агрегатов»*** [11]. При этом **учитываются эволюционные закономерности развития минерального мира во взаимосвязи с живым веществом: минералов и их ассоциаций; в целом состава, текстурно-структурных признаков и свойств (*в т.ч.*, ТСМ) ПИ, формирующихся на макро-, микро – и наноуровне в различных энергетических полях (гравитационных, магнитных, электрических, полупроводниковых и др.) ЕГТС.** Они определяют основные геолого-минералогические факторы обогатимости ПИ с учетом их минералого-геохимической и экологической специализации, отражая круговорот МВ в Природе и Технологии на различных уровнях его организации: ***индивид (кристалл, зерно, частица) → агрегат (агрегат техногенных малых частиц) → рудное тело → минералогическая аномалия (отвалы пустых пород и некондиционных ПИ, хвостохранилища – техногенные МПИ) → минералогическое поле.*** Опыт показывает, что при разработке технологических схем для руд даже хорошо изученных однотипных месторождений, каждый раз приходится сталкиваться с большими трудностями, так как ТСМ при этом могут весьма существенно варьировать. Это обусловлено, прежде всего, широким спектром природной гранулометрии индивидов и агрегатов минералов, содержащих включения, примеси, нередко покрытых различными по составу пленками, подвергающимися в процессе раскрытия при дроблении и измельчении определенным механическим воздействиям. Поэтому при минералого-технологических исследованиях крайне важно использование приемов и методов ТМ на онтогенической основе, что позволит выявить и оценить ТСМ. *Познавая генезис минералов, как в Природе, так и Технологии, мы можем подойти к возможному рациональному использованию МС.* Именно ***онтогенический подход с учетом данных технологического эксперимента*** **обеспечивает*: а)*** ***оценку гетерогенности особенностей конституции*** *(состава и структуры) минералов,* ***б) выбор оптимальных условий раскрытия зерен полезного компонента,*** отражая природу срастаний – гранулометрию, форму зерен срастающихся минералов, особенности их границ и физико-механических свойств. Как показывают наши наблюдения [1988], Т.С. Юсупова и др. [2004], в конечном итоге – *особенности раскрытия минералов предопределяют пути повышения извлечения ценных компонентов руд на основе управления селективностью измельчения с сохранением геометрической целостности раскрываемых минералов и их структурно-химических характеристик*; **в) *оптимизацию технологического процесса с учетом контрастности свойств разделения минералов*** *– особенности* неоднородности состава и свойств мономинеральных зерен (выявляются при комплексном минералогическом анализе анатомии индивидов и измельченных частиц), исследовании характера и направленности изменений тех или иных качеств минералов (ПИ в целом); ***г) определение последовательности технологических операций*** с целью достижения наиболее эффективных условий разделения минералов, с учетом размерного фактора и морфолого-структурных характеристик вновь формирующихся малых частиц***;*** **д)** ***выделение при геолого-технологическом картировании типов и сортов ПИ*** с получением их всесторонней минералого-технологической характеристики, отражающей эволюцию типоморфных признаков, как минералов, так и в целом ПИ. Следует также иметь в виду, что типоморфные признаки формируются и изменяются в природном и технологическом спектрах гранулометрии. В конечном итоге, это позволяет определять направленность тех или иных процессов минералообразования и их роль в формировании основных вещественно-технологических характеристик ПИ различного генезиса. ***Исследуя морфологию, особенности конституции индивидов и агрегатов рудных минералов, срастаний с другими минералами важно выразить изменчивость и эволюцию их ТС и признаков с использованием комплекса современных методов анализа. Это позволит в конечном итоге глубже проникнуть в природу ТСМ, определить степень их контрастности при сепарации, возможности управления процессами обогащения, предложить методы селективного выделения минералов с использованием новых систем рудоподготовки и обогащения ПИ.*** С вовлечением в обогащение тонкодисперсных видов МС изменяются привычные представления о ПИ. В технологических схемах все большую роль начинает играть размерный фактор сосуществующих минералов. С одной стороны, возрастают при этом требования к уровню минералогенетической информации по выявлению минеральных фаз, характера их взаимоотношений комплексом высокоразрешающих методов, с другой, – к выбору систем рудоподготовки и рациональных способов сепарации тонких (прежде всего наночастиц). *Объектом изучения становятся все более бедные руды, разнообразные отходы обогащения и металлургии со сложным вещественным составом, требующие и более тонких методов исследований, и принципиально новых технологических решений*. В связи с этим *Ю.С. Кушпаренко предлагает проводить более глубокое изучение руд*

в рамках ***минералогической технологии*** [12]: обеспечивать определение количественных значений параметров вещественного состава технологическими методами (химическими, основными и вспомогательными в различных сочетаниях обогатительными). Дополняя прямые минералогические наблюдения, предлагаемая методика позволяет получить полную информацию по раскрываемости тонкодисперсных минералов. С использованием гидравлической классификации минеральной смеси одной крупности (при равенстве и постоянстве плотностей) доказано, что разделение будет происходить только по плотности зерен, и количество осевшего в крупную фракцию каждого минерала при полном раскрытии их взаимных срастаний будет зависеть лишь от его плотности, а при неполном – от плотности и полноты раскрытия. На примере технологической оценки обогатимости Sn и Ta-Nb руд теоретически обоснованы условия гравитационного разделения минеральных смесей и предложены границы разделения руд разной крупности на гравитационных аппаратах, способы прогнозирования возможности разделения минеральных частиц, сростков тяжелых и легких минералов. Доказана эффективность тонкого грохочения в схемах обогащения руд с тяжелыми ценными тонковкрапленными минералами, позволяющего снизить их переизмельчение, нагрузки на мельницы, улучшить процесс обогащения шламового материала и флотацию мелких частиц (<40 мкм), выделенных гидравлической классификацией. Определены условия реализации тонкого грохочения (0,5-0,07 мм) на основе отсадки: достигнуто увеличение удельной производительности в 1,5-2 раза в сравнении с вибрационными грохотами, на порядок уменьшились износ сетки, расход электроэнергии в 3-4 раза, воды на 25-30%, уровень шума и вибрации. ***В конечном итоге, контроль за изменением количественных значений минералого-технологических параметров обогащения, в связи с использованием метода минералогической технологии, отражая особенности ОМ руд, позволяет более глубоко оценивать эволюцию ТСМ.***

ПРОБЛЕМА 4. К концу XX столетия ТМ вступила в период переработки тонковкрапленных видов ПИ. Продукты измельчения при этом достигают крупности 10 мкм и менее. Возникла необходимость совершенствования методов сепарации, а как следствие, исследования морфолого-конституционных особенностей обломочных малых частиц (ОМЧ) и выявления их роли при технологической переработке МС. При этом используются достижения кристаллофизики и кристаллохимии, как это убедительно показано в монографии В.И. Ревнивцева и др. [13], посвященной ТМ ОМЧ. Опираясь на новый этап в развитии энергетической кристаллохимии и геометрической кристаллографии (открытие высокопериодичных упорядоченных структур с запрещенной осью L_5; выявление нестабильности физико-химических свойств твердых веществ в тонких пленках – двумерных кристаллах – и малых объемах – малых частицах), подобно термодинамике, авторы рассматривают достижения неклассической кристаллографии на новой ступени более широких выводов и обобщений по вопросу неравновесного состояния твердых тел. Важно, что **ОМЧ**, ***как разновидность фазового состояния вещества, родственного МЧ металлов и двумерным кристаллическим пленкам*****,** относятся к неклассическим объектам минералогических исследований. **За счет аномальности и нестабильности свойств, резко отличающихся от свойств минералов в массивном состоянии, *ОМЧ являются особой фазой.*** Авторы предлагают новый подход к изучению ***технологической онтогении минералов (ТОМ)*** и в массивных образцах: реакция минералов на внешние воздействия, прогнозирование изменчивости их физико-химических свойств, объяснение активности поверхности скола, аномальности свойств ОМЧ, взаимодействия минералов разного состава. Здесь важен кристаллофизический подход к оценке изменчивости свойств минералов с позиций кристаллографии – учения о симметрии, позволяющий устанавливать корреляционные связи между структурными и размерными параметрами минерала, с одной стороны, и границами изменчивости вторичных технологических свойств – с другой. Именно в этом и проявляется двойственная природа ТСМ, так как в технологическом процессе продолжается эволюция их генезиса, но с другими временными показателями [14]. **Симметрия творит явление –** ***основной вывод классической кристаллографии, убедительно проявляющийся в морфолого-структурных преобразованиях системы малых объектов.*** При этом искусственно наведенный за счет различных воздействий беспорядок, являющийся мощным аккумулятором избыточной энергии, создает ряд новых явлений – цепь событий на пути установления порядка. **1-й период** – *насыщенность структуры дефектами, совместно с ее аморфизацией* в диспергированных минералах, создающих существенные искажения симметрии → **2-й период** – *релаксация структуры* с повышением симметрии. Релаксация отличается дискретным характером: каждая ступень на пути к порядку выполняет роль точки бифуркации в процессе упорядочения и самоорганизации (*идет* ***цепная реакция взаимодействия структурных единиц разной масштабности – от микроуровня стереэдров до макроуровня технологического процесса***). В частности, нами [22] показано, что при тонком измельчении железных руд заметно изменяются физические характеристики магнетитов различного генезиса: точки Кюри смещаются на 10-20^{0}C, появляются новые фазы в матрице первичного минерала, маггемит, оксимагнетит), искажаются рентгенодифракционные спектры. Разрушение первичной доменной структуры кристаллов магнетита приводит к возрастанию величины коэрцитивной силы ($H_{C.}$), что в свою очередь способствует возникновению магнитных флокул и засорению концентратов нерудными минералами (рис. 4). Удельная магнитная восприимчивость ОМЧ магнетита размером менее 20 мкм оказывается резко заниженной (E. Deen, J. Davis, 1941), что приводит к потере рудных компонентов при магнитной сепарации.



А **Б**

Рис. 4. Флокулы ОМЧ ОФ МГОКа: А – крупные частицы кварца в концентрате размером 30-50 мкм, окруженные мелкими и тонкими частицами (20-3 мкм) магнетита; Б – частицы гематита и мартитизированного магнетита 20-30 мкм во флокулах хвостов, окруженные короной тонких частиц 3-5 мкм и менее ОМЧ кварца, эгирина и рудных сильно переизмельченных частиц. Увеличение 700

В нашей работе [15] также показано, что ИКС спектры магнетита не изменяются в зависимости от времени истирания пробы, а вид спектров, снятых от минералов сложного химического состава, особенно с добавочными анионными комплексами, заметно зависит от методики приготовления пробы. Это позволяет сделать вывод о влиянии концентрации свободных радикалов, возникающих при механическом истирании пробы, на изменчивость ИК-спектра [15].

В конечном итоге, ТМ ОМЧ дополняет и обогащает известные разделы общей минералогии, так как, в частности, например, в тектонических зонах рудообразования весьма значима роль измельченных активных фаз. В результате таких исследований во многом проясняется ряд вопросов природного генезиса: влияние тонкодисперсных фракций на процессы сегрегации руд, взаимосвязь изоморфизма и деформаций структуры, полиморфные превращения и двойникование как релаксация предельного уровня насыщения дефектоемкости, роль свободных радикалов в метасоматических процессах и др. Например, при исследовании уникальности поведения веществ малых объемов внутри микропор в структуре цеолитов. Здесь можно проследить аналогию со свойствами диспергированных минералов: в структуре обломочных индивидов, когда при механическом воздействии возникают предельные искажения структуры. При «мокром» измельчении возникают поры, каверны, каналы, внутри которых создаются условия для нестандартных химических превращений, обусловленных малыми объемами.

«Таким образом, аномальность свойств ОМЧ определяется целым рядом факторов, поддающихся выявлению, исследованию и измерению, а значит и управлению с помощью задаваемого набора факторов, позволяющих направленно влиять на ТС перерабатываемых минералов… Новые технологии для своего создания новых идей, новых взглядов, новой интерпретации экспериментальных данных» [13].

Дальнейшее развитие ТМ, несомненно, связано с физикой твердого тела и многими разделами металлургии и обогащения (различного вида сепарация, биотехнология, гидрометаллургия и флотация, химическое обогащение, фильтрация и др.). В то же время, технологические науки дают минералогии огромный материал по изменчивости и превращениям минералов, техногенным явлениям метасоматоза и онтогении, являясь аналогами природных реакций минералообразования.

ПРОБЛЕМА 5 тесно связана с предыдущей, ибо ***«…минералогия, раскрывая тайны мельчайших минеральных индивидов и минеральных структур, не только далеко раздвинет границы минерального мира, но и внесет весомый вклад в познание ультрадисперсного состояния вещества»*** [7]. Определяя тенденции развития минералогии на современном этапе, Н.П. Юшкин (1999) подчеркивает значение ***интервенции минералогического познания во все области естествознания***, в микромир, развитие таких направлений, как микро – и наноминералогия. Минералогия активно входит в понятия пограничья минерального мира – структурно-конституционные и пространственно-временные. «Расширяются и расплываются границы представлений о дисперсных объектах. К ним сегодня относятся не только фазовоиндивидуализированные малые и сверхмалые частицы с отчетливыми поверхностными ограничениями,

но и внутрифазные структурированные элементы (многоядерные соединения, молекулярные и надмолекулярные группировки, кластеры и т.п.), кратко живущие структурные ансамбли, биологические структуры соответствующих размеров и даже продукты нано – и микроинженерии…Современной тенденцией является распространение исследований на все более и более глубокие уровни дисперсности, переход от традиционных объектов околомикронной величины, т.е. микрообъектов, к ультрадисперсным объектам» [16]. Наиболее ярко состояние проблемы подчеркнул М. Хочелла [17] – «нанонаука это сравнительно новая область исследования, которая в основном затрагивает проблемы обнаружения и изучения свойств вещества размером 1-100 нанометров, так называемой наношкалы. Механические, электрические, термодинамические и другие свойства сильно изменяются, по мере того как физические размеры вещества входят в наношкалу, и исследователи в этой сфере только начинают систематизировать и понимать изменения свойств в этой расплывчатой области между классической (массивной) и квантовой областями». Чтобы понять особое значение мельчайших минеральных индивидов субмикронной величины и ввести понятие микроминералогии как автономного направления, связанного с особым микроиндивидным составляющим минерального вещества, потребовалось значительное время. Микромир стал основным источником открытий новых минералов, особенно сульфидов, простых веществ и т. п. На основании работ Н.П. Юшкина, А.М. Асхабова, В.Л Таусона, Р.И. Конева, В.И. Ревнивцева, В.А. Чантурии и многих др. сформулированы основные положения наноминералогии, свидетельствующие о необходимости учитывать и отражать их при характеристике минералогенетических особенностей различных геологических объектов. Об этом уже появилось достаточно много интересной информации в литературе.

Совершенно очевидно, что при изучении и оценке тонкодисперсного МС новые возможности открываются перед ТМ. В развитии ЕГТС важен учет иерархической систематики дискретного состояния вещества [18] в ряду образований: ***минерал → микроминерал → квазикристаллы → фуллерены → аморфное вещество → коллоиды → наночастицы → кластеры.*** Это позволяет по-новому подойти к минералого-технологической оценке комплексности, экологичности ПИ и отходов, разработке нестандартных методик их оценки, технологии добычи и обогащения; обеспечить разработку экономо-экологических технологий получения новых нетрадиционных видов сырья (цеолиты, сапонит, полевые шпаты, дистен, гранаты, шунгит и др.), постоянно расширяя области их применения. Здесь просматриваются новые подходы:

– с вовлечением в обогащение тонкодисперсных видов МС (труднообогатимые руды, нерудные ПИ, индустриальные минералы, разнообразные отходы) изменяется привычное представление о ПИ. В технологических схемах все большую роль начинает играть размерный фактор сосуществующих минералов. С одной стороны, возрастают при этом требования к уровню минералогенетической информации по выявлению минеральных фаз, характера их взаимоотношений комплексом высокоразрешающих методов, с другой, – к выбору систем рудоподготовки и рациональных способов сепарации тонких, прежде всего, наночастиц. ***Наноразмерные технологии предполагают изучение и внедрение механизмов извлечения ценных компонент на молекулярном, атомарном, электронном уровнях, когда появляется возможность управлять процессами на уровне формирования ПИ*** [8, 17, 19, 20 и др];

– выявление причин аномального поведения и дискретной изменчивости свойств ОМЧ;

– инверсии их активной фазы в пассивную при достижении закритических значений размерных, структурных и временных параметров, позволяющих создавать новые технологические операции, вызывающих как активацию, так и необходимую в ряде случаев пассивацию минеральной шихты: например, при транспортировке или сушке сыпучих материалов [13];

– исследования эволюции ТСМ и поведения техногенных фаз свидетельствуют о двух основных механизмах изменений – полиморфном и изоморфном [21]. Наиболее четко оба механизма превращений противопоставляются в техногенезе. При этом полиморфный механизм превращений представляет собой не химические, а симметрийные реакции минералов. В случае формирования ТСМ за счет полиморфных превращений энергия тратится на разупорядочение решетки, и структура превращается в низкосимметричную фазу, как это было показано нами [22] для морфотропного ряда оксидов для Fe руд. Авторы подчеркивают – с понижением симметрии возрастают примесная емкость структуры и реакционная активность полиморфных фаз. На примерах рядов сульфидов и оксидов они показывают, что полиморфные модификации существенно различаются по своим физическим свойствам: плотности, твердости, оптическим характеристикам. Это позволяет фиксировать при измельчении руд на ГОКах превращения: магнетит – гематит, сфалерит – вюртцит и др. Механизм нормального изоморфизма не связан с резким изменением в энергетике структур, предопределяя путь монотонного изменения физических свойств минералов. Нередко в макрокристаллах развит наноблочный изоморфизм [23]. Он образует новый мир структур и морфологически упорядоченных объектов, находящихся в дальнем порядке структурообразующих частиц (механически захваченные в процессе роста наноиндивиды; в виде структур распада твердых растворов; в межзеренных и границах субиндивидов; в агрегатах и надмолекулярной упорядоченности наноструктурах аморфных веществ и др.). Конституция и форма наноиндивидов определяется только внутренними факторами и практически не зависит от внешних воздействий. Этот вид изоморфизма важен при решении проблем полного извлечения полезных компонентов из руд, получения новых видов минерального сырья, при оценке показателей обогащения руд различных генетических типов. Несомненно, выбор режимов обогащения руд различных генетических типов предопределяют оба явления. Практика работы ГОКов также показывает, что на эффективность процессов сепарации многих руд может оказывать отрицательное влияние любой минерал (или группа минералов), даже в

небольшом количестве, ухудшая показатели обогащения [22, 24 и др.]. Например, появление слоистых силикатов (тальк, хлорит, слюды) от десятых долей до первых процентов отрицательно сказывается на флотационных свойствах рудных минералов из скарновых W-Mo руд. В Fe-P рудах появление 0,5-1,5% гипса подавляет флотацию апатита и т.д.

– в технологических операциях существенно возрастает осознание роли поверхностей или приповерхностной области S наноминерального вещества [8]. Высокая степень поверхности (площади поверхности) обеспечивает весьма специфические характеристики сепарируемым минералам, которые и обусловливают непредсказуемый потенциал нанотехнологиям, в т.ч. и процессах обогащения. Это связано с проявлением необычных физических, химических и механических свойств наноминералов, изменяющих кинетические и динамические характеристики. Для нанообъектов характерно другое время протекания процессов и явлений: в силу особых физико-химических и геометрических характеристик возрастает «быстродействие». Прослеживаются [8] временная зависимость параметров системы частиц и случайный характер их образования предполагает наличие дуализма наносистем;

– разработаны новые технологии извлечения тонкого золота на основе нанотехнологий [8, 25 и др.]. Б.А. Остащенко показана, в отличие от традиционного технологического подхода, возможность создания поверхностного заряда у минералов, сопутствующих Au в концентрате, что послужило основой для разработки способа его термоэлектрической сепарации. В процессе эксперимента выяснилось, что равновесие на поверхности минерала, обусловленное адсорбцией OH^-, H^+, O^-, CO^-, C^-, можно сдвинуть в ту или иную сторону самыми различными способами, в том числе нагреванием, облучением и др. Масспектроскопические и манометрические исследования выявили, что поверхность минералов шлиха (концентрата) в обычных условиях покрыта ионами OH^-. В результате нагревания они уходят с поверхности силикатов при 220°С и оксидов при 400°С [8]. Т.к. ОН-группы имеют отрицательный заряд, то с их удалением поверхность минеральной частицы становится заряженной положительно. При этом на поверхности образуется нескомпенсированный заряд $\mathbf{Q_s}$. У золота и алмаза при этой температуре величина заряда близка к нулю. Извлечению частиц минерала размером 1-5 мкм мелких и тонких классов концентрата в экспериментах составило 99-100%. Б.А. Остащенко разработана также технологическая схема гравитационного обогащения Au класса –200+40 мкм. Использование при этом метода «изометризации» пластинчатого Au (с образованием валиков по краям золотин и формированием тороидальных частиц) позволило повысить его извлекаемость в концентрат на 25%. Ему же удалось повысить качество лейкоксенового концентрата с 50-52% до 80,82% TiO_2 без изменения основных режимов и оборудования за счет изменения магнитной восприимчивости минерала при ультразвуковом облучении. Особенности минерального состава руд позволяют выбирать наиболее оптимальную методику для определения в рудах истинного содержания благородных металлов и на этой основе разрабатывать рациональную технологию обогащения;

– разработанные методы получения наноминералов (плазменный; осаждение из газовой фазы, включая диссоциативную фотосорбцию; синтез из гелевых растворов; электроосаждение; ударное и электроимпульсное измельчение; природное образование) сегодня становятся составной частью технологии комплексной переработки природного и техногенного МС. Здесь особую роль играет энергетика. Огромные возможности энергии поверхностных процессов просматриваются в адсорбофизических методах сепарации, базирующихся на исследованиях кристаллохимических и кристаллофизических процессов в гетерогенных системах под влиянием различных воздействий [8];

– разнообразные ***методы вибромеханической активации руд перед обогащением***, обеспечивающие селективность раскрытия руд преимущественно по границам срастаний минералов или отдельных кристаллических блоков (в частности, 20 мкм); ***гидрофобный метод выделения минералов*** *(на стыке флотации и полиградиентной магнитной сепарации)*, позволяющий эффективно извлекать в магнитную фракцию магнитные и слабомагнитные минералы; ***использование мощных электромагнитных импульсных воздействий*** (МЭМИ) при переработке упорных золотосодержащих сульфидных руд и продуктов обогащения и др. На примере индустриальных минералов Карелии сотрудниками Института геологии Петрозаводска [26] разработана серия методов направленного изменения их технологических свойств (магнитных, люминесцентных, свойств поверхности, ультразвуковых и др.), обеспечивших повышение эффективности технологий обогащения, прежде всего, нанотехнологий. С позиций ТМ оценено влияние на процесс обогащения удаления газово-жидких включений при термообработке, СВЧ-излучением, воздействием мощных электромагнитных импульсов и радиационным излучением; – технологами предложены самые разнообразные направленные изменения физико-химических свойств минералов в процессах обогащения ПИ. При направленном изменении свойств минералов на макро-, микро – и наноуровне возможно воздействовать как на сам минерал, так и среду. При различных видах энергетического воздействия с учетом типоморфных особенностей ПИ, возможно, направленно преобразовать их ТС, выбрать оптимальный способ модификации, изменив целенаправленно контрастность сепарируемых минералов и оптимизировав схему обогащения [23].

В заключении поднятой сложной и во многом спорной проблемы следует подчеркнуть – будущее ТМ – в развитии нанонотехнологий различных видов тонкодисперсного МС.

ПРОБЛЕМА 6. Роль технологической минералогии в решении задач комплексного использования минерального сырья при добыче и переработке была детально рассмотрена на заседании комиссии ТМ в Петрозаводске в 2007 г. [27]. При этом акцентировалось внимание на комплексной переработке различных видов МС. Нами *особо подчеркивалось, что ТМ ПИ следует рассматривать по целому ряду направлений как систему оценки их комплексности (рис. 5)*.

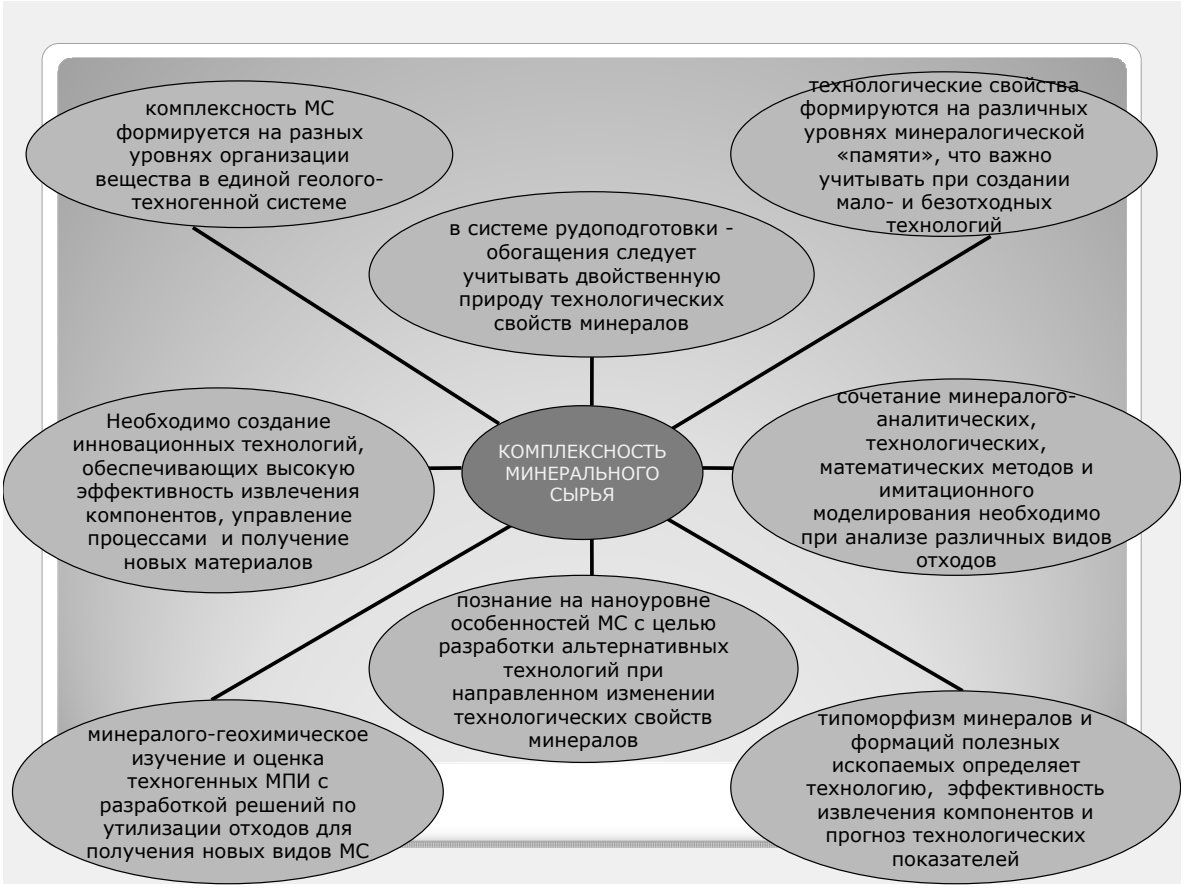


Рис. 5. .Принципы системы комплексности минерального сырья

Это связано: с разработкой научно-теоретических принципов комплексности МС; выявлением типоморфных признаков, определяющих природу и изменчивость ТСМ в связи с их переработкой; с внедрением комплекса минералого-технологических и физико-химических методов анализа; выявлением и созданием новых видов МС с учетом наноминералогии и разработкой альтернативных технологий; минералого-геохимическим изучением техногенных МПИ, с разработкой комплексных решений по утилизации отходов для получения новых видов МС.

На семинаре были рассмотрены наиболее актуальные вопросы системы ТМ в связи с комплексным освоением МС по следующим направлениям:

– фундаментальные и прикладные исследования при решении проблем ТМ в процессе изучения ПИ как основы оценки их комплексности,

– роль ТМ в решении задач комплексного использования различных видов МС в разных регионах РФ с учетом экологических последствий в окружающей среде,

– возможности современных методов ТМ при оценке МС,

– проблемы комплексной переработки природного МС,

– исследование структурных изменений минералов в процессах технологической переработки.

Особо подчеркивалось, что ***КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МС – ЭТО ПУТЬ К ИННОВАЦИОННЫМ РЕШЕНИЯМ.*** В частности, В.В. Щипцов, рассматривая роль ТМ при оценке многоцелевого использования индустриальных минералов Республики Карелия, отмечал, что – ***комплексное использование сырья в зависимости от конкретной цели можно рассматривать обособленно на любой стадии производства готовой продукции*** **(не только на завершающей стадии).** ***Развитие комплексного использования МС*** **позволяет экономически эффективно вовлекать в эксплуатацию** ***более бедные по содержанию ценных компонентов руды*** **и, таким образом,** ***существенно расширяет ресурсы недр, непосредственно оказывает влияние на параметры всех стадий производства, включая геологоразведочные и добычные работы.*** **Применительно к недрам Земли** ***экономически оптимальный уровень комплексного использования сырья можно выявить только в рамках системного подхода, при учете всех стадий производства при междисциплинарном или мультидисциплинарном подходе.*** Как показала Т.З. Лыгина [27], очень важны сегодня инновационные проекты при комплексной переработке неметаллических ПИ (НПИ). Ею *предложена стратегия нового концептуального подхода к минералого-технологическому изучению НПИ* (по блокам), обеспечиваемому: 1) высоким уровнем технологической оценки руд на разных стадиях ГРР (*блок А*); 2) управлением качества передела руд – формированием технологических типов сырья с

заданными свойствами и усовершенствованием процессов обогащения с помощью распознавания устойчивых минеральных ассоциаций – природных типов по экспрессно определяемым параметрам (*блок Б*); 3) направленным изменением ТСМ, горных пород и руд путем разработки рациональных схем извлечения ПИ, их модификации и облагораживания (*блок С*). На рис. 6 приведена одна из схем, предложенной стратегии. Она отражает систему, с помощью которой улучшаются физико-химические характеристики сырья при различных способах переработки: *механоактивация и модификация в энергонапряженном режиме, электрохимическая активация* (применение активированной воды и электрокинетического обезвоживания) *пульсационное, лазерное обогащение, крио-термическое воздействие* и др. За счет воздействий происходят существенные изменения в структуре всех минеральных фаз породы (перестройка структуры, дефекты, изменение цвета и т. д.), что существенно отражается на их полезных свойствах, обусловливая расширение сфер использования МС.



Рис. 6. Перспективные технологии комплексной переработки НПИ [27]

Несомненно, новая методология комплексной оценки НПИ, в том числе и техногенных, обеспечивает рациональное комплексирование минералогических исследований и перспективных технологий их переработки, повышают качество ГРР, полнее используя богатства недр и увеличивает их инвестиционную привлекательность.

Весьма значима сегодня возможность комплексного использования титаноксидного сырья Республики Коми (Ярегское, Пижемское месторождения). Здесь большое значение имеют исследования в области создания нанофаз диоксида Ti для решения многих практических задач (фотокатализаторы в самоочищающихся покрытиях, для очистки воды и воздуха от токсических органических веществ и др.). С вовлечением в технологические схемы индустриальных наноминералов, как нового типа сырья, О.Б. Котовой и А.В. Понарядовым [28] рассмотрены механизмы формирования наноразмерных образований на примере тубулярных наноструктур анатаза (рис. 7). Нанотрубки синтезируются гидротермическим методом. При щелочном воздействии (рис. 7-2) на частицы оксида Ti происходит структурная перестройка поверхности с образованием тубулярных наноразмерных индивидов.

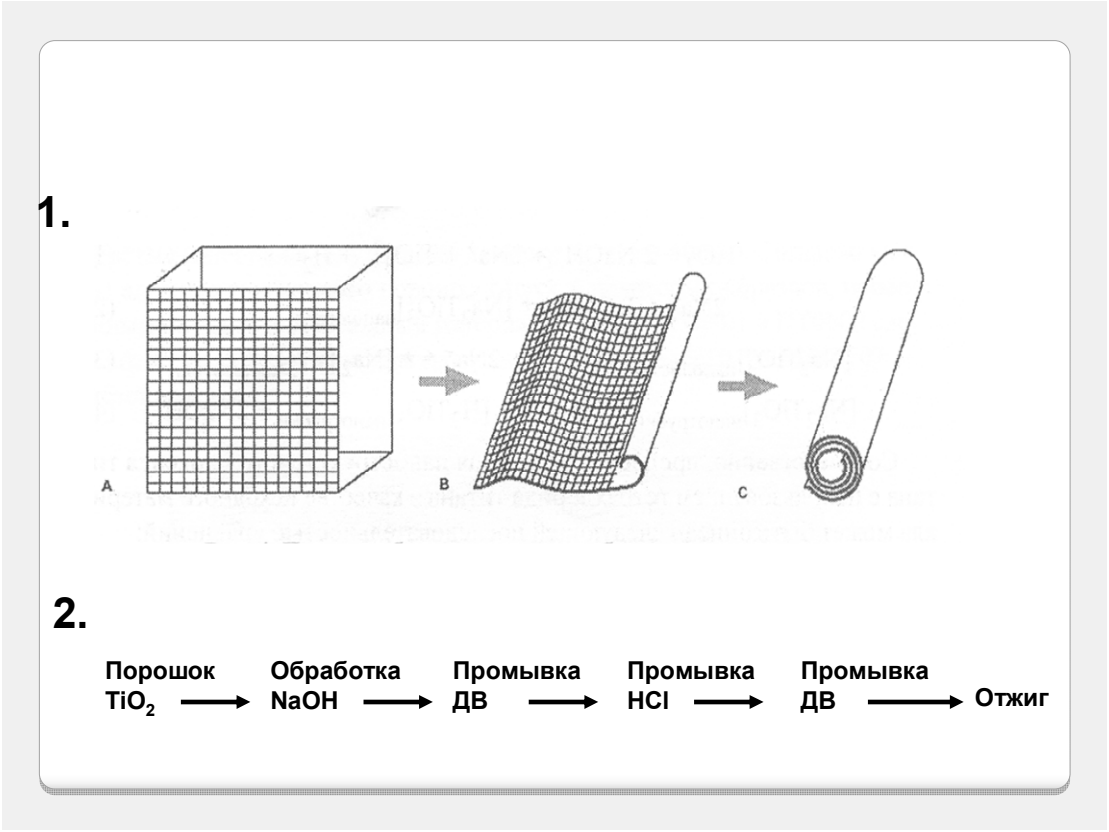


Рис. 7. Процесс образования нанотрубок диоксида титана (1) и схема его синтеза (2). Построено по материалам работы [28].

Обратный процесс перестройки трехмерного кристалла в одномерную наноструктурную систему связан с фазовыми переходами: *диоксид титана анатазной или рутильной модификации (3D – рис 7,1A)* → в щелочном растворе расслаивается в листы (2D – рис. 7,1B) → *за счет оборванных связей листы сворачиваются в нанотрубки одномерной структуры (1D – рис 7,1C).* Процесс перехода 2D → 1D может приводить к формированию двух видов нанотрубок: концентрических и спиральных – неконцентрических (Wang et al., 2002). В целом особенности наноструктурной перестройки определяют физики-химические свойства поверхности, а нановключения на поверхности – условия протекания реакций окисления простых молекул газовой фазы. Это в конечном варианте получает конкретное практическое применение.

Определяя в целом актуальность проблемы комплексного использования МС, следует еще раз подчеркнуть *необходимость применения методов и методологии ТМ на базе принципов системного похода к минералого-технолого-экономическим оценкам природного и техногенного МС* с учетом экологии окружающей среды.

ПРОБЛЕМА 7. Эта проблема нашла воплощение **в развитии основ школы** ВИМСа [29] **по научному обеспечению минерально-сырьевой базы страны – непрерывное** (от самых ранних ГРР до передачи МПИ в эксплуатацию) **и комплексное** (геология → аналитика → минералогия → технология → экономика) **изучение минеральных образований**. В основу системы были положены разработки методических рекомендаций по прогнозированию технологических свойств на ранних стадиях изучения недр с использованием имеющейся геологической информации, текстурно-структурных и минералогических характеристик. **Используя результаты геофизических, геохимических работ и шлихового опробования, минералоги и технологи обеспечивают достаточно полную характеристику** вещественного состава оруденения, идентификацию минералов-концентраторов, определение их гранулометрии; прогнозную оценку комплексности; выявление экологически вредных компонентов; **принципиальную возможность применения основных методов механического обогащения при сопоставлении различий в физических свойствах минералов ценных компонентов и породообразующих; установления прогнозных качественно-количественных показателей обогащения с использованием метода аналогии по обогащению руд данного геолого-промышленного типа в промышленных условиях.** В целом, на ранних стадиях геологического изучения недр **система включает** следующую последовательность работ: **прогнозирование масштабов месторождения и качества ПИ** при предварительном отнесении рудного объекта к конкретному генетическому (формационному) типу по геологическим и геолого-промышленным классификациям) → **возможное прогнозирование технологических показателей** при получении первых сведений о вещественном составе потенциального ПИ (содержание элементов, номенклатура основных рудных минералов) на основе БД по имеющимся математическим моделям (с использованием уравнений множественной регрессии, выведенных при ГТК аналогичных объектов) →

прогнозная технологическая оценка по данным ГТК новых горизонтов, флангов и участков известных или новых аналогичного состава месторождений (при ГТК накапливается большое количество значений параметров вещественного состава, а также технологических, технолого-экономических критериев, характеризующих свойства руды, в т.ч. суммарная абсолютная и относительная потенциальная ценность – для характеристики руды до начала технологических экспериментов и извлечение ценных компонентов, комплексность использования, извлекаемая ценность, относительная измельчаемость руды) → **технологическая оценка с достаточной степенью достоверности приемами и методами ТМ на более поздних стадиях геологического изучения недр прогнозных ресурсов категории P_1 и запасов категории C_2 → технологическая оценка руды при наличии информации о контрастности** (по разделяющим параметрам вещественного состава – плотности, содержанию тех или иных элементов, активности) **не по отдельным минералам или рудным комплексам, а по кускам руды «машинной» крупности** (крупнее 3-8 мм).

Таким образом, на ранних стадиях ГРР изучения недр по мере накопления информации с учетом стадийности обогатимость руд прогнозируется: 1) путем соотнесения генетических данных потенциального месторождения с основными их геолого-промышленными типами, 2) по элементному составу потенциальных руд и ожидаемой номенклатуры ценных минералов с использованием БД, 3) на основе состава и гранулометрической характеристики ценных минералов.

В исследованиях ВИМСа [30] показана высокая эффективность ТМ при экспрессной оценке руд на ранних стадиях ГРР до обоснования схем их переработки на основе глубокого и всестороннего знания вещественного состава в широком понимании. Причем, ведущая роль в комплексе принадлежит методам количественного фазового анализа (*чувствительных, достоверных, высокопроизводительных*), способных обеспечить минералого-технологическое картирование, *экспрессных* – для выполнения оперативного контроля технологического процесса, оценки качества конечных продуктов, в т.ч. попутно получаемых (кварц, полевой шпат, слюды и т.д.). По рекомендациям НСОММИ разработаны и внедрены в практику комплексы экспресс-методов для различных видов ПИ, а также экспрессная технологическая оценка путем поиска аналога технологической пробы по минеральному составу исследуемой руды. Так, для оловянных руд разработана на основе банка данных автоматизированная система экспрессного прогнозирования технологических схем (как прототип для различных видов МС). Это позволяет частично заменить экспериментальные работы по созданию технологии обогащения руд (А.Н. Еремеев, Н.Н. Смирнова, В.П. Борискин). Для прогнозной оценки обогатимости руд на ранних стадиях ГРР (поиски, оценка), МТК месторождений, технико-экономических расчетов при различных вариантах их отработки (Г.В. Остроумов, Л.А. Грекулова, В.А. Рубцов) перспективны математические модели (зависимости с помощью расчетов на ЭВМ показателей извлечения полезных компонентов в технологические продукты от содержаний значимых параметров вещественного состава руд). Опыт многолетних минералого–технологических исследований ВИМСа обобщен в методических указаниях «Виды и последовательность минералогических исследований для обеспечения технологических работ» (В.П. Борискин, Г.А. Сидоренко, Л.К. Пожарицкая и др., 1990). Эти работы получили дальнейшее развитие и в разработках других организаций.

Среди проблем ТМ, решаемых на современном ГОКе сегодня, необходимо выделить, прежде всего, такие:

– усреднение руд и технологический прогноз,

– система контроля за процессом рудоподготовки и обогащения,

– совершенствование рудоподготовки и технологической схемы обогащения руд,

– рациональное, комплексное использование МС и охрана окружающей среды.

Нами подробно рассмотрено состояние этой проблемы для железных руд в специальной работе [22]. Несомненно, кроме поднятых вопросов много других. Несомненно, различные аспекты дальнейшего их развития будут способствовать интенсификации использования природных ресурсов различных регионов РФ.

ПРОБЛЕМА 8. Эта проблема специально обсуждалась на Всероссийском семинаре «Геолого-технологическое моделирование месторождений» 6-8 июня 1992 г. в г. Санкт-Петербурге [31]. Всесторонне были рассмотрены вопросы теории и практики геолого– технологической оценки руд месторождений разных генетических типов (в том числе и техногенных). И сегодня эта проблема остается актуальной, так как развитие системы геолого-технологического моделирования (ГТМ) при картировании МПИ различных генетических типов ПИ весьма значимо на современном этапе исследований в ТМ. Ведь *пространственная* (объемная) *модель* отражает закономерное изменение разнообразных технологических характеристик и свойств ПИ, выраженных в виде показателей их обогащения, в объеме рудных тел, минералого-технологических типов и сортов руд, с помощью методов математической статистики. Для каждой стадии геолого-разведочных работ рассматриваются разные способы моделирования [24]: *для ранних стадий* – на основе генетических связей между генетической природой ПИ и их технологическими свойствами, *для поздних* – по выявленным количественным закономерностям зависимости показателей переработки от вещественного состава ПИ в форме таблиц, графиков, уравнений, изолиний на геологическом графике в объеме рудных тел Обычно ГТМ завершает ГТК и является составной частью экономической модели предприятия, как подчеркивалось на семинаре (Курманаев Р.Г. и др.). Семинар показал, что в проблеме ГТМ используются разные подходы и методы. Нами [32] проблема ГТМ рассмотрена на примере комплексных железных руд КовдорГОКа. Внедрение ЭВМ и компьютерной техники в практику ГРР, несомненно, обусловило значимый прогресс в повышении эффективности и достоверности обработки и оценки получаемой геологической,

минералогической, геохимической, технологической и других информаций. Использование этой информации, опирающейся на различного рода модели природных геологических объектов особенно важно при геолого-промышленной оценке ПИ современных горнорудных предприятий. *Специфика получаемой геолого-технологической информации состоит в том, что она отвечает различным методологическим признакам.* **Вся геологическая информация** (о геолого-структурной позиции месторождения и его литолого-фациальной природе, о характере минералого-геохимической зональности, парагенетических ассоциациях минералов, особенностях онтогении и конституции минеральных тел и собственно минералов и др.), **определяющая особенности вещественного состава руды и пространственно-временные закономерности его изменения, *ретроспективна* и *опирается,* как правило, на *топоминералогическую модель* минералообразования. *Информация о показателях обогащения руды,** полученная при технологическом эксперименте, **отражает динамику преобразования *характеристик вещественного состава* при рудоподготовке** (дробление, измельчение – раскрытие минеральных фаз) ***и разделении измельченного материала при сепарации различными методами с концентрацией полезных минералов (компонентов) руды и сбросом отходов** (хвостов, промпродуктов)**. Совмещение информации ретроспективной геолого-генетической модели месторождения *с динамической вещественно-технологической* в единую ГТМ связано с определенными трудностями.** Важно ввести в такую модель ***типоморфные геолого-структурные и минералого-технологические признаки***, на основе которых может быть дана геолого-технологическая оценка ПИ, обеспечен прогноз обогатимости и управление технологическим режимом в условиях ГОКа.

Опираясь на теоретические основы ТМ [33], следует иметь в виду, что для ГТМ важно учитывать следующие положения [32]:

– *двоякую природу ТСМ*: с одной стороны, они определяются взаимосвязью с генезисом, конституцией и морфологией минералов; с другой – изменением морфологии, конституции и, как следствие, свойств при рудоподготовке и обогащении. Поэтому, многие первичные свойства минералов (руд) могут быть изменены существенно за счет преобразования их природной гранулометрии – переизмельчения, ошламования и флокуляции измельченных частиц, глубоких структурно-фазовых преобразований и др.;

– *ТСМ формируются в сложной природно-техногенной системе: месторождение → фабрика → хвостохранилище*, в которой под действием техногенных процессов происходят изменения первичной концентрации и рассеяния полезных компонентов. Учитывая, что поведение минералов в этой системе подчиняется вероятностно-детерминированным процессам, возможно широкое применение ЭВМ для оценки, прогноза обогатимости и управления технологическими процессами на основе ГТМ месторождения:

– *в основе моделирования – ГТК месторождения, опирающееся на типоморфные признаки обогатимости минералов (руд)*. При этом программа для ЭВМ позволяет достаточно корректно увязать параметры вещественного состава (типоморфные признаки) и показатели обогащения руд в статистическую модель прогноза;

– *завершающий этап модели должен учитывать экономическую и экологическую оценку всех видов продуктов, в том числе отходов, в связи с мало– и безотходной технологией.* Попутные продукты горнорудного производства нередко являются качественно новым видом сырья, позволяющим получать материалы с новыми свойствами, значимо снижать стоимость основной продукции.

Конечным результатом ГТК является пространственно – цифровая модель месторождения, которая на основе его геолого-структурной позиции с максимальной достоверностью отражала бы все особенности изменения вещественного состава руд, проявляющиеся в их технологической неоднородности. При этом всю необходимую информацию геолог получает на основе анализа его модели. Важным является тот факт, что вся геолого-технологическая информация имеет точную координатную привязку. Это относится как к этапу полевого отбора минералогических и технологических проб, так и характеристикам и свойствам объекта, которые выявляются и оцениваются в результате обработки и интерпретации всего комплекса исходных данных.

На основе геолого-технологической модели, как это четко показывают наши исследования [22, 32] по бадделеит-апатит-магнетитовым рудам Ковдора, можно управлять технологией процесса обогащения с учетом рационального и комплексного использования ПИ. Как отмечалось выше, модель строится на системе ретроспективного комплексного минералогического исследования и эксперимеральных технологических данных. В ее основу положены следующие принципы:

– *все минералы – продукт единых, взаимосвязанных процессов, поэтому их изучение проводится комплексно, с учетом основных минеральных ассоциаций;*

– *изменения в физико-химическом состоянии минералогической системы фиксируются и изучаются на разных уровнях: месторождение (зональность) → руда (рудное тело) → минерал (агрегат – индивид);*

– *пространственное распределение парагенетических ассоциаций минералов, контролируемых структурными факторами (апатитизация руд приурочена к линейным разрывным нарушениям, а карбонатизация – к кольцевым, предопределяя полярность протекания этих процессов на месторождении);*

– *онтогенический подход к минералого-технологической оценке руд, позволяющий: установить последовательность выделения и характер взаимоотношения минералов, исследовать закономерности развития процессов минералообразования, а в конечном итоге оценить эффективность раскрытия минералов при обогащении и охарактеризовать контрастность их технологических свойств;*

– типоморфные минералого-генетические факторы, определяющие обогатимость, являются основными критериями ГТК; 6 – при рудоподготовке и обогащении природно-обусловленные технологические свойства минералов (руд) нередко существенно изменяются (не все в одинаковой степени), поэтому, проникая в суть закономерностей, формирующих технологические свойства руд и связь их с конституцией минералов, очень важно придать последней четкий физический смысл.

Сложная и многостадийная генетическая природа руд, а также существенное изменение свойств при рудоподготовке и обогащении обусловили в целом различия между минералого-технологическими сортами 3-х главных компонентов (магнетита, апатита, бадделеита), что осложняет усреднение руд, технологический прогноз и систему контроля за процессами рудоподготовки и обогащения. Внедрение ЭВМ (алгоритм геолого-тенологического моделирования месторождения – рис. 8) [32] обеспечивает объединение геолого-технологических планов в единую модель с привлечением дополнительных характеристик руды: содержаний Fe, P_2O_5, S и др. Геолого-технологические планы по каждому из видов сырья в совокупности со вспомогательной информацией по руде составляют важнейший информационный модуль (базу данных), по которому ЭВМ строит образ цифровой модели месторождения. Остальные модули и блоки носят вспомогательный, обслуживающий характер на основе расчетных показателей. Так, модуль прогноза и управления технологическими процессами обеспечивает расчет соотношения технологических сортов руд с учетом промышленно-важных компонентов для усреднения руды в цикле *карьер → усреднительный склад → усреднение на ОФ* с целью достижения рационального режима технологического оборудования и стабилизации показателей переработки. Модуль контроля за процессами рудопоготовки и обогащения позволяет фиксировать и корректировать нарушения технологического процесса, вызванные объективными (изменение природных условий, износ оборудования, переход на новые реагенты и пр.) и субъективными факторами (нарушение технологических режимов, несоблюдение направлений добычных работ и пр.).

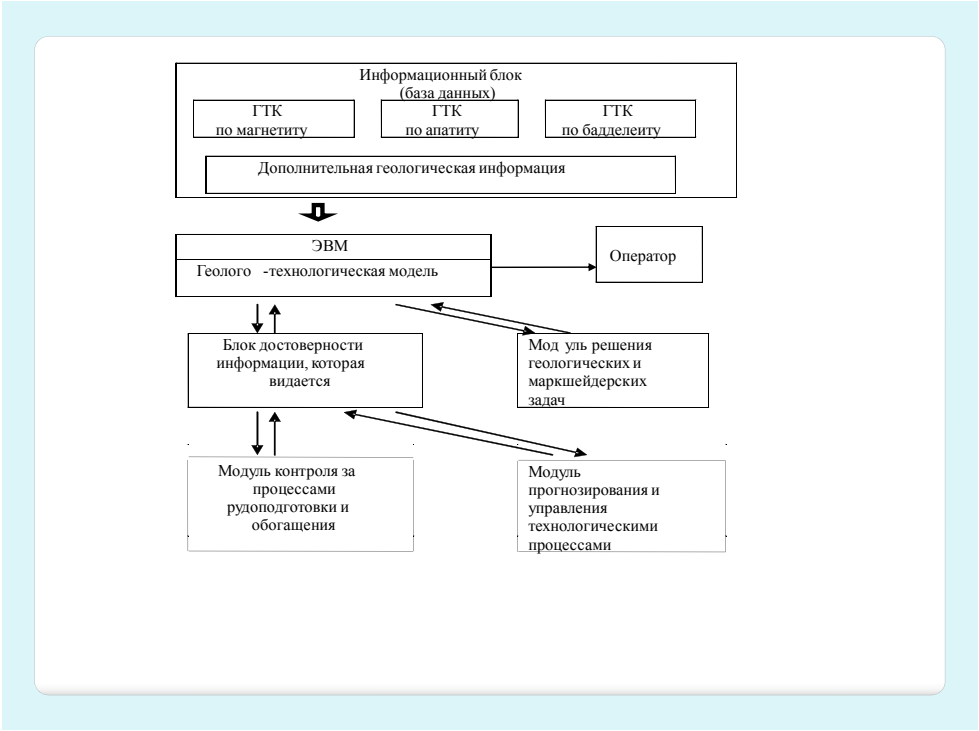


Рис.8. Схема алгоритма геолого-технологического моделирования комплексных магнетитовых руд Ковдорского ГОКа

Модуль решения геологических задач обеспечивает автоматизированное выполнение рутинной работы: подсчет запасов, построение погоризонтных геолого-маркшейдерских планов, ведение геологической документации и т. д. Вся цифровая расчетная информация проходит через блок оценки ее достоверности, что позволят оператору оценить ее значимость и ввести необходимые коррективы.

В условиях рыночной экономики ГТМ приобретает особое значение для всех стадий ГРР, т.к. позволяет оценить перспективы действующих предприятий, обоснованно выбрать объект для разведки и последующей разработки [24]. Необходимо подчеркнуть, что результаты ГТК месторождений сегодня используются для решения широкого круга задач: рационализации работы горных, геологических и технологических служб ГОКов в связи с усреднением руд перед подачей на ОФ, оценки сырьевой базы комбината (в том числе комплексности), разработки автоматизированных систем управления производством (АСУП). На основе последней, с помощью ГТК, можно проводить разные виды оперативного и перспективного планирования, контролировать работу ГОКов. Это требует постоянного совершенствования системы ГТК.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ларичкин Ф.Д.* Методические особенности оценки экономической эффективности комплексного использования минерального сырья // Север и рынок. 2000. № 2. С. 92-99.

2. *Овчинников Л.Н.* Прикладная геохимия. М.: Недра, 1990. 248 с.

3. *Юргенсон Г.А.* Проблемы минералогии геотехногенеза // Роль минералогических исследований в решении экологических проблем (теория, практика, перспективы развития). М.: РИЦ ВИМСа. С. 200-202.

4. Новые минерально-сырьевые металлургические комплексы России (отв. ред. Г.А. Машковцев) М.: ВИМС, 2007. 44 с.

5. *Пирогов Б.И.* Геолого-минералогические факторы, определяющие обогатимость железистых кварцитов. М.: Недра, 1969. 240 с.

6. *Барский Л.А., Данильченко Л.М.* Обогатимость минеральных комплексов. М.: Недра, 1977. 239 с.

7. *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.

8. *Котова О.Б.* Поверхностные процессы в тонкодисперсных минеральных системах. Екатеринбург: УрО РАН, 2004. 194 с.

9. *Сидоренко Г.А.* Современный фазовый анализ как средство оценки качества и обоснования путей технологической переработки минерального сырья // Обогащение руд. 1996. №1. С. 32-35.

10. *Ожогина Е.Г., Рогожин А.А.* Применение комплекса минералого-аналитических методов для технологической оценки руд черных и цветных металлов // Разведка и охрана недр. 2005. №4. С. 33-36.

11. *Григорьев Д.П.* Позиции онтогении минералов // ЗВМО. 1978. Ч. 107. В. 4. С. 407-415.

12. *Кушпаренко Ю.С.* Минералогическая технология – новое направление изучения вещественного состава минерального сырья. М.: РИЦ ВИМСа, 1997. 40 с.

13. *Ревнивцев В.И., Доливо-Добровольская Г.И., Владимиров П.С.* Технологическая минералогия обломочных малых частиц. СПб.: Наука, 1992. 248 с.

14. *Владимиров П.С., Доливо-Добровольская Г.И.* Роль малых частиц при технологической переработке минерального сырья // ЗВМО. Ч.115. Вып. 2. 1986. С. 166-172.

15. *Пирогов Б.И., Холошин И.В.* Инфракрасные спектры поглощения магнетита и их прикладное значение // Минерал. журн. 1989. № «. С. 73-80.

16. *Юшкин Н.П., Ракин В.И.* Микро– и нанодисперсные структуры минерального вещества // Сыктывкар: Геопринт, 1999. 216 с.

17. *Конеев Р.И.* Наноминералогия золота эпитермальных месторождений Чаткало-Кураминского региона (Узбекистан). Спб.: DELTA, 2006. 206 с.

18. *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.

19. Направленное изменение физико-химических свойств минералов в процессах обогащения полезных ископаемых // Плаксинские чтения. М.: Альтекс, 2003, 145 с.

20. 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.

21. *Дементьева Г.И., Смирнов Ю.М.* Изоморфные и полиморфные превращения минералов в техногенезе // Обогащение руд. № 3. 1988. С. 34-37.

22. *Пирогов Б.И., Поротов Г.С., Холошин И.В., Тарасенко В.Н.* Технологическая минералогия железных руд. Л.: Наука, 1988. 304 с.

23. *Пирогов Б.И.* От наноминералогии полезных ископаемых к нанотехнологиям их переработки // Минералогическая интервенция в микро– и наномир. Сыктывкар: Геопринт, 2009. С. 58-61.

24. *Изоитко В.М.* Технологическая минералогия и оценка руд. СПб.: Наука, 1997. 582 с.

25. *Остащенко Б.А.* Направленное изменение технологических свойств минералов // Автореф. докт. дис. Сыктывкар: ИГ Коми науч. Центра УрО РАН, 1998. 43 с.

26. *Щипцов В.В.* Технологическая минералогия индустриальных минералов Карелии. // Минералогия, петрология и минерагения докембрийских комплексов Карелии. Петрозаводск: Карел.НЦ РАН, 2007. С. 119-123.

27. Значение исследований технологической минералогии в решении задач комплексного освоения минерального сырья // Сб. науч. статей / Отв. ред. Щипцов В.В. Петрозаводск: Институт геологии КарНЦ РАН, 2007. 200 с.

28. *Котова О.Б., Понарядов А.В.* Свойства и механизм образования микро– и наноразмерных фаз на поверхности минералов. Сыктывкар: Геопринт, 2007, 3 (53). 20 с.

29. *Остроумов Г.В., Грекулова Л.А., Кушпаренко Ю.С., Борискин В.П., Гетманская Т.И., Смирнова Т.А., Потконен Н.И., Барсукова З.С., Михайлова Н.С.* Технологическая оценка минеральных объектов на ранних стадиях геологоразведочных работ // Традиционные и новые направления в минералогических исследованиях. М.: ИГЕМ РАН, ВИМС МПР РФ, 2001. С. 112-115.

30. *Борискин В.П., Сидоренко Г.А.* Достижения и направления развития технологической минералогии в ВИМСе // Минеральное сырье. М.: Изд. ВИМС. 1997. № 1. С. 181-190.

31. Геолого-технологическое моделирование рудных месторождений// Сб. научн. тр. / Отв. редактор Изоитко В.В. СПб.: А/О «Механобр-Техника», 1993. 132 с.

32. *Пирогов Б. И., Холошин И.В.* Геолого-технологическое моделирование комплексных железорудных месторождений // Геолого-технологическое моделирование рудных месторождений. СПб.: А/О «Механобр-Техника», 1993. С. 83-95.

33. *Пирогов Б.И.* Теоретические основы технологической минералогии // Теория минералогии. Л.: Наука, 1988. С.127-134.

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПЕРЕРАБОТКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ НА ОСНОВЕ ИЗМЕНЕНИЯ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ МИНЕРАЛОВ

Юсупов Т.С.

Учреждение Российской академии наук Институт геологии и минералогии Сибирского отделения РАН, г. Новосибирск

Известно, что реакционная способность минералов во многом зависит от совершенства их структуры и дефектов кристаллической решетки. Одним из эффективных методов создания дефектного состояния в твердых телах является активационное измельчение, состоящее в диспергировании веществ при механических усилиях, превышающих нагрузки в обычных шаровых мельницах.

Практические аспекты активационного измельчения были обозначены еще в ранних работах П.А. Ребиндера – основоположника физико-химической механики, которым установлены аномальные физические и химические свойства твердых тел, в частности кварца в тонкодисперсном состоянии [1]. В дальнейшем Г.С. Ходаков экспериментально показал связь реакционной способности и, прежде всего, химической активности минералов с аморфизацией структуры, создаваемой механическими воздействиями [2]. Кварц в указанных работах был выбран не только как информативный объект изучения дефектообразования, но и многоцелевой минерал, находящий широкое применение в индустрии. Другие минеральные вещества как объекты механоактивации были исследованы значительно меньше. П.А. Ребиндер в выступлении на VIII международном конгрессе по обогащению полезных ископаемых (1968 г., Ленинград) с сожалением констатировал, что «они остались вне поля наших интересов».

Данный пробел в определенной мере восполнен работами института геологии и геофизики СО АН СССР (ныне институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН), в котором были заложены основы и выполнены исследования по механоактивации широкой гаммы минералов и минерального сырья [3, 4]. Параллельно в Институте химии твердого тела и механохимии СО РАН велись исследования теоретических аспектов механохимических процессов в твердых телах [5, 6]. Экспериментальной базой названных работ служили центробежно-планетарные мельницы периодического и непрерывного действия (рис. 1, 2), достаточно широко также используются вибрационные мельницы, аттриторы и другие механизмы. Устройства, в которых преобладающим воздействием является трение, часто называют трибоактиваторами, а изменения в твердых телах – трибохимическими. Отдельным механоактивационным направлением является дезинтеграционное измельчение, в котором преобладают ударные воздействия.

Разрушение минералов в мельницах повышенной энергонапряженности сопровождаются многогранными структурно-химическими преобразованиями – изменяются длины и углы межатомных связей, электронная структура и химический состав веществ. Возникают точечные дефекты, дислокации, деформации и искажения решетки, в результате чего происходит разрыв связей между фрагментами структуры и их распад, завершающийся переходом части вещества в рентгеноаморфное высокореакционное состояние (табл. 1).

Возрастание свободной энергии (энергии Гиббса) ΔG слагается из поверхностной энергии ΔG пов. и энергии внутренних дефектов ΔG деф. Значение ΔG пов. получают из выражения ΔG пов.$= \sigma \Delta S$ пов.

Вследствие структурных превращений изменяются такие свойства как растворимость, смачиваемость, адсорбционная способность, магнитная восприимчивость, электропроводность, температуры диссоциации, спекания, плавления и другие характеристики, на которых основаны многие методы обогащения и химико-металлургической переработки минерального сырья.

С позиций технологической минералогии наиболее информативными характеристиками внутренних дефектов являются размеры микрокристаллитов (блоков когерентного рассеяния) и величины микроискажений, рассчитываемые на основе рентгенографических данных. Также важно иметь данные ИКС и ДТА, точечные дефекты для многих минералов могут фиксироваться методом ЭПР.

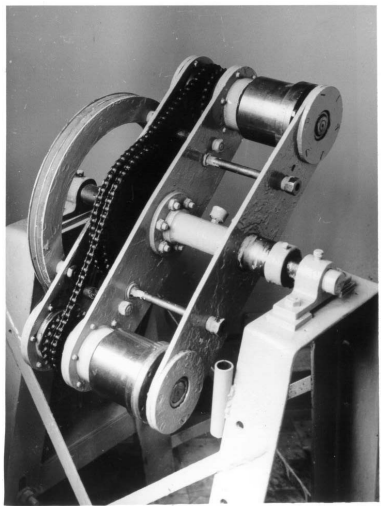


Рис. 1. Лабораторная центробежно-планетарная мельница М-3 дискретного действия

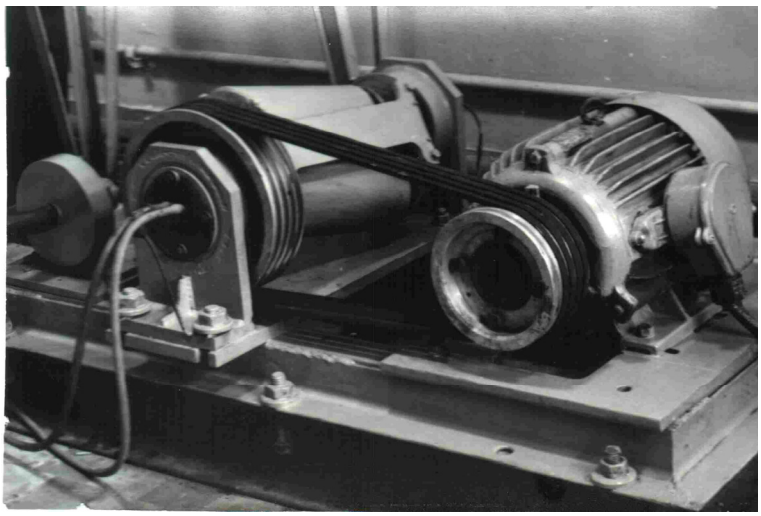


Рис. 2. Центробежно-планетарная мельница непрерывного действия ЦКИ-2 производительностью 500 кг/т по твердому

Процессы дефектообразования в минералах разделяются на поверхностные и объемные. Технически более легко осуществляется трибоактивация поверхностных слоев, что имеет важное значение для управления флотационными, магнитными, электрическими и некоторыми другими методами обогащения. Степень структурно-поверхностных изменений также возможно фиксировать методами рентгенографии, ИКС, ДТА, ЭПР, высоко информативен для изучения электронных преобразований метод РЭС.

Наиболее общим свойством трибообработки поверхности является повышение гидратированности, что часто приводит к снижению флотационной активности. Но эта тенденция не носит общего характера и зависит от кристаллохимического строения минералов и среды трибообработки. Например, трибообработка микроклина в воде приводит к повышению его флотируемости катионными реагентами за счет образования катионных вакансий при переходе поверхностных катионов в водную среду. При сухом измельчении наступает деформация решетки с разрывом кислородных связей в тетраэдрах, последующей гидратации и потерей флотоактивности [7].

Таблица 1. Стадии механического активирования минералов

Стадии и величина удельной поверхности (S)	Характерные дефекты и структурные изменения. Степень аморфизации (X)	Процессы, в которых могут использоваться эффекты активации	Типы руд, к которым перспективно применение мех. активирования. Ориентировочный расход эл. энергии (N), кВт.ч/т
I стадия S до 1-2 $м^2/г$	Электронные и атомные дефекты. Дислокации всех видов. X до 3-5 %	Флотация. Магнитная сепарация. Другие методы, основанные на поверхностных свойствах.	Кварц-полевошпатовые, касситеритовые, фосфатные, сподуменовые, шеелитовые, магнетитовые руды N до 10
II стадия S до 10-15 $м^2/г$	Дефекты I стадии. Уменьшение размеров кристаллитов и наведение микроискажений X до 25 % (реже более)	Химическое и термохимическое обогащение. Бактериальное и автоклавное выщелачивание. Другие гидрохимические процессы.	Бокситы и каолинитовые руды шеелитовые, вольфрамитовые, хромитовые, титано–магнетитовые. Сульфиды и сульфаты. Фосфаты. Руды редкоземельных элементов. N > 1000
III стадия S – переменная величина ввиду агрегации зерен	Дефекты I и II стадии. Распространение и нарастание микроискажений на основную часть объема. Превращение преобладающей части вещества в рентгеноаморфное состояние	Вскрытие и фазовые превращения минеральных веществ перед гидрометаллургическими процессами.	Сподуменовые, лепидолитовые, пирохлоровые, касситеритовые концентраты руды. N > 1000

Ниже приводятся примеры активационного измельчения и изменения технологических свойств минеральных веществ применительно к нерудному сырью средней полосы России.

Алюмосиликатное сырье

Значительный интерес представляет механоактивация слоистых силикатов, обстоятельно исследованная на примере каолинита. По данным ИКС сухое активирование приводит к разрыву связей Si-O-Al^{VI} и нарушением, главным образом, в октаэдрических слоях, а тетраэдрические слои остаются неизменными, т.е. идет процесс селективного преобразования структуры.

При водной механообработке разрушение структуры каолинита проходит по межслоевому пространству. После 1 мин центробежного измельчения в воздушной среде уровень структурных нарушений выше, чем после 1 часа обработки в водной среде. Это положение хорошо согласуется с данными по растворению каолинита. Так, если в 20% H_2SO_4 из исходной пробы переходит 3% Al_2O_3, то после 120 мин водного диспергирования эта величина увеличивается до 60%, а 5 мин сухой помол повышает извлечение до 80% [8].

Принципиально важное влияние оказывает селективное разрушение структуры на фазовые превращения при термических воздействиях. После сухого измельчения минерала и нагрева до 1000^0C образуется муллит 3 $Al_2O_3 \cdot SiO_2$ и рентгеноаморфный диоксид кремния. Кремний, входящий в состав муллита почти не извлекается в щелочную среду при химическом обогащении.

Иной вид термических превращений имеет каолинит, помол которого проводился в водной среде с сохранением слоев структуры. В составе фаз, образующихся до 1000^0C, муллит не устанавливается, что позволяет интенсифицировать термическое обогащение каолинитсодержащего сырья, повышая степень обескремнивания до 10% и более. Результаты имеют важное прикладное значение [8].

Механоактивационные процессы в фосфатно-цеолитных системах

Механоактивация природных фосфатов и в первую очередь апатита является известным способом повышения величины и скорости растворения минералов в слабых, имитирующих гуминовые, кислотах с целью улучшения их характеристик как минеральных удобрений, вносимых непосредственно в почвы без предварительной химической обработки. Потенциально в лабораторных условиях представляется возможным перевести в легкорастворимые формы до 80-90% фосфатного вещества, что сопряжено с необходимостью превращения основной массы вещества в структурно-дефектное состояние, достигаемое длительной активацией при больших энергозатратах, поэтому данный процесс не нашел широкого применения [9].

Нами установлена возможность существенного увеличения растворимости фосфатов на основе введения в систему катионобменников – природных цеолитов на примере клиноптилолита и использования «мягкой» (2-5 мин) механоактивации.

Цеолиты являются каркасными алюмосиликатами, в структуре которых имеются сообщающиеся между собой полости, занятые катионами различных щелочных и щелочноземельных элементов и молекулами воды, благодаря чему происходит ионный обмен и обратимая дегидратация. Они проявляют активность ко многим элементам, в том числе к катионам Ca^{2+}, на чем основана возможность их использования с целью повышения растворимости природных фосфоритов и апатитов. При ионообменном взаимодействии в системе цеолит-фосфат ионы Ca^{2+} фосфата поглощаются цеолитом и, как следствие этого, растворимость минерала, а следовательно и усвояемость растениями фосфора увеличивается.

Исследование кинетики извлечения P_2O_5 из клиноптилолит-фосфатных смесей позволило установить, что введение цеолита в систему приводит к увеличению лимонно-растворимого P_2O_5 от 2,4% в исходном минерале до 27% и более в комбинации веществ в зависимости от массового соотношения цеолит:апатит, взятых в исходном состоянии без использования механической активации. «Мягкое» активирование увеличивает содержание лимонно-растворимого P_2O_5 в исходном апатите от 2,4% до 8-12%, а добавление же к активированному веществу цеолита повышает растворение фосфата при массовом отношении цеолит:апатит равном 20:1 80% P_2O_5. Снижение содержания цеолита естественно уменьшает извлечение P_2O_5, приемлимо использовать соотношение 5:1, при котором величина лимонно-растворимого в стандартных условиях P_2O_5 составляет порядка 40% (табл. 2).

Таблица 2. Извлечение P_2O_5 в 2% раствор лимонной кислоты из активированного апатита в зависимости от содержания цеолита в смеси

Массовое отношение компонентов в смеси		Извлечение P_2O_5, % отн.
Цеолит	Апатит	
20	1	80.08
10	1	59.19
5	1	40.04
3	1	35.54
2	1	23.07
1	1	10.05
-	1	8.7

По мере насыщения цеолита катионами Са в процессе ионного обмена его активность падает, и как только основная часть клиноптилолита переходит в кальциевую форму, при которой внутриканальные катионы (K^+, NH_4^+) извлекаются в раствор, процесс обмена, а следовательно и растворение фосфата прекращается и может быть возобновлено только при внесении дополнительного количества цеолита (рис. 3).

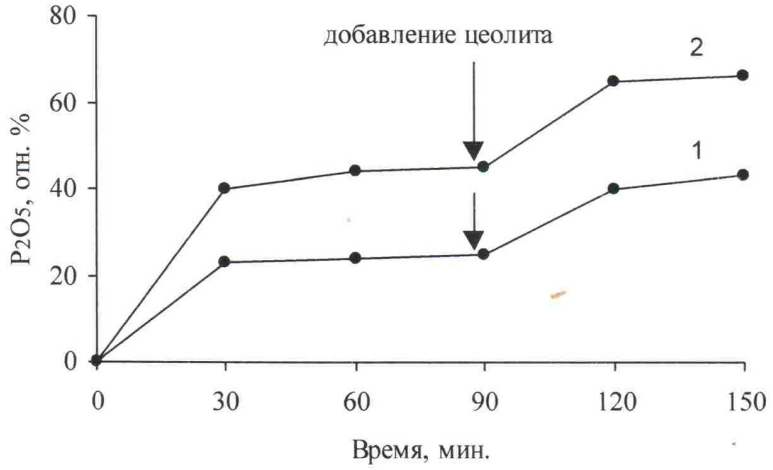


Рис. 3. Зависимость степени извлечения P_2O_5 в 2% раствор лимонной кислоты от времени выщелачивания и введения дополнительного количества цеолита из смеси с массовым соотношением цеолит:апатит, равным 5:1 (1) и 2:1 (2)

Однако существует и обратная задача – понизить скорость растворения хорошо растворимых фосфатов, например, суперфосфата, с целью скоррелировать поступления подвижного фосфора из них в почву с потребностью в нем растений по мере их роста [10].

Одним из вариантов решения данной задачи является связывание суперфосфата в продукт твердофазного взаимодействия с клиноптилолитом в высокоэнергонапряженных мельницах. Механизм взаимодействия хорошо просматривается по ИК-спектрометрии (рис. 4). Известно, что замещение Al или Si на фосфор при вхождении его в каркас цеолита вызывает сдвиг основной полосы антисимметричных валентных колебаний в область больших частот, поскольку длина связи P-O в тетраэдрах (1,54 Å) меньше этой характеристики Si-O и Al-O (1,61 и 1,75Å соответственно).

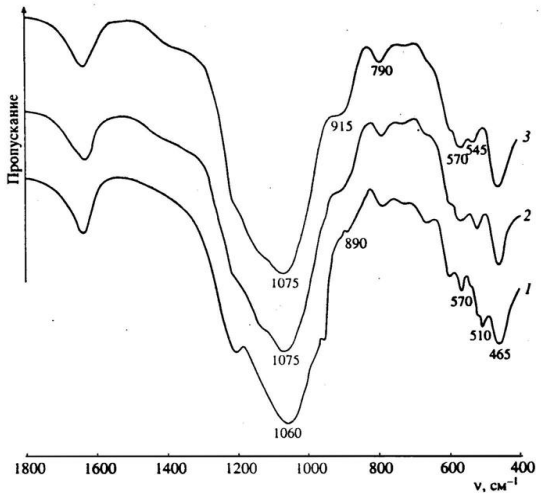


Рис. 4. ИК-спектры поглощения: 1 – неактивированной смеси 50 % клиноптилолита + 50 % фосфата Са; 2, 3 – активированной в течение 2 и 5 мин соответственно

Исследование растворимости фосфатного вещества активированной смеси в 2% растворе лимонной кислоты и воде показало, что с увеличением времени механических воздействий извлечение фосфора в лимонную кислоту практически не изменяется (табл. 3). Принципиально отличная картина имеет место для водорастворимой формы P_2O_5. Впервые для механоактивированных процессов установлено явление резкого уменьшения извлечения $(PO_4)^{3-}$ в водную среду с увеличением времени механообработки. Можно полагать, что в процессе активации смесей клиноптилолит – $Ca(H_2PO_4)\cdot H_2O$ происходит механическое стимулирование выделения части ионов PO_4 в кристаллическую решетку цеолита.

Таким образом, установлена возможность снижения скорости и величины извлечения фосфора в водную среду в результате механохимического синтеза алюмофосфатного комплекса, что явилось основой создания нового фосфор-цеолитного удобрения пролонгированного действия.

В заключении с полным основанием можно рекомендовать изложенные механохимические процессы для укрупненных и полупромышленных исследований.

Таблица 3. Влияние механической активации цеолит-фосфатной смеси на содержание водо– и лимоннорастворимых форм P_2O_5

Состав смеси, %		Время активации, мин.	Извлечение P_2O_5, %	
Цеолит	Фосфат кальция		В раствор лимонной кислоты	В водную среду
-	100	-	45.3	40.4
-	100	2	47.0	37.6
-	100	5	42.8	33.8
80	20	2	46.3	11.6
80	20	5	48.4	6.0
70	30	0.5	45.0	34.1
70	30	1	43.5	33.7
70	30	2	46.1	15.3
70	30	5	44.2	7.2
70	30	10	45.0	4.3
50	50	0.5	45.3	37.0
50	50	1	45.1	35.4
50	50	2	44.0	21.3
50	50	5	46.2	9.1
50	50	10	45.1	4.8

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ребиндер П.А.* Новая технология дисперсных материалов. Избранные труды. Физико-химическая механика. М.: Наука, 1979. С. 336-347.
2. *Ходаков Г.С.* Физика измельчения. М.: Наука, 1972. 207 с.
3. *Молчанов В.И., Юсупов Т.С.* Физические и химические свойства тонкодиспергированных минералов. М.: Наука, 1981. 160 с.
4. *Юсупов Т.С.* Технологическая минералогия // Горные науки, освоение и сохранение недр земли. М.: Из-во Академии горных наук, 1997. С. 392-411.
5. *Болдырев В.В., Авакумов Е.Г.* Механохимия твердых неорганических веществ // Успехи химии. 1971. Т. 40. С. 1835-1856.
6. *Ляхов Н.З., Болдырев В.В.* Механохимия неорганических веществ. Анализ факторов, интенсифицирующих химический процесс. Изв. СО АН СССР. 1983. № 12. Сер. хим. наук. Вып. 5. С. 3-8.
7. *Лаптева Е.С., Юсупов Т.С., Бергер А.С.* Физико-химические изменения слоистых силикатов в процессах механической активации. Новосибирск: Наука, 1981. 87 с.
8. *Юсупов Т.С., Королева С.М., Щербакова М.Я.* К проблеме направленного изменения флотируемости минералов на основе механических воздействий. ФТПРПИ: Из-во «Наука», Сиб. отд., 1987. № 5. С. 94-97.
9. *Чайкина М.В.* Механохимия взаимодействия природных цеолитов с фосфатами кальция. Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «ГЕО», 2002.
10. *Юсупов Т.С., Шумская Л.Г., Болдырев В.В.* Механохимическое взаимодействие природных цеолитов с фосфатами кальция. Док. АН, 1999. Т. 364. № 4. С. 508-511.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ МИНЕРАЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РУД ПРИ СОЗДАНИИ ТЕХНОЛОГИЙ ИХ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ

Ожогина Е.Г., Рогожин А.А.

ФГУП «ВИМС», г. Москва

Главными проблемами недропользования сегодня являются истощение запасов богатых руд и вынужденное вовлечение в переработку низкокачественного минерального сырья как природного, так и

техногенного происхождения. При этом постоянно ужесточаются требования к экологической безопасности горнодобывающих и горноперерабатывающих производств. В связи с этим резко возрастает роль минералого-аналитических исследований руд, позволяющих проводить их технологическую оценку на всех стадиях геологоразведочных работ, а также при геолого-экономической переоценке месторождений полезных ископаемых. В рамках технологической оценки минерального сырья обычно проводится прогнозирование экономически обоснованной целесообразности его вовлечения в переработку на современном этапе развития технологий, методы обогащения, качество ожидаемых продуктов, контроль эффективности перерабатывающего производства и управления им, определение экологических последствий переработки и природоохранные мероприятия.

Прикладные минералогические исследования полезных ископаемых в настоящее время отличаются от аналогичных минералогических работ второй половины прошлого века. Это обусловлено в первую очередь существенным прогрессом в научном, методическом, техническом и инструментально-аппаратурном обеспечении минералого-аналитических исследований природных и техногенных объектов и технологий их переработки (развитие информационных компьютерных технологий, создание новых поколений аналитической и технологической аппаратуры, развитие нанотехнологий и пр.). Также следует учитывать, что постоянно возрастающая интеграция России в мировую экономическую систему привела к необходимости соблюдения международных стандартов и норм при выполнении измерений и сертификации продукции.

Во Всероссийском научно-исследовательском институте минерального сырья на протяжении нескольких десятилетий создаются технологии переработки руд черных, легирующих, редких, благородных металлов, нерудного сырья, базирующиеся на глубоком изучении их вещественного состава. Поэтому сегодня совершенно четко сформировались основные направления минералогических работ:

- прогнозная оценка технологических свойств минерального сырья, включая прогноз экологических показателей освоения месторождений;
- оценка эффективности перерабатывающего производства и управление производством
  - входной контроль сырья и реагентов,
  - операционный контроль – контроль продуктов на всех стадиях технологического процесса,
  - контроль качества товарной продукции и отходов производства;
- оценка экологических последствий передела сырья (производственный экологический контроль);
- оценка технологической безопасности предприятия.

В зависимости от вида сырья и характера необходимой информации применяются определенные методы минералогического и химического анализов. В связи с тем, что в последние годы технологи нередко сталкиваются с практически необогатимыми и труднообогатимыми рудами, отличающимися полиминеральным составом, сложным текстурно-структурным рисунком, высокой дисперсностью, гетерогенностью промышленно ценных минералов, близостью физических свойств рудных и породообразующих минералов, используется комплекс методов, в который обычно входят оптическая микроскопия, рентгенография и химический анализ. Остальные методы применяются по мере необходимости для решения конкретных вопросов. Как показывает опыт, определение технологических свойств (плотность, микротвердость, удельная магнитная восприимчивость и др.) конкретных минералов успешно можно проводить минералогическими методами.

При важности всех направлений минералогических исследований руд при создании технологий их переработки главным является оценка технологических свойств минерального сырья. Это связано с тем, что содержание в рудах компонентов (химический состав) не может в полной мере определить технологию их переработки. На обогатимость руд влияют минеральный состав, морфоструктурные параметры, в том числе гранулометрический состав и морфометрические характеристики рудных минералов, реальный состав минеральных фаз, определяющий распределение полезных компонентов (поминеральный баланс), их строение и физические (технологические) свойства.

Сегодня можно говорить об оценке технологических свойств как в рамках минералогического обеспечения разрабатываемых технологий переработки руд, так и о прогнозной технологической оценке сырья методами прикладной минералогии. В первом случае это полноценное изучение исходных руд комплексом минералого-аналитических методов, позволяющее получить надежную всестороннюю информацию о сырье. Как правило, такие исследования подтверждены технологическими испытаниями и отличаются детальностью. При этом исследованию подвергаются продукты обогащения, что позволяет определять их качество и при необходимости вносить коррективы в разрабатываемые технологии. Следует также отметить, что при минералогическом изучении продуктов обогащения можно получить более значимую информацию о составе и строении рудообразующих минералов, чем при изучении исходной руды в целом.

Прогнозная технологическая оценка руд на ранних стадиях ГРР проводится на ограниченном по массе материале (масса проб составляет 5-20 кг) и предусматривает проведение минералогических исследований, не сопровождающихся технологическими испытаниями. Как правило, такие исследования не включают глубокого изучения материала и проводятся в сжатые сроки. Однако они позволяют определить качество сырья и в общих чертах прогнозировать его поведение в технологических процессах. Это в свою очередь способствует определению промышленной ценности месторождения и (или) рудопроявления. Следует отметить, что в последние годы количество таких работ в значительной степени увеличилось. В первую очередь это связано с

открытием мелких проявлений в основном руд черных металлов (марганцевых, железных и хромовых), которые возможно не будут иметь в дальнейшем промышленного значения.

В качестве примера минералогического изучения руд при разработке технологии их обогащения рассмотрим железомарганцевую руду Кайгадатского месторождения (Кузнецкий Алатау, верховье р. Б. Кайгодат), отобранную по всей мощности рудного тела № П-2.

Руда красно-коричневого и сургучного цвета характеризуется плотным монолитным сложением. Первичная текстура руды массивная и лишь местами отмечается тонкая прерывистая и линзовидная слоистость, обусловленная наличием слоев в различной степени обогащенных гематитом. Для руд типичны вторичные (наложенные) текстуры: прожилковые и вкрапленные. Основная масса прожилков, а также многочисленные вкрапленники, имеющие различные размеры и формы, сложены манганокальцитом. Значительно реже отмечаются тонкие прожилки гидроксидов железа.

Структура руды тонко-скрытокристаллическая. Прожилки выполнены разнозернистым (от мелко– до крупнокристаллического) материалом пан– и гипидиоморфнозернистого строения. Иногда в карбонатных прожилках наблюдаются сферолитовые структуры.

Содержание марганца в пробе составляет 9,24% (MnO-11,93%), железа 14,23% (Fe_2O_3-20,34%), в значительном количестве присутствует кремнезем (40,25%), а также глинозем (6,59%) и оксид кальция (7,84%). Содержание фосфора составляет 0,04%.

Руда имеет сложный полиминеральный состав. Рудообразующие минералы образуют тонкие срастания друг с другом за исключением вторичных минеральных фаз (карбонатов и реже гидроксидов марганца), которые присутствуют в индивидуализированных зернах. Поэтому идентификация отдельных минералов методами оптической микроскопии практически невозможна. Комплексирование минералогических методов, среди которых ведущее место занимал рентгенографический анализ, позволило определить минеральный состав данной пробы. Главным рудным минералом является гематит, содержание которого составляет 17%. Марганцевые минералы, представленные якобситом (6%), манганитом (5%), гаусманитом (2%), пироксмангитом (5%), манганокальцитом (3%) и тодорокитом (3%), относятся к категории второстепенных. В пробе содержится значительное количество породообразующих минералов: кварца (17%), опала и халцедона (17%), полевого шпата (12%), в подчиненном количестве встречаются эпидот (5%), гранат (5%), пироксен (3%). В продуктах обогащения обнаружены также родонит, бементит, фриделит, доломит, магнетит, хёгбомит (ильмено-корунд), пентландит, самородная медь, хлорит.

Главный рудный минерал гематит, а не браунит, как было принято до сих пор считать [1], образует тонкие срастания как с минералами марганца (якобситом, манганитом и пироксмангитом), так и породообразующими фазами (кварц, опал, халцедон). Рентгенографическим анализом установлено, что гематит имеет межплоскостные растояния выше, чем обычно, присущие гематиту, прокаленному при 800^{o}C в течение трех дней (33-664 ICPDS,1974), т.е. гематиту без значимых изоморфных примесей.

Исследование агрегатов существенно гематитового состава методом растровой электронной микроскопии с энергодисперсионной приставкой подтвердило их гетерогенный состав. Отмечено постоянное присутствие кварца, реже опала, якобсита и пироксмангита, эпизодически встречаются и другие примесные фазы. Судя по энергодисперсионному спектру, такие агрегаты имеют кремнисто-железо-марганцевый состав (с переменным содержанием основных компонентов) и обычно в незначительном количестве содержат титан, кальций, медь, хром, алюминий и калий.

В кварц-гематитовой матрице иногда наблюдаются индивидуализированные зерна якобсита размером менее 0,03 мм, имеющие гипидиоморфную форму. Диагностика якобсита проведена рентгенографическим анализом по следующим межплоскостным расстояниям (d,Å): $4,9_{(10)}$, $3,0_{(40)}$,$2,56_{(100)}$, $2,127_{(20)}$, $1,630_{(20)}$, $1,50_{(30)}$. Плотность якобсита 4,81-4,84 г/см^3, удельная магнитная восприимчивость $187 \cdot 10^{-8}$ м^3/кг, точка Кюри соответствует 300^{o}C (изучение проведено на фракционированном по магнитным свойствам материале).

При изучении магнитных свойств якобсита обнаружено, что в тесной ассоциации с ним присутствует минерал, также обладающий структурой шпинели, но имеющий значительно более высокую точку Кюри (>750о). Детальные рентгенографические исследования позволили идентифицировать эту фазу, как хёгбомит (ильмо-корунд). На дифрактограммах хёгбомит проявляется следующими межплоскостными растояниями (d,Å): 2,45(30), 2,44(100), 2,36(30), 2,08(50). Хёгбомит в рудах Кайдогатского месторождения идентифицирован впервые. Однако, известно, что он присутствует в марганцевых рудах в древней метаморфической толще хр. Прелужного (Украина) в ассоциации с бементитом, эпидотом и манганокальцитом [2].

В якобситовых агрегатах присутствует гаусманит, определенный рентгенографическим анализом. Тонкие срастания гаусманита и якобсита (вреденбургит), вероятно, представляют собой продукт распада твердого раствора.

Впервые в рудах этого месторождения установлен манганит, представленный тонко-скрытокристаллическим агрегатом, в котором редко фиксируются отдельные зерна призматической формы размером менее 0,02 мм. Надежная диагностика манганита проведена рентгенографическим анализом по наличию на дифрактограммах следующих межплоскостных расстояний (d,Å): $3,40_{(100),}$ $2,64_{(60)}$, $2,40_{(30),}1,67_{(30)}$. Плотность манганита 3,95-4,02 г/см^3.

Силикаты марганца, типичные для метаморфогенных руд, прежде всего, представлены пироксмангитом, присутствующим в кварц (опал)-гематитовой матрице в виде бесцветных пластинчатых кристалов размером 0,054-0,082 мм. Плотность пироксмангита 3,66-3,68 г/см^3.

Многочисленные разноориентированные прожилки, секущие руду, выполнены разнозернистым (от тонко-до крупнокристаллического) манганокальцитом, зерна которого имеют ромбоэдрическую, скалеоноэдрическую, призматическую и ксеноморфную форму. Реже отмечаются сферолиты и их фрагменты. Плотность манганокальцита варьирует от 2,75 г/см^3 до 2,86 г/см^3. Разброс значений плотности, вероятно, связан с изменяющимся количеством марганца в структуре минерала.

Породообразующие минералы (кварц, опал, халцедон), с одной стороны, входят в состав обломков яшм и кремнистых пород, с другой стороны, тесно ассоциируют с рудными минералами. Все эти фазы в значительной степени ожелезнены, за счет чего имеют красноватый или сургучно-красный цвет. Обломки кремнистых пород характеризуются массивной и тонкослоистой текстурой и тонко– и скрытокристаллическим строением. Обломки кварца размером менее 0,1 мм в различной степени корродированы и замещены гематитом, за счет чего нередко имеют заливообразные очертания. Полевой шпат, представленный плагиоклазом (альбит-анортитом), входит в основном в состав обломков мелко-тонкокристаллических полевошпатово-кварцевых пород. Непосредственно в железо-марганцевой руде плагиоклаз практически не присутствует.

Текстурно-структурные особенности и полиминеральный состав руды не позволяют с уверенностью говорить об уровне раскрытия конкретных рудных минералов в разных классах дезинтегрированной пробы. Нами предпринята попытка оценить степень раскрытия главного рудного минерала гематита с помощью оптико-геометрического анализа. В качестве примера исследовалась железомарганцевая руда с содержанием гематита 15,43%. Размер зерен гематита изменяется от 0,001 мм до 0,019 мм. Основная часть индивидуализированных зерен гематита (81,42%) сосредоточена в материале крупностью менее 0,005 мм. В классе –0,01+0,005 мм концентрируется 12,65% зерен гематита. Около 12% зерен гематита приходится на класс крупности –0,044+0,01 мм. Помимо того, что зерна гематита весьма мелкие, они к тому же характеризуются высокой степенью изрезанности границ (2,38), что обуславливает сложный характер срастаний гематита с другими минералами. Именно поэтому в продуктах дробления и измельчения, даже в тонких классах присутствуют гетерогенные минеральные агрегаты – сростки гематита с марганцевыми и силикатными минералами. Зерна гематита имеют удлинение (1,97), выше среднего (1,4-1,8), что, вероятно, связано с природными морфологическими особенностями минерала, в частности, преобладанием таблитчатых и пластинчатых кристаллов.

Минералогическими исследованиями, проведенными комплексом современных методов выявлены особенности вещественного состава руд Кайгадатского месторождения, образовавшихся вулканогенно-осадочным путем и претерпевших значительные изменения в процессе метаморфизма [1], что в значительной степени определило качество и технологические свойства этих оруд.

Полиминеральный состав руд, сложенных более чем двадцатью минералами, тесно ассоциирующими друг с другом, в том числе несколькими марганцевыми минералами, присутствующими в незначительном количестве, и их текстурно-структурный рисунок, в том числе гранулометрические и морфометрические характеристики главного рудного минерала– гематита (более 80% зерен этого минерала имеет размер менее 5 мкм и характеризуется высокой степенью изрезанности границ), позволяют априорно говорить о невозможности обогащения этих руд механическими методами. Данные минералогических исследований полностью подтвердились технологическими испытаниями, проведенными в ВИМСе.

В то же время бедные железо-марганцевые руды Кайгадатского месторождения оказались пригодными для плавки ферросилиция. Извлечение марганца в сплав составило около 90%. Полученные на основе руды Кайгадатского месторождения в промышленных условиях сплавы ферросилиция были успешно испытаны на Кузнецком металлургическом комбинате и Западно-Сибирском металлургическом заводе [3, 4].

Из приведенного примера следует, что детальное минералогическое изучение марганцевых руд комплексом минерало-аналитических методов позволяет априорно оценить их технологические свойства. В данном случае руды Кайгадатского месторождения, судя по особенностям их вещественного состава, оказались не пригодными для обогащения традиционными механическими методами и малопригодными для рентгенорадиометрической сепарации. В других случаях на основе минералогических исследований, можно более оптимистично оценить качество руд как потенциального объекта для экономически эффективной переработки, что в свою очередь способствует разработке рациональных технологических схем передела этого вида минерального сырья.

В идеальном случае опережающие минералогические исследования при технологической оценке руд позволяют получать надежные прогнозные количественные характеристики обогатимости сырья и сокращать объемы технологических исследований на 70-80% при минералого-технологическом картировании и опробовании и на 15% при лабораторных и полупромышленных испытаниях [5, 6]. Из литературных данных следует [7], что расходы на изучение вещественного состава типового месторождения составляют порядка 20% от стоимости технологических исследований. Таким образом, расходы на минералогические исследования составляют около 0,1% от стоимости продукции горнообогатительного комбината, получаемой за год. Как показывает опыт, в последние годы гораздо проще провести комплекс минералого-аналитических исследований руд на ранних стадиях ГРР или при геолого-экономической переоценке сырьевых объектов и определить их технологические свойства и, следовательно, потенциальные возможности промышленного использования полезных ископаемых, чем проводить дорогостоящие технологические испытания.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Быч А.Ф., Шварцберг В.П., Батырев А.И.* Марганцевое оруденение в вулканогенно-осадочных толщах позднего докембрия и раннего палеозоя Кузнецкого Алатау // Марганцевое рудообразование на территории СССР. М.: 1984. С. 74-78.
2. Минералы. Справочник / Под ред. Ф.В.Чухрова. М.: Наука. Т.2. Вып. 3. 675 с.
3. Исследование возможности использования железо-марганцевых руд Кайгадатского месторождения дл плавки ферросплавов / Н.В.Толстогузов, Г.И.Сальников, В.М.Минаев и др. // Марганцевое рудообразование на территории СССР. М.: 1984. С. 276-278.
4. *Толстогузов Н.В.* Использование карбонатных и бедных железо-марганцевых руд восточных районов для производства ферросплавов // Марганцевое рудообразование на территории СССР. М.: 1984. С. 271-275.
5. *Борискин В.П., Сидоренко Г.А.* Достижения и направления развития технологической минералогии в ВИМСе // Минеральное сырье. М.: ВИМС. 1997. № 1. С. 181-189.
6. *Остроумов Г.А., Сидоренко Г.А., Борискин В.П.* Определение объемов и сроков минералогических исследований в процессе технологических испытаний руд // Применение технологической минералогии для повышения эффективности использования минерального сырья. М.6 1987. С.57-61
7. *Борискин В.П., Кузьмин В.И., Вейс Б.Т.* Роль минералогических исследований в разработке безотходных или малоотходных технологических схем // Минералогический журнал. 1993. Т.15. Вып. 6. С. 15-22.

МИНЕРАЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА НЕРУДНОГО СЫРЬЯ: ПРОГНОЗ ОБОГАТИМОСТИ И КАЧЕСТВА ГОТОВОЙ ПРОДУКЦИИ

Лыгина Т.З., Корнилов А.В.

ФГУП «ЦНИИгеолнеруд», г. Казань

Достижения в области освоения нерудного минерального сырья практически всегда основаны на комплексном его изучении с применением минералогических и технологических методов. В итоге устанавливается необходимая информация по вещественному составу, текстурно-структурному строению, физическим и химическим свойствам, возможным способам переработки и создания новых материалов не только для исходного минерального сырья, но и промежуточных и конечных продуктов его переработки. При этом для получения информации могут быть применены как современные методы исследований, так и известные (старые), поскольку возможности последних еще не исчерпаны и в ряде случаев они дают более глубокие и значимые сведения о полезном ископаемом.

«ЦНИИгеолнеруд» располагает значительным опытом практического применения методов технологической минералогии при изучении объектов нерудных полезных ископаемых.

Для некоторых видов сырья (например, керамзитовых и кирпичных глин) получать полную и всестороннюю информацию с прогнозированием и разработкой технологических схем переработки и возможности получения соответствующих образцов товарной продукции можно с применением комплекса современных минералогических методов (рентгеноструктурного анализа, оптико-люминесцентного изучения, ЯГР и ИК–спектроскопии, ЭПР, химического, термического и дифференциального термомагнитного анализов и др.).

Для других полезных ископаемых, например асбестов, слюд, графитов, установление возможности их использования в определенном направлении можно ограничить одними технологическими методами испытаний. Однако в этом случае, хотя и будут получены изделия, отвечающие требованиям стандартов, исходное сырье не будет детально изучено с точки зрения минералогии, не будут раскрыты фазовые превращения и т.д.

При определении полезных свойств основного и сопутствующих минералов нерудного полиминерального сырья возникает необходимость и в применении комплекса минералогических и технологических методов изучения. Следует помнить, что реальную информацию о полезности какого-либо минерала или минерального сырья можно получить только на основании его изучения совместно минералогическими и технологическими методами. К такому изучению полезного ископаемого целесообразно приступать на самых ранних стадиях геологоразведочного процесса [1, 2]. Во всех случаях результаты аналитических исследований должны иметь практическое значение и способствовать разработке эффективной технологии переработки нерудного сырья и получению из него полезной продукции.

В качестве примера эффективного применения комплекса аналитических методов исследования нерудного сырья можно привести результаты оценки качества мелкоразмерной слюды (мусковита), находящейся в поверхностных отвалах 25-ти летнего возраста ГОКа «Карелслюда», и слюды, находящейся в недрах.

Электронографическим способом было установлено, что оба мусковита относятся к диоктаэдрической слюде – мусковиту политипной модификации $2M_1$. При этом мусковит из отвала характеризуется средне-высокой степенью совершенства кристаллической структуры, мусковит из забоя – высокой.

С использованием электронной микроскопии была изучена форма кристаллов: у образцов слюды из отвалов преимущественно изометричная с волнистыми неровными краями, у образцов из забоя – удлиненная, игольчатая.

В структуре мусковита по данным мессбауэровской спектроскопии отмечено примерно одинаковое содержание двухвалентного и трехвалентного железа (соответственно 64 и 36 % для образцов из отвала и 74 и 26 % для образцов из забоя).

При нагревании у мусковитов происходят структурные внутренние изменения. Образцы имеют близкие термовесовые характеристики. Однако потеря массы у мусковита из отвала начинается на 70° раньше, чем у мусковита из забоя. Это свидетельствует о наличии более прочных связей группы OH^- у последнего.

Изучение химического состава мусковитов показало на существенное различие у них только по содержанию Fe_2O_3 и FeO. Например, количество Fe_2O_3 для мусковита из отвала составляет 4.87%, что в 1,9 раза больше, чем у мусковита из забоя.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что качество слюд, пролежавших в отвалах 25 и больше лет, незначительно изменилось по сравнению со свежедобытыми слюдами и поэтому они могут применяться в равных условиях.

При изучении мелкоразмерной слюды Кубань-Кольтюбинского месторождения на Северном Кавказе данные рентгенографического анализа показали, что она представлена смесью двух минеральных разновидностей: мусковита (К-слюды) и парагонита (Na-слюды). Такой состав является нетрадиционным для мелкоразмерных слюд России. Дальнейшие исследования позволили определить содержание обеих разновидностей: мусковита – 29,8%, парагонита – 3,9%. В отечественной практике такое количество парагонита в составе пород, насколько известно, отмечено впервые. Парагонит вместе с мусковитом хорошо извлекается в концентрат, который отвечает требованиям ГОСТа на промышленные типы слюд – «Слюда дробленая» и «Слюда молотая».

При поисковых работах в Оренбургской области в процессе изучения слюдосодержащих каолинов Саздинского месторождения впервые среди элювиальных каолинов методом рентгенографического анализа выявлен монтмориллонит. Цвет монтмориллонита – белый. Он может быть использован как адсорбент и в производстве керамических изделий [2].

В основе комплексного обогащения волластонитовых и спекуляритовых руд, кварцитов и титан-циркониевых песков, проведенного в ЦНИИгеолнеруд, также преобладали минералого-технологические аспекты. При подборе способов пробоподготовки и обогащения использовались следующие характеристики: удельный вес, твердость, морфологические свойства, блеск, магнитные, электрические свойства, способность менять свойства под влиянием термохимических воздействий, а также структурно-текстурные.

Минералого-петрографическое исследование проб волластонитовых руд Окуневского месторождения (Восточный Саян) показало, что они представлены пироксен-волластонитовыми роговиками (скарноидами). В целом в пробе доминируют: кальцит и волластонит. Содержание волластонита варьирует от 20-25% до 60-65%. В виде включений в волластоните находится диопсид. Кварц представлен в виде мозаичной микро-, мелкозернистой массы.

Комбинирование поэтапного дробления (на щековой дробилке с зазором 16 и 1 мм), термической обработки (при температуре 900^0C), электромагнитной сепарации (двукратное обогащение) и пневмоклассификации позволило получить концентрат волластонита с содержанием полезного компонента 94-97% и относительным удлинением 1:12. По качественным характеристикам концентрат не уступает лучшим маркам волластонитовых концентратов, поставляемым на мировой рынок.

Исследование обогатимости спекуляритового сырья месторождения Рудный Лог Республики Алтай проводилось в первую очередь методами минералого-петрографического и химического анализов.

Кварц-гематитовая порода характеризуется плотной слаботрещиноватой текстурой, в ней преобладает мелкозернистая масса, представляющая собой смесь двух морфологических модификаций гематита: тонкой колломорфной и чешуйчатой – спекулярита. Количественные соотношения колломорфного гематита и спекулярита варьируются от 1 : 1 до 1 : 3. Содержание данной минеральной составляющей – 50-75%.

В результате проведенных экспериментальных работ по разделению минеральных составляющих, включающих методы дробления, самоизмельчения на шаровых и планетарных мельницах и др., был получен концентрат спекулярита, соответствующий по своим характеристикам первому сорту.

Титан-циркониевые пески Бешпагирского месторождения (ЮФО) можно отнести к полиминеральному сырью. В качестве полезных компонентов можно выделить циркон, титановые минералы, а также в ряде случаев магнетит, ставролит и др. Кроме того, обогащенный кварцевый песок, полученный при выделении концентратов минералов можно использовать в строительной промышленности.

Технологическая схема обогащения титан-циркониевых песков включает в себя комплекс обогатительных мероприятий и позволяет получить в качестве промпродуктов различные виды сырья (рис. 1).



Рис.1. Технологическая схема комплексной переработки титан-циркониевых песков

После предварительного фракционирования песков фракция, содержащая рудную часть, направляется на магнитный сепаратор. При этом получается концентрат магнетита, который можно использовать в качестве сырья для производства электродов для целей военно-промышленного комплекса и для лакокрасочной промышленности для получения черных и серых пигментов.

В результате электромагнитной переработки немагнитной фракции выделяется электромагнитная фракция, в которой содержание железооксидных минералов (оксидов и гидрооксидов железа) достигает 35-40%. После дополнительной переработки по стандартной схеме получаются железооксидные пигменты, являющиеся сырьем для получения красителей красно-коричневых цветов.

При помощи гравитационных концентраторов неэлектромагнитная фракция разделяется на тяжелую и легкую фракцию. Тяжелая фракция состоит из различных рудных минералов. Дополнительная технологическая переработка, включающая в себя электромагнитную сепарацию и гравитационное обогащение, позволяет получить концентраты железооксидных и титановых минералов, циркон и др.

Минералого-петрографическое исследование кварцитов Синегорского месторождения (Приморье) показало, что порода имеет в основном массивную текстуру. Кварц является основным минералом (98-100%).

Характерной особенностью зерен кварца является присутствие (0,2-0,5%) в нем мельчайших включений иголочек силлиманита. Помимо силлиманита в кварце широко распространены очень мелкие газово-жидкие включения (ГЖВ). Визуально общее количество ГЖВ не превышает сотых долей % массы кварца. Содержание мусковита в пробах составляет <1%. Из вторичных минералов помимо мусковита присутствует клиноцоизит.

При разработке технологии обогащения были использованы методы магнитной, электромагнитной сепараций и солянокислотной обработки. Получен концентрат, отвечающий марке стекла ОВС-020-В.

Минералы примеси, входящие в состав кварцевого концентрата в значительной степени определяют принципиальную возможность и эффективность использования того или иного метода их извлечения. Структурные примеси в кварце методами обогащения не извлекаются и поэтому их количественная оценка позволяет устанавливать предельную чистоту сырья.

В кристаллической структуре кварца наблюдается значительное число дефектов, связанных с изоморфными примесями, вакансиями кремния и кислорода, междоузельными атомами и другими

несовершенствами строения минерала. Методом ЭПР (рис. 2) установлены изоморфные формы ионов Al и Ge в структуре кварца, позволяющие определить предел обогатимости кварцевого сырья по данным элементам.

Исследованиями установлено, что механическая активация в различных аппаратах (виброизмельчителе, электромассклассификаторе и шаровой мельнице) легкоплавкого глинистого сырья заметно улучшает его спекаемость, вследствие чего увеличиваются (в 1,3–2,2 раза) прочностные характеристики керамического материала [3]. Одним из основных минералов глинистых пород является монтмориллонит. Ионы железа играют активную роль в кристаллохимической структуре монтмориллонита и могут служить чувствительным индикатором изменений структурно-энергетического состояния силикатных слоев.

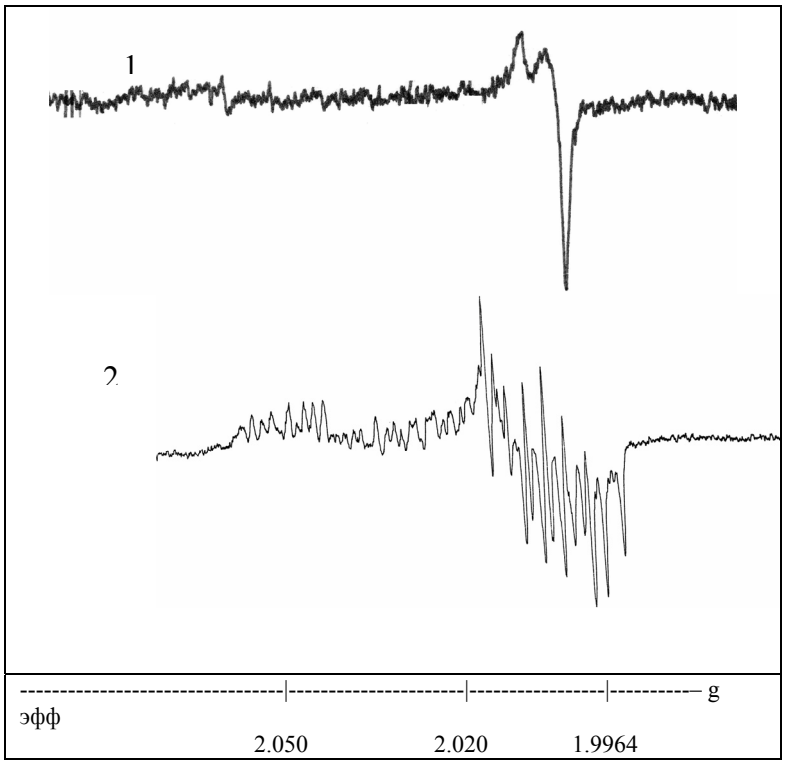


Рис. 2. Спектры ЭПР Ge^{3+}(1), $A1^{3+}$(2) – центров в кварце. Частота 9370 МГц, Т= 300К (1) и 77К (2).

В результате механоактивации глинистого сырья происходит “переход” части ионов Fe^{3+} из менее искаженной позиции П1 (где в ближайшем их окружении находятся изовалентные катионы) в более искаженную позицию П2 (где ионы Fe^{3+} соседствуют с гетеровалентными катионами и вакантными октаэдрическими позициями). Для активированной в течение 30 мин глины разновидности 3б содержание ионов Fe^{3+} впозиции П2 превышало их содержание в позиции П1. В этом случае образцы оказались в 2,2 раза прочнее образцов из исходного сырья.

“Переход” части ионов Fe^{3+} из позиции П1 в позицию П2 обуславливает увеличение степени искажения октаэдрических полиэдров. Поэтому отношение П2/П1 может служить характеристикой степени нарушения межслоевых связей в структуре монтмориллонита. С увеличением времени активации это отношение возрастает, свидетельствуя о глубине нарушения межслоевых связей по всему объему минерала. Это, в свою очередь, приводит к увеличению дефектности структуры образца за счет образования поверхностно-активных кристаллов с частично нескомпенсированными связями. Активность последних, по-видимому, и обеспечивает повышение прочности изделий.

Таким образом, при механоактивации глинистого сырья происходит “переход” ионов Fe^{3+} в структуре монтмориллонитового компонента в более искаженные позиции П2, т.е. в позиции, окруженные гетеровалентными катионами и вакантными октаэдрическими комплексами, что влечет за собой упрочнение обожженных образцов. Следует также отметить, что для двух исходных образцов, не подвергнутых активации, конечный продукт получается с большей прочностью для того из них, у которого отношение П2/П1 оказывается большим. Следовательно, по заселенности позиций П2 и П1 ионами Fe^{3+} можно прогнозировать прочностные свойства изделий.

Для уточнения фазового состава сырья в процессе переработки может быть использован метод дифференциального термомагнитного анализа. Данным методом исследован состав ферромагнитной фракции серпентинитовой породы: это гематит и магнетит (различной размерности). Общее содержание железа составляет 1,7%. После обработки в электромассклассификаторе в породе дополнительно обнаружен минерал маггемит, что является следствием частичного окисления магнетита. Об этом свидетельствуют два фактора: увеличение почти в 3 раза намагниченности и наличие на кривой пика при температуре ~ 370^0C (рис. 3). Полученные сведения свидетельствуют о структурных изменениях серпентинита, произошедших вследствие обработки.

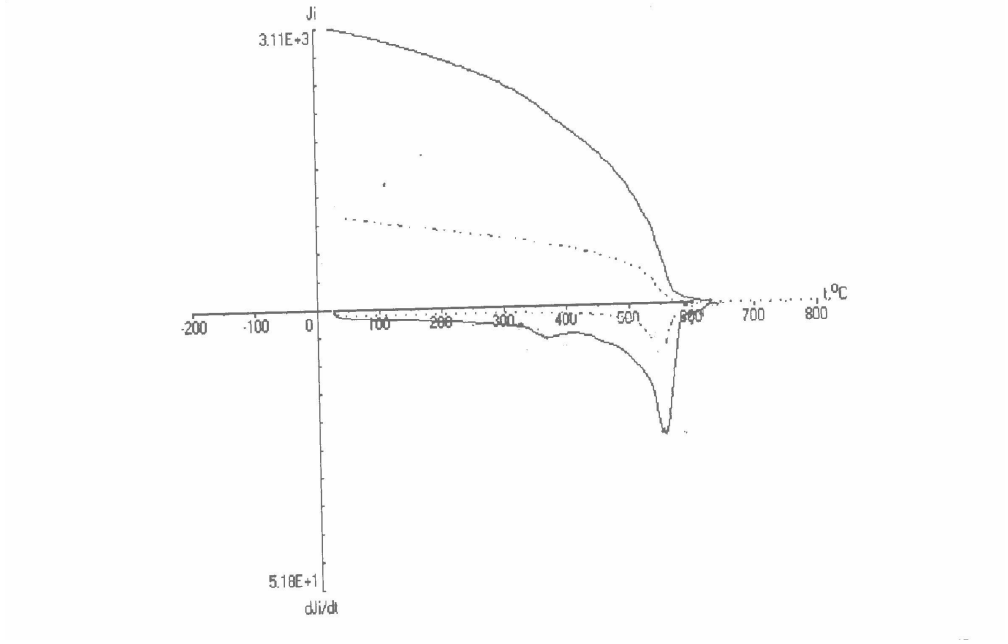


Рис. 3. Кривые термомагнитного анализа обработанного серпентинита (– первичный нагрев, – – – вторичный нагрев)

В ЦНИИгеолнеруд разработана экспрессная диагностика бентонитового сырья, позволяющая прогнозировать направления его использования и осуществлять выбор режимов модифицирования на основе комплекса основных и дополнительных минералого-технологических критериев качества бентонитов: (содержание ММ, состав обменных катионов, особенности структуры ММ, обменная емкость, число глинистости, обменная способность, число силикатных слоев в кристаллите, величина активной поверхности)[4].

Показано, что оптимальным способом переработки щелочноземельных глин является механохимическая активация в энергонапряженном режиме. С помощью комплекса минералого-аналитических методов установлено, что эффективность механоактивационного воздействия зависит от содержания и количества коагуляционной водной фазы в межслоевых промежутках микрочастиц и адсорбированной воды в микропорах монтмориллонита.

Разработана технология получения высококачественных глинопорошков из щелочноземельных бентонитов для буровых растворов. Глинопорошок из низкосортного щелочноземельного бентонита имеет высокие технологические параметры и выход бурового раствора 20 $м^3$/т.

Свойствами бентонитов можно управлять, направленно изменяя их, как в сторону гидрофильных свойств, так и в сторону гидрофобизации. Разработана технология получения лиофильных гидрофобных бентонитов (бентонов) на основе внедрения органических веществ в предварительно переведенный в Na-структурную модификацию щелочноземельный бентонит. Полученные бентоны приобретают новые ценные свойства: легко набухают в органических средах, образуя тиксотропные гели; в виде активных наполнителей связываются с полимерными материалами; легко перерабатываются в изделия и могут быть пригодны для использования в качестве универсальных структурообразователей (в лаках, красках, масляных средах), наполнителей (в пластмассах и резинах) и связующих (в безводных смесях) и т.д.

Для изучения структурных изменений, прошедших в результате аминирования в глине были использованы данные Фурье – ИК спектроскопии и методов термического анализа (ТГ, ДСК).

Методом ИК-спектроскопии установлено наличие в структуре монтмориллонита молекул модификатора (рис. 4). Результаты термического метода подтверждают предположение о том, что при модифицировании происходит вытеснение из межслоевого промежутка гидратно-ионных слоев воды органическими катионами.

На основе параметров (обменной емкости – ОЕ, числа глинистости – $Ч_{гл.}$ и содержания монтмориллонитового компонента – МК), определенных разработанными в ЦНИИгеолнеруд способами оценки качества, выделено семь разновидностей глинистого сырья, используемого для изготовления стеновых керамических материалов. Монтмориллонит – гидрослюдистая глина подразделяется на разновидности 3а, 3б, 4а, 4б и 5а, гидрослюдистая – на 5б и 6а [5]. Определение разновидности позволяет дать прогноз качества сырья и готовой продукции, получаемой методом пластического формования.

Определение разновидности керамзитового сырья и прогноз вспучиваемости керамзита производят по величине обменной ёмкости с учётом содержания монтмориллонитового компонента. Обе величины численно должны быть близкими (табл.). При прогнозе качества могут быть учтены и дополнительные параметры, характеризующие глинистое сырье (цвет глинистой суспензии с красителем метиленовым голубым, коэффициент «К», содержание карбонатов). Если цвет суспензии голубой или синий, а величина коэффициента ≥1,66, то это является еще одним подтверждением получения керамзита с прогнозируемыми характеристиками. При наличии карбоната кальция в количестве более 3% сырье характеризуется как низкокачественное.

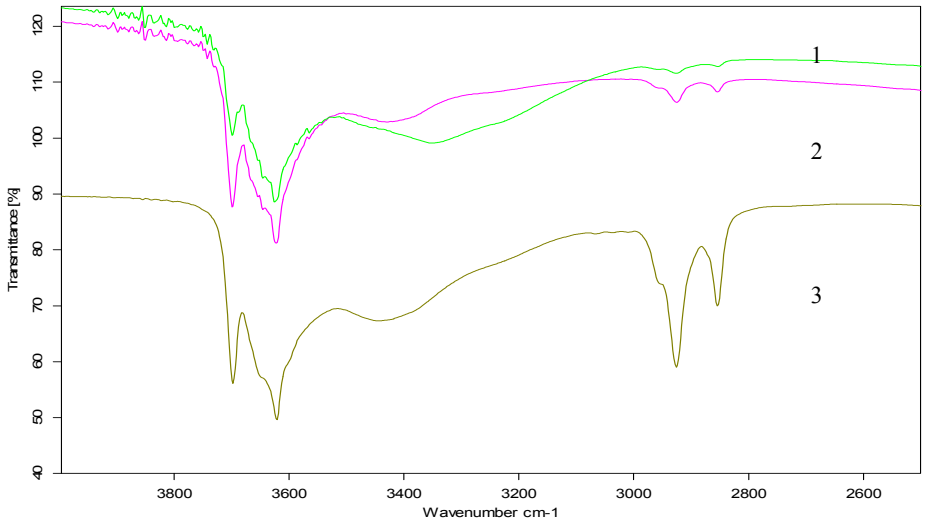


Рис.4. ИК-спектры бентонитовых глин (1-исходная; 2-активированная; 3-органобентонитовая)

Таблица. Классификация глинистого сырья для производства керамзита по разновидностям с прогнозом качества сырья и готовой продукции

Группа по минеральному составу	Обменная ёмкость, мг.экв	Число глинистости, усл. ед.	МК, %	Разновидность	Плотность, г/см^3 (×)	Коэффициент вспучивания (×)
Монтмориллонитовая	≥52	>135	>50	1а	<0,20	>4-5
	47	115-135	45-50	2а	<0,25	>4
	42	90-115	40-44	2б	<0,30	>3-4
Монтмориллонит – гидрослюдистая	37	70-90	36-39	3а	<0,35	>3
	32	45-70	31-35	3б	<0,40	>2,5
	27	24-25	26-30	4а	<0,5-0,6	~2,5
	23	14-24	21-25	4б	>0,60	<2,5

Примечание: (х) Прогноз качества дается для сырья в естественном состоянии, обожженного при 1170-1200^{0}С. При введении 0,5% мазута показатели улучшаются на одну – две степени (на одну – две строки выше в последних двух колонках).

Таким образом, применение методов технологической минералогии способствовало получению из нерудного сырья качественных концентратов и разработке эффективных технологий конкурентоспособной продукции для различных областей промышленности. Использование рационального комплекса аналитико-технологических методов исследования позволяет прогнозировать возможности обогащения нерудного сырья и разрабатывать эффективные схемы его переработки. Контроль степени структурных изменений сырья, протекающих на различных стадиях переработки, обеспечивается применением дифференциального термомагнитного анализа, электронного парамагнитного резонанса и др. методов. По отдельным минералого-технологическим показателям (обменная емкость, число глинистости, количество монтмориллонитового компонента, показатель отношения заселенностей ионами Fe^{3+} в структуре монтмориллонита позиций $П_2$ и $П_1$ и др.) глинистого сырья можно прогнозировать его свойства и качество готовой продукции (керамических стеновых, облицовочных и теплоизоляционных материалов, буровых растворов, бентонов).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Лузин В.П., Лузина Л.П., Гонюх В.М. и др.* Методика и требования по комплексной оценке качества и технологических свойств мелкоразмерных слюд и вермикулита при региональном геологическом изучении недр и прогнозировании полезных ископаемых, поисковых и оценочных работах // Методические рекомендации № 91. Казань: изд. ЦНИИгеолнеруд, 1999. 196 с.

2. *Лузин В.П., Сенаторов П.П., Горбачев Б.Ф.* Перспективы рационального освоения мусковитовых руд Саздинского месторождения // Разведка и охрана недр. 2008. № 11. С. 36-39.

3. *Корнилов А.В., Лузин В.П.* Эффективные способы переработки глинистого сырья для получения изделий строительной керамики // Стекло и керамика. 2004. № 1. С. 24-26.

4. *Лыгина Т.З., Сабитов А.А., Трофимова Ф.А. и др.* Бентониты и бентонитоподобные глины. Классификация, особенности состава, физико-химические и технологические свойства // Труды ФГУП «ЦНИИгеолнеруд». Казань, 2005. 72 с.

5. *Корнилов А.В., Пермяков Е.Н., Лыгина Т.З.* Минералого-технологические разновидности глинистого сырья для производства керамического кирпича и керамзитового гравия // Стекло и керамика. 2005. № 8. С. 29-31.

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 (тальковый 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, Ветреный 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), людиковий (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 Свекофеннском геоблоке карбонатные породы образованы на двух стратиграфических уровнях – ятулийском и людиковийском надгоризонтах, где возникала 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 присутствие 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 возникали благоприятные фациальные условия накопления чистых кварцевых песков в бассейнах с длительным перемывом 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. Шунгитосодержащие 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 Свекофеннского 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 криптокристаллический 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 свекофеннский 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 Свекофеннского 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 свекофеннской активизации. Классическим примером является Беломорский подвижный пояс, в частности, метаморфогенные пегматиты и связанные с ними происхождением индустриальные мусковит, полевой щпат 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 рассланцевания и кливажа [14].

Во всех известных случаях собственно рудовмещающие структуры являются молодыми, наложенными относительно ранних структур, вдоль которых имеют место рудообразующие диафторические 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 расслоенных интрузивов щелочной направленности – Тикшеозерский и Восточный массивы с карбонатитами и титаноносный Елетьозеркий 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 ($Na_2O/K_2O = 0.34 – 0.84$) 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
полевой шпат	полевой шпат	кварц
мусковит	кварц, кварциты	графит
кианит	мусковит	флюорит
кварц	кианит	барит
гранат	графит	полевой шпат, Ba-Sr полевой шпат
ставролит	гранат	титанит
корунд	ставролит	андалузит
анортозит (полевой шпат)	пирит	ставролит
	геллефлинта (полевой шпат)	карбонатные породы (мрамор, доломит)
	карбонатные породы (мрамор, доломит)	граниты рапакиви (полевой шпат)
	ильменит	тальк
	тальковый камень	волластонит
	тальк	тремолит
	магнезит	гранат
	апатит	каолин
	магнетит	
	хромит	
	нефелиновые сиениты (полевой шпат)	
	оливин	
	серпентинит	
	дунит	
	флюорит	
	шунгитовые породы	
	барит	
	кровельные сланцы	

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

Полевошпатовое сырье (технолого-минералогическая 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			
Кварц-полевошпатовый	≥3 Высоко калиевое	2-3 Калиевое	0,9-2 Калий-натриевое	<0,9 Натриевое
Нефелин-полевошпатовый				
Полевошпатовый				

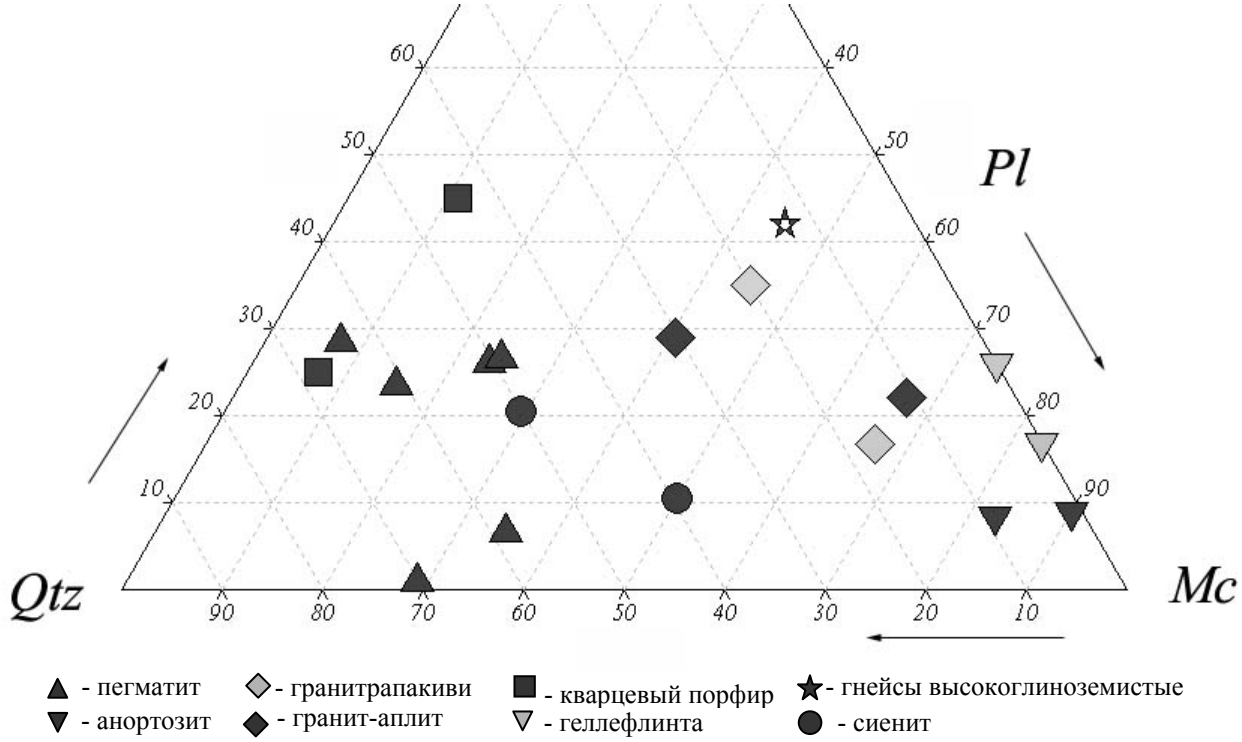


Рис 1. Минеральный состав различных типов полевошпатовых пород

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-микроклиновый 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 микроклина 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.

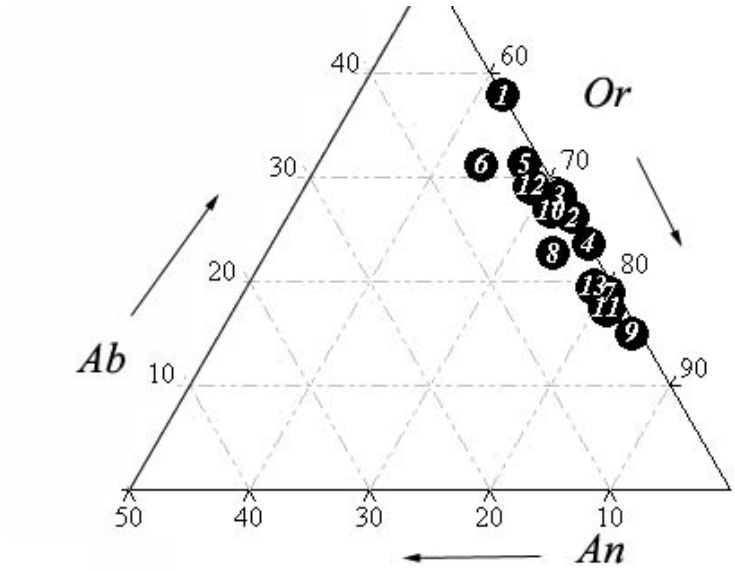


Рис. 2. Состав полевых шпатов из пегматитов: 1-2 – Большое, 3 – Кюрьяла, 4 – Брусничное, 5,6 – Линнавара, 7 – Слюдяной Бор, 8,9 – Картешный Бор, 10,11 – Малиновая Варакка, 12, 13 – Хетоламбино

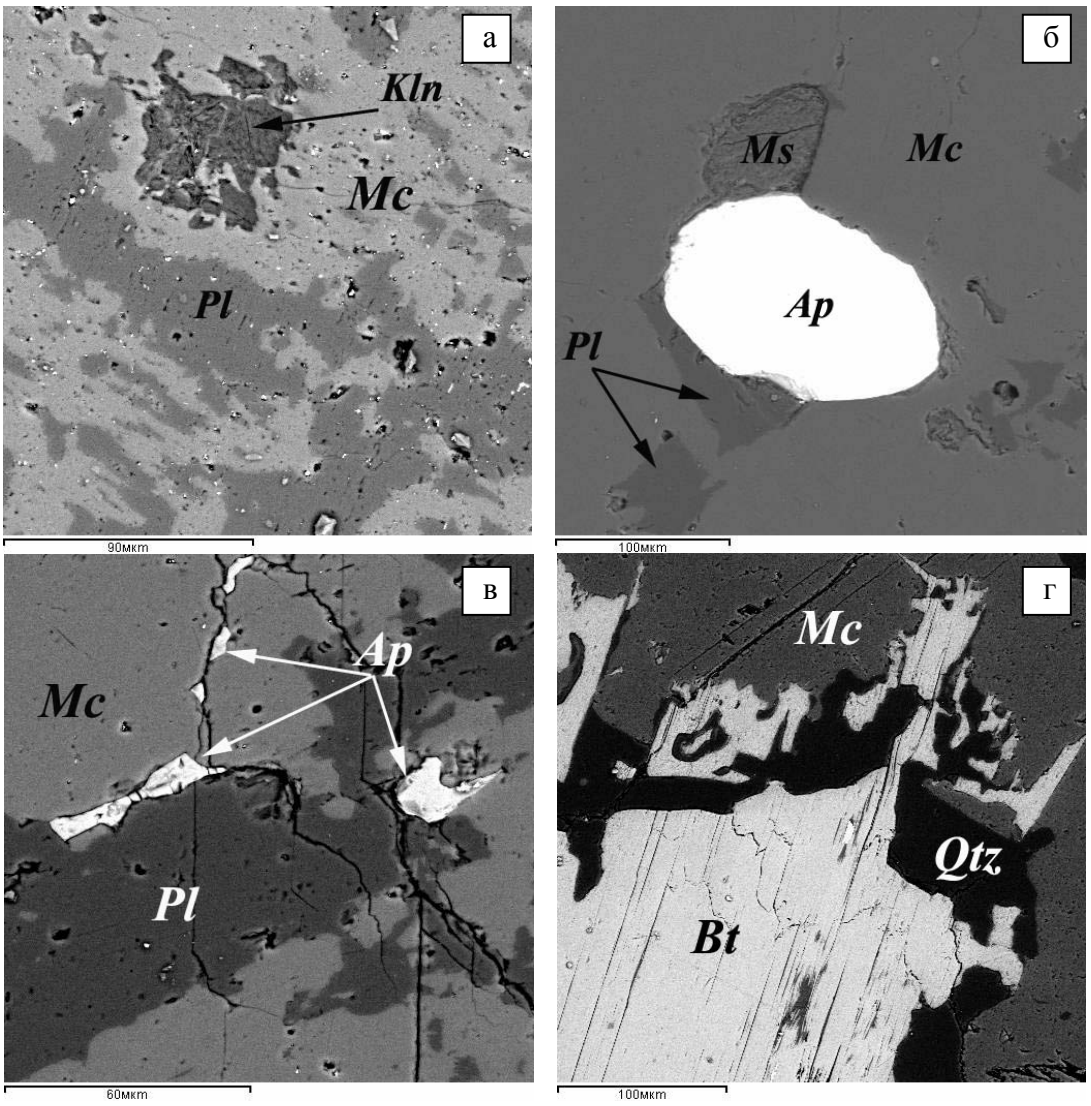


Рис 3. Включения в микроклине: а – пегматит Кюрьяла; б – гранит оз. Долгое; в – пегматит Яккима; г – гранитрапакиви Салминский массив. Где Mc – микроклин, Pl – плагиоклаз, Kln – каолинит, Ms – мусковит, Bt – биотит, Ap – апатит, Qtz – кварц. Изображение выполнено на сканирующем электронном микроскопе 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_2O_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_2O	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_2O	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 преимуществом – 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_2O_3, %	Калиевый модуль
Граниты рапакиви	Салминский массив	25-30	0,15-0,20	2,4-3
		20-25	0,15-02	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
Нефелинсодержа-щие сиениты	Елетьозерское	50-53	0,1-0,18	≤1
Анортозиты	Котозерский участок	44-46	0,1-0,27	0,05-0,25

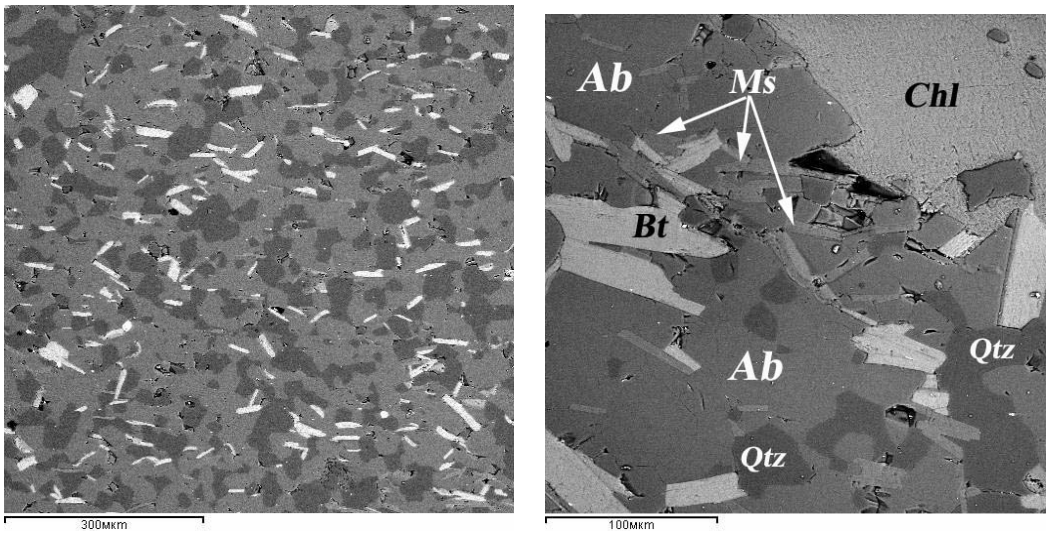


Рис. 4. Структура основной ткани и минеральный состав геллефлинты. Где Ab – альбит, Ms – мусковит, Bt – биотит, Chl – хлорит; Qtz – кварц. Изображение выполнено на сканирующем электронном микроскопе VEGA II LMU

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 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. 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 основой 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 порфировые выделения голубого опаловидного кварца (табл. 5).

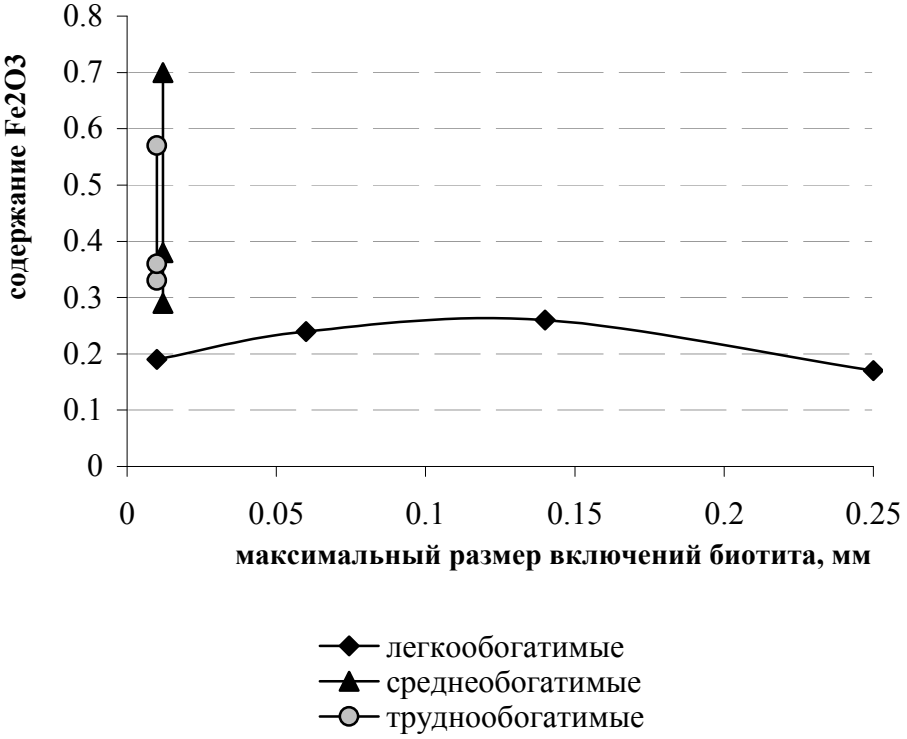


Рис. 5. Обогатимость геллефлинты в зависимости от размера включений слюды

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

Генетические разновидности	Структура основной массы	Текстура	Количество порфировых 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_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	K_2O+N_2O	K_2O/Na_2O
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 Fe_2O_3 в концентрате получено при обогащении исходного материала крупностью 98% класса – 0,074 мм методом мокрой магнитной сепарации. Введение в схему дешламации конечного продукта позволяет получать кварц-полевошпатовые концентраты высокой чистоты (содержание $Fe_2O_3 \leq 0{,}15\%$).

Субщелочные щелочные полевошпатовые породы – нефелинсодержищие 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 K_2O/Na_2O близко к 1. Основная разновидность сиенитов имеет крупнозернистое строение, структура гипидиоморфнозернистая. Визуально хорошо различимы микроклин (3 х 6 мм), нефелин (2 х 4 мм), гнездообразные скопления мелкочешуйчатого биотита. Нефелин, наряду с фенокристами, образует мелкие зерна, расположенные среди микроклин-пертита (рис. 7).

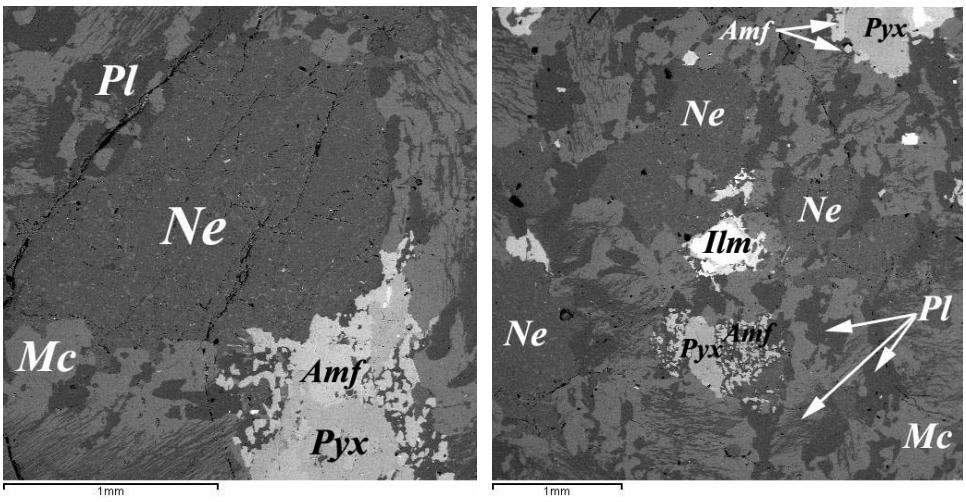


Рис. 6. Нефелиновые сиениты Северного участка. Изображение выполнено на сканирующем электронном микроскопе VEGA II LMU, где Pl – плагиоклаз, Ne – нефелин, Mc –микроклин, Amf – амфибол, Pyx – пироксен, Пm – полевой шпат

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 мелкочешуйчатый биотит и эпидот. В Южной части отмечена микроклинизация сиенитов, характерно высокое содержание магнетита. Тонкие срастания минералов-железоносителей с породообразующими в сиените развиты незначительно.

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

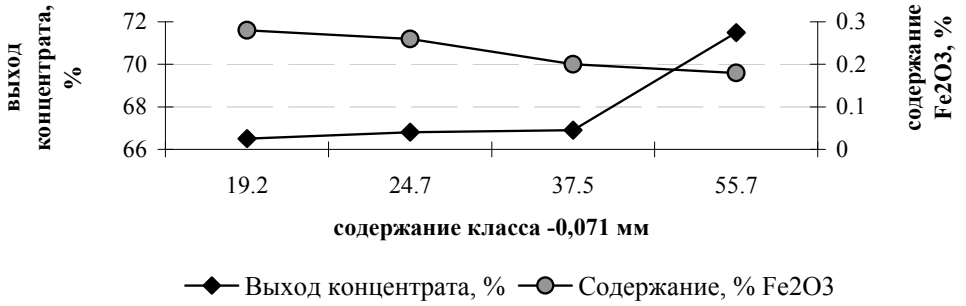


Рис 7. Зависимость качества концентрата от крупности материала, поступающего на обогащение

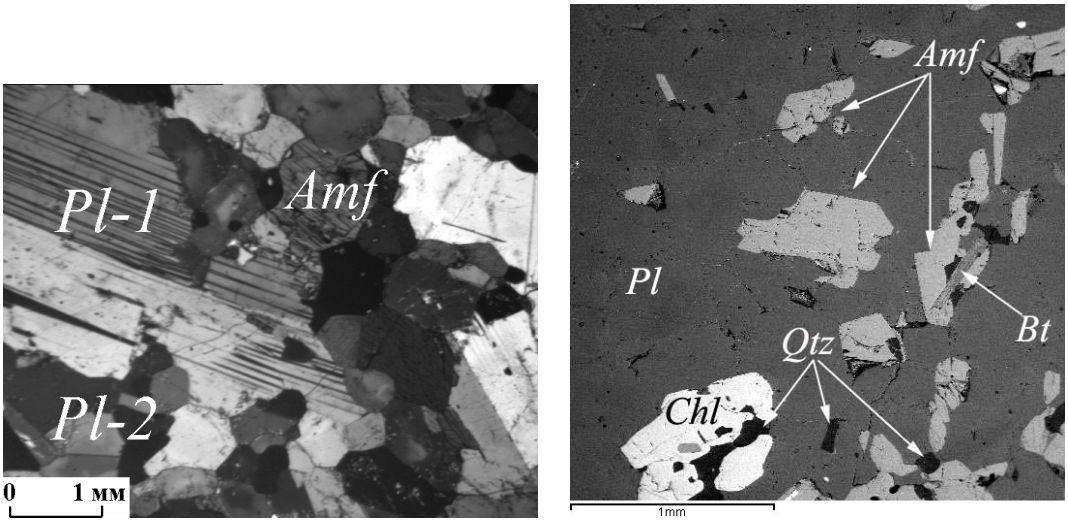


Рис. 8. Фото шлифов анортозита, где Pl – плагиоклаз, Amf – амфибол, Q – кварц, Bt – биотит, Chl – хлорит

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) (Pl-1) и более мелкие, вторичные (Pl-2) со следами деформаций в виде системы трещин, соссюритизация умеренная (рис. 8).

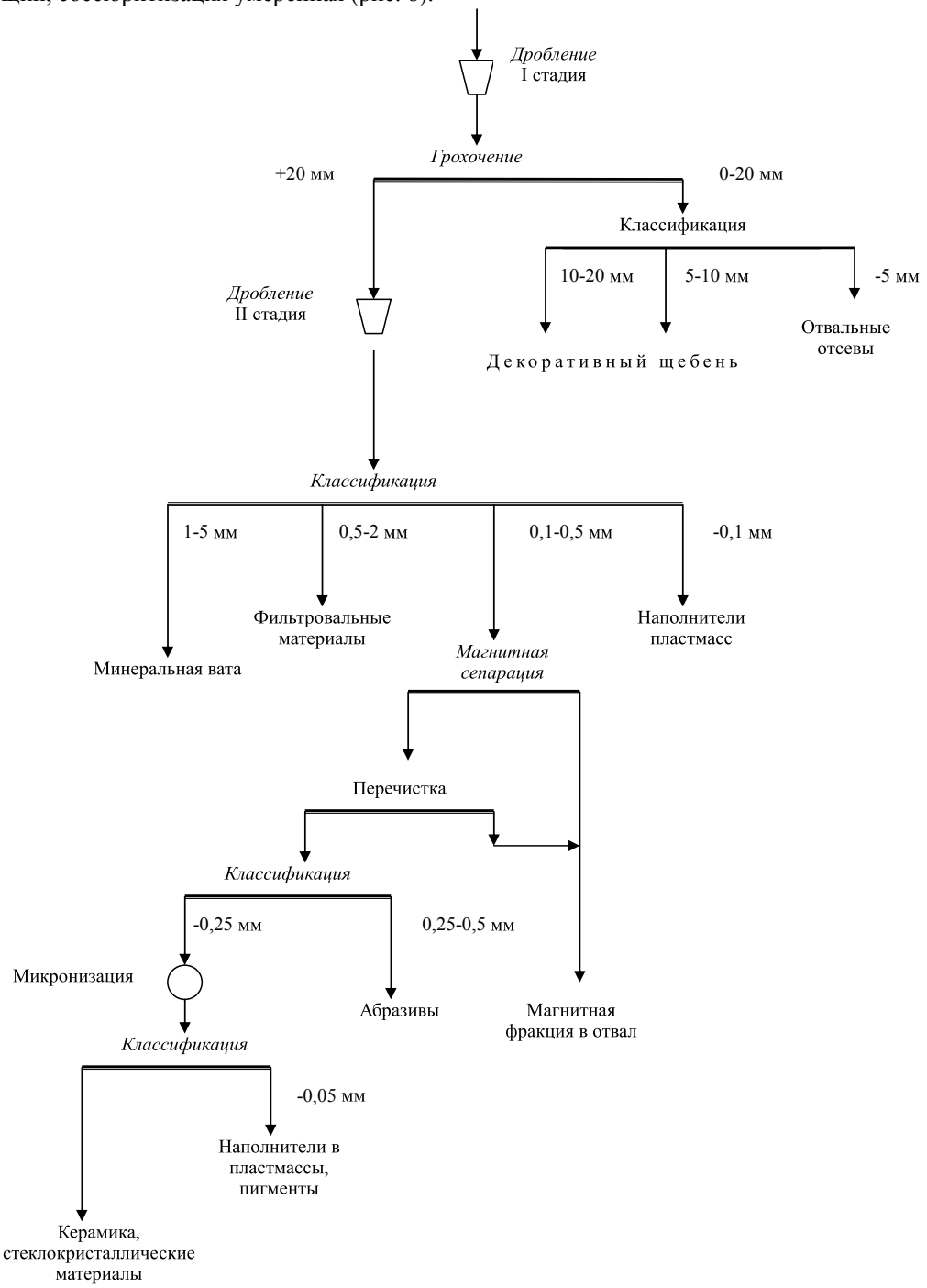


Рис. 9. Комплексная технологическая схема обогащения анортозитов

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 необогащенной горной породы и анортозитового концентрата в качестве: сорбента катионов тяжёлых цветных металлов, механической загрузки в минеральных фильтрах, основы для получения твердофазных композиционных пигментов, составляющей шихты декоративных стекол, минеральной ваты.

Индустриальные минералы силлиманитового ряда (технолого-минералогическая характеристика)

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

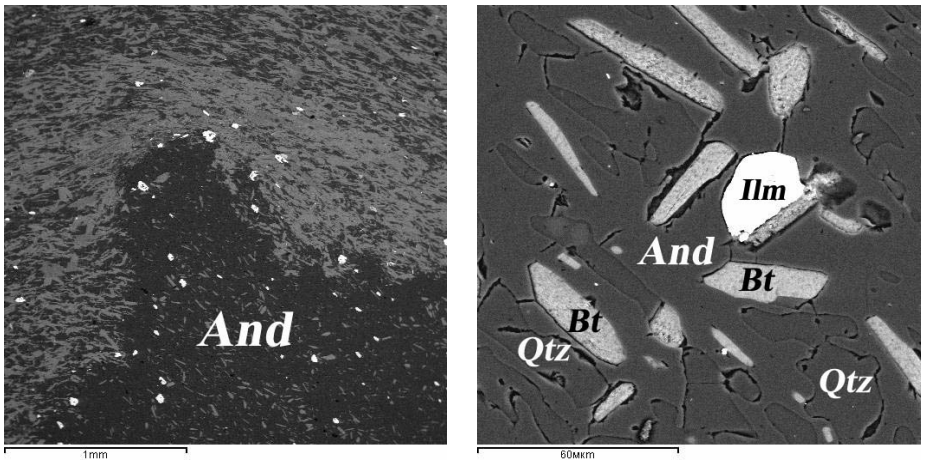


Рис. 10. Морфология андалузита и включения в нем. Изображение выполнено на сканирующем электронном микроскопе VEGA II LMU, где And – андулазит, Bt – биотит, Qtz – кварц, Ilm – полевой шпат

Таблица 7. Характеристика включений в андалузите

Минерал	Размер, мкм	Морфология
Кварц	3-6	Округлые овальные
Биотит	5-6 х 11-27	Удлиненные таблички
Ильменит	11 х 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 м*етаморфогенно-метасоматическими* кианит-кварцевыми сланцами, для которых характерны светло-голубоватые или бело-серые кристаллы кианита.

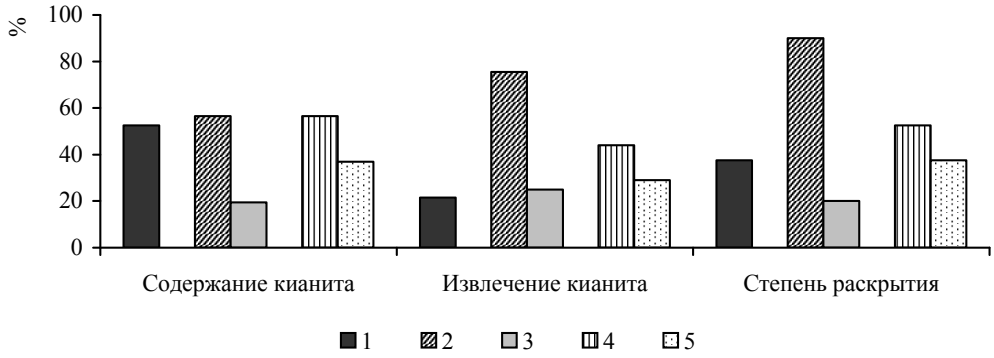


Рис. 11. Обогатимость морфологических типов кианитовых руд Хизоварского рудного поля: 1 – метаморфогенный, 2 – метаморфогенно-метасоматический, 3 – метаморфогенно-метасоматический графитизированный, 4 – метасоматический неизмененный, 5 – метасоматический графитизированный

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 гидрооксидов 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).

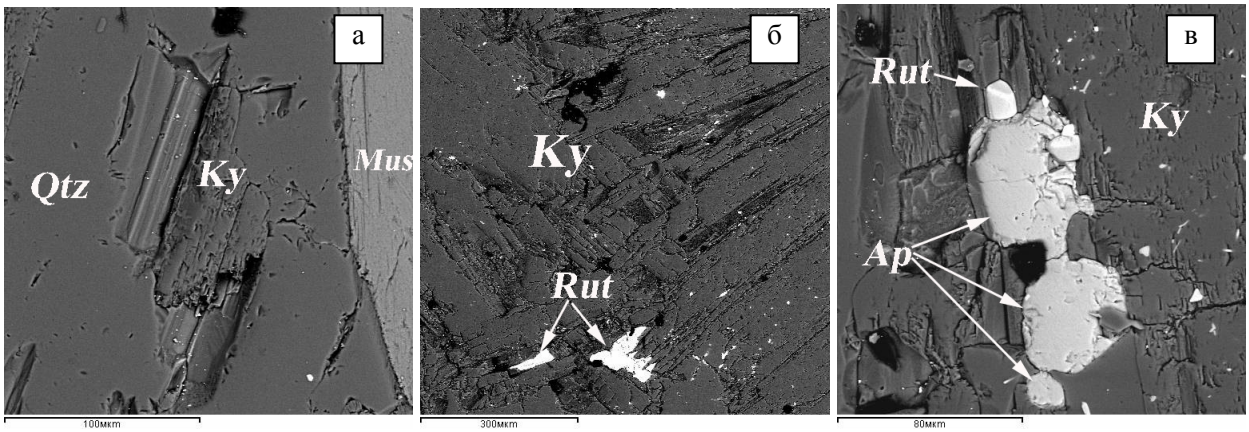


Рис. 12. Микрофото кианита из кианит-кварцевых сланцев: а) игольчатый кианит; б) радиально-лучистый кианит; в) включения в кианите. Qtz – кварц, Ky – кианит, Mus – мусковит, Rut – рутил, Ap – апатит. Изображение выполнено на сканирующем электронном микроскопе VEGA II LMU

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	Al2O3	SiO2	Fe2O3
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 обогатимости кианита Южной линзы (табл. 9) по Al_2O_3, соответствующий 60,02% [51].

Таблица 9. Качественная характеристика кианитового концентрата

Концентрат	Содержание оксидов, % по массе						
	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	Na_2O	K_2O
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 (технолого-минералогическая характеристика)

Графит

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

Обогатимость графитсодержащих руд Карелии определяется минеральным составом и структурными элементами: размерами и формой графитовых чешуй и типами срастаний графита с породообразующими минералами. Наибольший интерес представляют графитовые руды месторождения Ихала. Здесь выделено несколько генетических и технологических типов руд [53]. Установлено, что неизмененные биотитовые гнейсы, мигматиты, щелочные метасоматиты характеризуются легкой обогатимостью. Сростки графита представлены параллельными срастаниями с биотитом. Содержание углерода в концентратах составляет 90-95% при извлечении 92-97%. В метасоматитах крупночешуйчатый графит образует срастания с амфиболом и пироксеном, а мелкочешуйчатый с размером чешуй 0,03-0,3 мм находится в тесном срастании 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
Импилахти	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	Неизмененные	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 срастаний сростки образует графит в диафторированных биотитовых гнейсах. Преобладают трудно раскрываемые сростки с пирротином 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 встречены во многих районах, но промышленная их ценность определена наиболее полно для месторождений Заонежья (Шуньгское, Максово, Зажогино) и Кондопожского района (Нигозерское, Мягрозерское). Области использования шунгитсодержащих пород, определяются их составом и свойствами. Малозольный 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 Зажогино, 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.

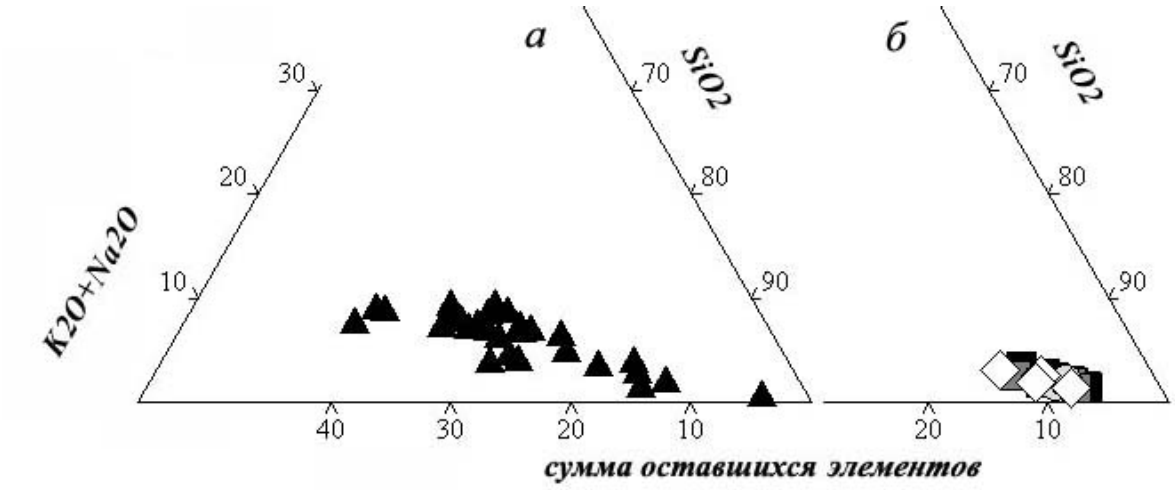


Рис. 13. Диаграмма химического состава зольной части шунгитовых пород (по технологическим пробам)

■– Зажогино ▒– Максово ○ – Карнаволок; □ – – Подсосонье; ▲ – Лебящина

Шунгитовые породы месторождения Зажогино 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 (технолого-минералогическая 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 кварцеметрической 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), Analityca 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	Метчангъ-ярви	380	85	250	21	56	0,1	11	45	0,2	1,8	-	-	-	850,1
Кварцитовый перекристаллизован-ный	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.

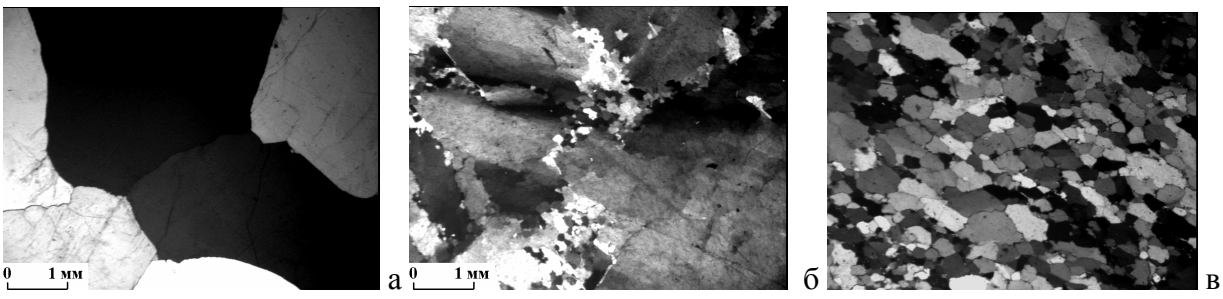


Рис. 14. Структурно-текстурные особенности (субструктуры метагенеза): а – гранобластовая равновесная структура; б – мозаичность и зачатками микрогрануляции; в – вторичная рекристаллизация с образованием микрогранулированного агрегата

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. Труднообогатимым 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.

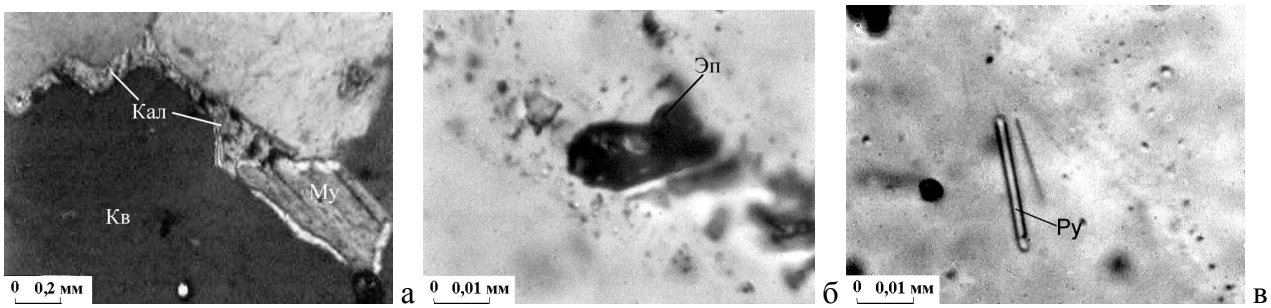


Рис. 15. Минеральные включения в кварце: а – мусковит, кальцит; б – эпидот; в – рутил

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

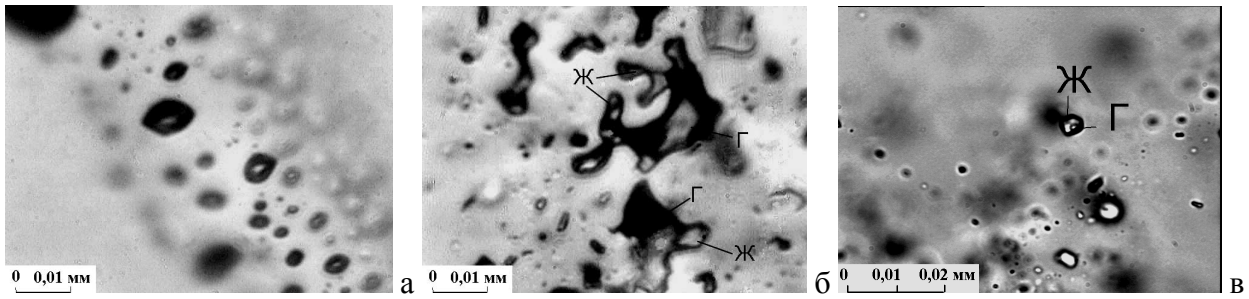


Рис. 16. Газово-жидкие включения: а – по микротрещинам, б – крупные включения; в – мелкие включения.Первые технологические испытания по глубокому обогащению жильного кварца и кварца нетрадиционных типов были проведены в лаборатории ОАО «Полярный кварц» по отработанной у них технологии для жильного кварца 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 обогатимость 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.

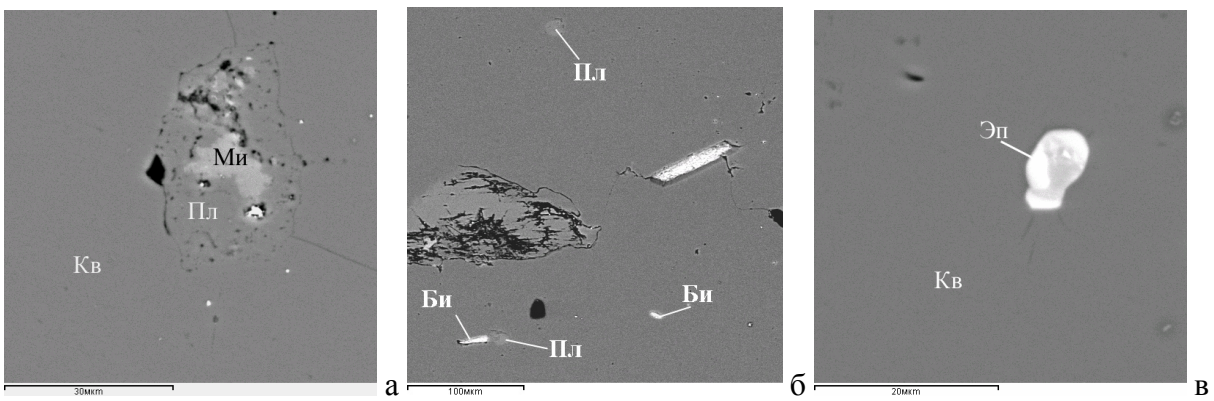


Рис. 17. Микровключения в кварце участка Меломайс: а – плагиоклаз (2 генерация), микроклин; б– плагиоклаз (1 генерация), биотит, микроклин; в – эпидот

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 детальных исследованиях 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 компонентов [67]. Такие конкретные примеры касаются практики разработки слюдяных и керамических пегматитов северной Карелии: при освоении мусковитовых пегматитов извлекались листовой мусковит и кварц, керамических пегматитов – отдельные блоки пегматитовой породы микроклин-кварцевого состава и микроклин. При разработке технологических схем обогащения кианитвых 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 Тикшеозерсеого 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-механичеких 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 индустриальных 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 индустриальных 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; HarwoodAcad. Publ., 1997. 61 p.
2. *Щипцов В.В., Кожевников 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 всероссийского 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-Онего, 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 рудю 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 Д.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.* Технолого-минералогическая 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., Белашев 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., Гришенков 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. *Белашев 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.* Минералого-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., Зловидова 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, Skamnitakaya 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. *Щипцов 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. *Щипцов 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. *Щипцов В.В., Данилевская Л.А., Гаранжа А.В., Родионов В.С.* Прогнозно-минерагеническая оценка кварценосности 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., Щипцов 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., Щипцов 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. *Щипцов 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 кейвскийх 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.

Таблица 1. Классификация кейвских кианитовых руд [1, 2]

Тип	Разновидность	Преобладающие содержания кианита			
		Богатые	Средние	Бедные	Убогие
Волокнисто-игольчатый (тонкопризматический)	Параллельно-волокнистая	-	++	+	+
	Сноповидно-волокнистая	+	++	-	-
	Радиально-волокнистая	+	++	+	-
Параморфический	Крупнопараморфическая	-	++	++	+
	Мелкопараморфическая	+	++	+	-
Конкреционный	Крупноконкреционная	+	++	++	-
	Мелкоконкреционная	-	+	++	-
Порфиробластический	-	-	++	++	++
Конкреционно-параморфический	-	-	++	+	+

Примечание: ++ наиболее типично, + менее распространено, – практически отсутствуют

Таблица 2. Размеры агрегатов и индивидов кианита в разных типах руд

Тип	Разновидность	Размеры агрегатов		Размеры индивидов	
		Длина	Толщина	Длина	Толщина
1. Волокнисто-игольчатые	1а. Параллельно-волокнистые 1б. Сноповидно-волокнистые 1в. Радиально-волокнистые			2-3 см	0.01-0.3 мм
2. Параморфические	2а. Крупно-параморфические 2б. Мелко-параморфические	до 30-40 см	3-5 см* 0.5-1 см		
3. Конкреционные	3а. Крупно-конкреционные 3б. Мелко-конкреционные	3-5 см 2-3 см			
4. Порфиробластические	-			5-10 см	0.2-1 см
5. Конкреционно-параморфические	-				

Примечание: *размеры поперечного сечения параморфоз

Таблица 3. Главные признаки и минеральный состав различных типов кианитовых руд

Тип	Морфологические особенности	Главные минералы	Второстепенные и редкие минералы
Волокнисто-игольчатые	Выделение кианита в сланцах в форме тонких волокон или игольчатых призм, не имеющих кристаллического огранения. Волокна и призмочки собраны а веретенообразные, сноповидно– или радиально-лучистые порфиробластические агрегаты, закономерно ориентированные в породе.	Кварц Кианит Мусковит	Мусковит, углеродистое вещество, ставролит, плагиоклаз, пирротин, рутил, ильменит, пирит, халькопирит, магнетит, апатит, циркон, диккит, парагонит, лимонит.
Параморфи-ческие	Выделение кианита в виде параморфических агрегатов по хиастолиту, как правило, преимущественная ориентировка кианитовых параморфоз отсутствует.	Кварц Кианит Мусковит	Углеродистое вещество, ставролит, плагиоклаз, пирротин, рутил, ильменит, пирит, халькопирит, магнетит, ортит, клиноцоизит, апатит, циркон, диккит, лимонит.
Конкреционные	Узловатая текстура, вследствие присутствия округлых или эллипсоидальных конкреционных стяжений кианита, заключённых в тонкозернистую слюдисто-кварцевую ткань породы.	Кварц Кианит Мусковит	Углеродистое вещество, ставролит, плагиоклаз, пирротин, рутил, ильменит, пирит, халькопирит, магнетит, ортит, клиноцоизит, апатит, циркон, диккит, лимонит.
Порфиробласт-ические	Выделение кианита в виде порфиробластов или идиобластов нередко гигантского размера.	Мусковит Кварц Кианит Плагиоклаз.	Ставролит, пирротин, рутил, ильменит, пирит, халькопирит, магнетит, ортит, клиноцоизит, апатит, циркон, лимонит.
Конкреционно-параморфичес-кие	Выделение кианита одновременно в виде крупных параморфоз и конкреций.	Кварц Кианит Мусковит	Углеродистое вещество, ставролит, плагиоклаз, пирротин, рутил, ильменит, пирит, халькопирит, магнетит, ортит, клиноцоизит, апатит, циркон, диккит, лимонит.

Средний минеральный состав кианитовых руд по данным И.В. Белькова [2] составляет для руды среднего качества (%): кианит 35, кварц 40, мусковит 10, ставролит 5, плагиоклаз 5, рутил + ильменит 1, сульфиды железа 2, графит и прочие минералы 2; для руды высокого качества: кианит 37-40, кварц 50-55, прочие минералы в сумме не более 10-12. Исследования химического состава кианитовых руд разных месторождений показали, что существенных различий в составе между ними не наблюдается. Отмечается обогащение Al_2O_3 в месторождениях с преобладанием конкреционных руд, что соответствует повышенной концентрации кианита в них. Результаты химических анализов руд [1, 2, 4], включая технологические пробы, показали, что игольчатые руды в отличие от конкреционных беднее Al_2O_3, но содержат больше щелочей, конкреционные обогащены Al_2O_3, Fe и, вероятно, более углеродистые. Об этом свидетельствует высокое содержание выгорающего компонента (ппп), к которому обычно относят H_2O, S и C. Количество H_2O и C по данным анализов не может компенсировать потери при прокаливании (табл. 4).

Таблица 4. Химический состав кианитовых руд разных типов*

Элементы	Тип руды			
	1(4)	2(7)	3(4)	5(1)
SiO_2	60,00-64,32 61,98	54,75-66,30 60,63	60,25-63,19 61,24	60,84
TiO_2	0,94-1,21 1,12	0,66-1,14 0,96	1,07-1,25 1,16	1,19
Al_2O_3	27,98-31,54 28,84	28,83-35,56 32,17	30,86-39,98 33,19	31,41
Fe_2O_3+ FeO	0,68-2,07 1,27	0,31-2,19 1,21	0,57-2,28 1,46	1,25
MgO	0,02-0,40 1,67	0,03-0,78 0,29	0,17-0,18	0,23
CaO	0,26-0,50 0,31	0,04-1,25 0,43	0,19-0,52 0,35	0,34
Na_2O+ K_2O	1,86-2,41 2,15	0,39-2,63 1,26	0,83-1,98 1,20	1,60
P_2O_5	0,08-0,17 0,09	(0,02-0,11)	(0,17-0,30)	0,19
MnO	(0,007)	(0,04)	(0,01-0,05)	-
H_2O-+ H_2O+	(0,09-1,01)	(0,04-1,18)	(0,05-0,2)	0,09
Cr_2O_3	(0.023-0.027)			
ппп	(1.31-2.12)	1,1-3,65 2,45	1,19-3,66 2,79	3,28
SO_3	(0.05-0.07)			
S	(0.41-0.97)	(0,24)	(0,2-0,36)	-
C	(0.59-1.14)	(1,1-1,74)		
Сумма	99.13-100.98 99.93	99,39-100 99,91	100,41-100,97 100,63	100,42

Примечание: прочерк – не обнаружено, в скобках – число проб и единичные определения, пустая клетка – нет данных

Текстура, структура и минеральный состав пробы КИ-2009

В 2009 г. возобновлены исследования обогатимости кейвских руд. На месторождении Новая Шуурурта отобрана технологическая проба (1 т) конкреционных руд. Ниже публикуются новые результаты исследования ее текстурно-структурных особенностей. Исследования текстуры в разрезах образцов позволили выделить в руде четыре компонента: кианитовые конкреции, кианитовые параморфозы, слюдисто-кварцевый субстрат и слюдисто-кварцевыми прожилки.

Минеральный состав руды КИ-2009 (табл. 5)

Главные минералы: кианит, кварц, мусковит, графит, рутил. Второстепенные минералы: пирротин. Редкие минералы: пирит, пентландит, сфалерит, галенит, алтаит, халькопирит, гидроксиды Fe. К основным текстурным элементам руды относятся: конкреции, параморфозы, кварцевый субстрат и слюдисто-кварцевые прожилки.

Конкреции

Согласно классификации И.В. Белькова, технологическая проба представлена конкреционным типом с примесью до 10% конкреционно-параморфической руды (рис. 1). Судя по содержанию мелких и крупных конкреций, руда относится к промежуточной разновидности (табл. 2). Главные элементы строения руды: конкреции, параморфозы, вмещающий субстрат и мусковито-кварцевые прожилки по плоскостям рассланцевания. Кианит сосредоточен в конкрециях и параморфозах.

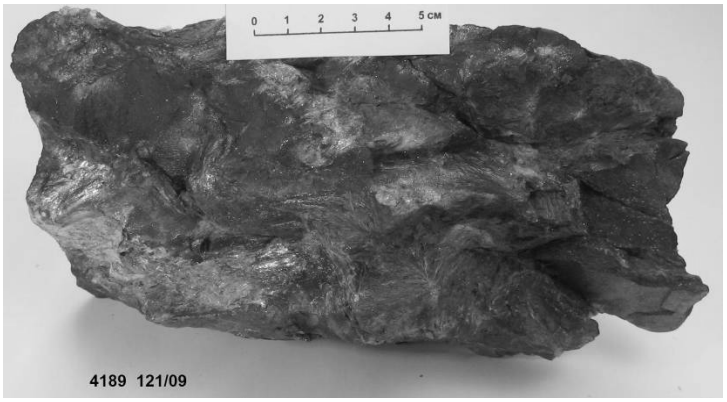


Рис. 1. Типичная узловатая текстура конкреционно-параморфической руды КИ-2009

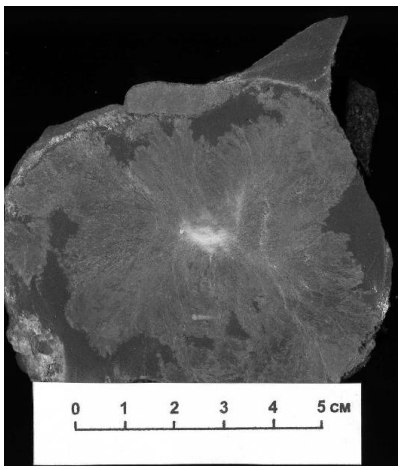


Рис. 2. Поперечный разрез крупной конкреции: радиально-лучистый агрегат кианита, в центре – осветленный кианит, вокруг конкреции – обрамляющий кварцево-слюдистый прожилок

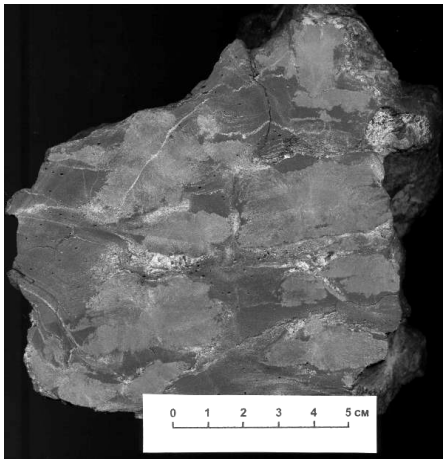


Рис. 3. Поперечный срез конкреционной руды с мелкими конкрециями кианита (светло-серое) и продольными прожилками кварц

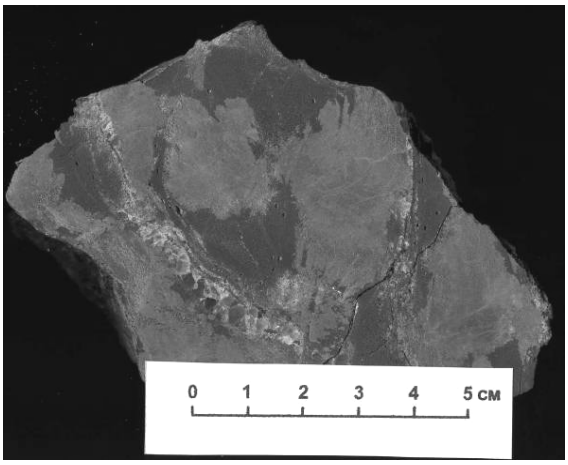


Рис. 4. Слюдисто-кварцевые прожилки в срезе конкреционной руды с мелкими конкрециями кианита (светло-серое)

Конкреции представляют собой уплощенные чечевицеобразные плотные образования. Они сложены радиально-лучистыми агрегатами игольчатого кианита. Конкреции хаотически распределены в кварцевом субстрате, подчинены сланцеватости и удлинением ориентированы по ней (рис. 2, 3). Сланцеватость подчёркнута многочисленными слюдисто-кварцевыми прожилками по плоскостям скольжения (рис. 4, 5), которые часто обрамляют крупные конкреции.



Рис. 5. Слюдисто-кварцевые прожилки (белое) на поверхности образца руды

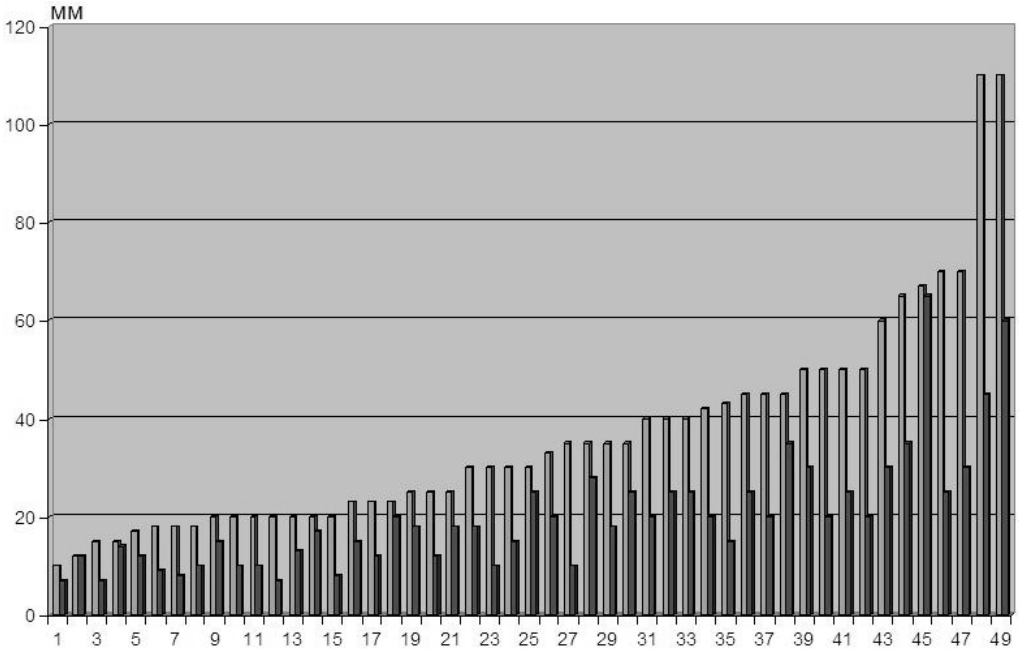


Рис. 6. Диаграмма размеров (серый – наибольший, черный – наименьший)

Конкреции обычно имеют лучистую структуру: пучки кианитовых кристаллов направлены от центра к периферии, в крупных конкрециях они растут несколькими слоями и заканчиваются в слюдисто-кварцевом субстрате (рис. 2). В центральной части крупных конкреций с радиально-лучистой текстурой иногда встречаются пятна белого кианита. В местах сгущения количества конкреций их размер уменьшается и они переходят в прожилки кианита (рис. 7).

В составе конкреций присутствует около 90% кианита (вариации 75-97, табл. 5), остальное составляют кварц (1-20%), мусковит (0-3%), рутил (0.1-2%) и графит (1-5%). Графит окрашивает конкреции в серый цвет, в отличие от белых и розовых параморфоз, в которых графит отсутствует.

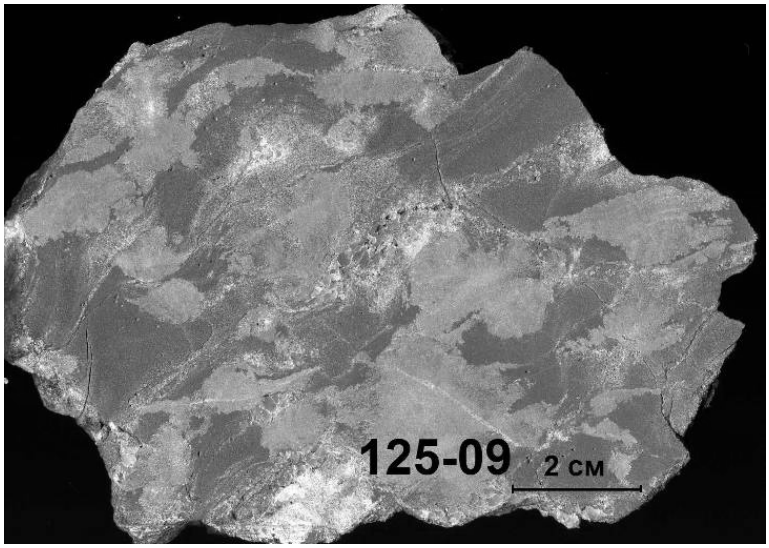


Рис. 7. Развитие мелких конкреций кианита (серое) в кварце (темно-серое). Видны сложные по форме конкреции, частью прожилкового типа

.Кварц образует включения в кианите, особенно в краевых частях конкреций (рис. 8). Поэтому содержание кианита в краевых частях конкреций ниже, чем в центральных. Размеры включений кварца менее 10 мкм.

Мусковит присутствует неравномерно, преимущественно в краевых участках конкреций, и концентрируется между зернами кианита.

Графит постоянно присутствует в конкрециях, обычно равномерно рассеян между зернами кианита (рис. 9) и в сами зёрна кианита не входит. Размеры пластинчатых зерен графита менее 7 мкм

Таблица 5. Минеральный состав пробы кианитовой руды КИ-2009.

Текстурный элемент	Параметры	Кианит	Кварц	Мусковит	Рутил	Графит	Примеси
Конкреции	Содержание, %	75-97	1-20	0-3	0,1-2	1-5	Пирротин, галенит
		Среднее 89	8		1	2	е.з.
	Размеры зерен, мм	Поперечное сечение 0,05-0,4	0,1	не опр.	0,03-0,2	0,005-0,075	0,005-0,01
		Удлинение до 1					
Параморфозы	Содержание, %	40-85	7-50	5-10	< 1	< 1	Пирротин, халькопирит, пентландит, сфалерит, галенит, алтаит, ковеллин
		Среднее 70	22	7			е.з.
	Размеры зерен, мм	Чистые блоки 0,2-0,6					
Кварцевый субстрат	Содержание, %	Нет	80-95	1-10	1-5	3-10	Пирротин, пирит
			88	6	2	5	
	Размеры зерен, мм		0,05-0,09 (0,7)	0,015-0,7	0,015-0,25	0,003-0,025	
Слюдисто-кварцевые прожилки	Содержание, %	Нет	85-93	5	1-10	0-1	Нет
	Размеры зерен, мм		5				

Рутил присутствует в конкрециях постоянно, может входить в виде очень мелких включений в кианит или обособляться среди кианита (рис. 10). В посдеднем случае в нём обычна примесь пирротина. Микровключения рутила в кианите составляют первые микроны (<5 мкм). Межзерновые выделения рутила более крупные – до 0.2 мм.

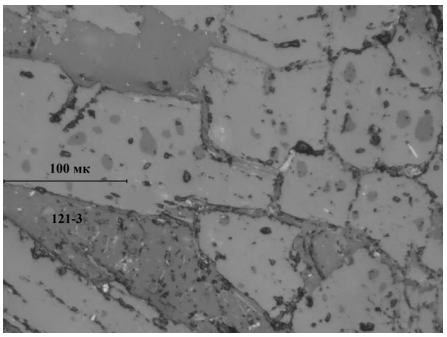


Рис. 8. Включения кварца в кианите (ситовидные зерна) на периферии конкреции. Отраженный свет

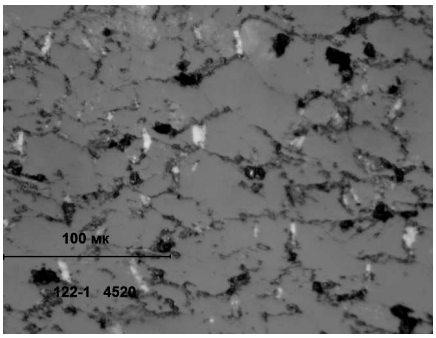


Рис. 9. Графит (светло-серое) среди зерен кианита

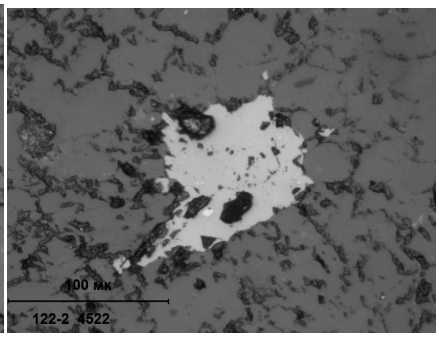


Рис. 10. Рутил (светло-серое) среди зёрен кианита в конкреции, в рутиле включения пирротина (белое)

Параморфозы

Параморфозы располагаются среди кианитовых конкреций часто имеют сложную угловатую форму, близкую к изометрической (рис. 11), но преобладают и удлиненные (рис. 12). Как и конкреции, параморфозы имеют линзовидную форму. Размеры параморфоз варьируют от 10 × 10 до 100 × 45 (рис. 13), составляя в среднем для 12 измеренных параморфоз 45.4 × 25.3 мм. Отношение длины к толщине составляет 1.8, как и у конкреций.

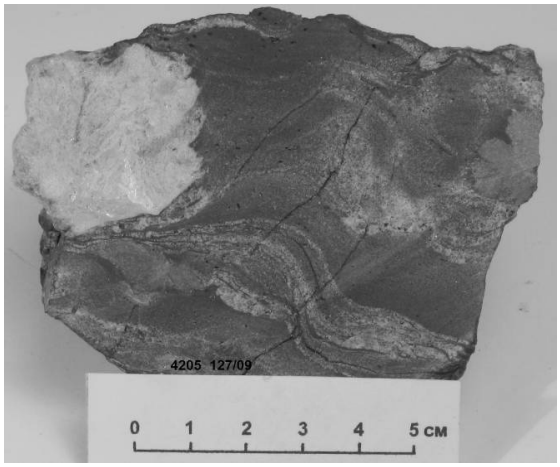


Рис. 11. Параморфический кианит в конкреционной руде. Поперечный срез. Белое – слюдисто-кварцевые прожилки

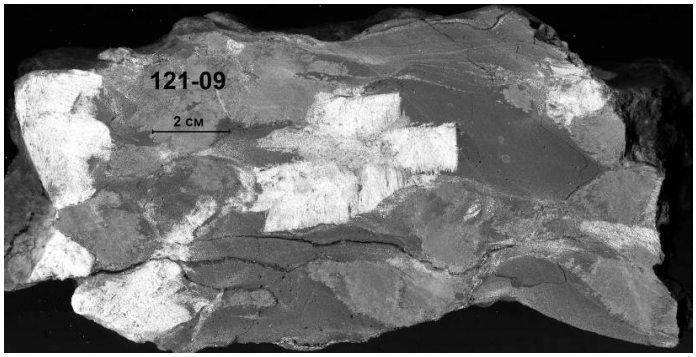


Рис. 12. Разнообразные формы выделения параморфического кианита (белое) среди конкреционного кианита (светло-серое)

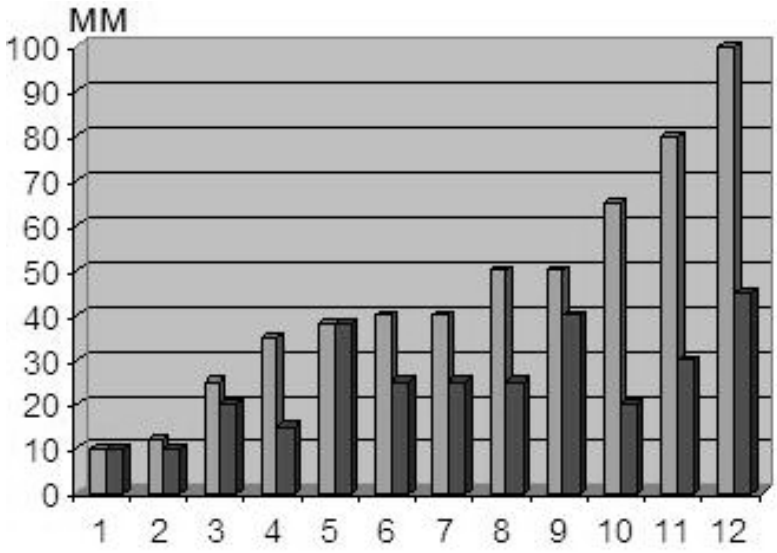


Рис. 13. Размеры параморфоз по удлинению (светло-серый) и в поперечном направлении (темно-серый)

Минеральный состав параморфоз

Параморфозы сложены крупными зернами кианита, но они сильно трещиноваты, разбиты на блоки и содержат множество включений. Поэтому объём кианита в параморфозах всего около 70% (вариации 40-85%, табл. 5), остальное составляют кварц (7-50%), мусковит (5-10%), примеси рутила и графита до 1% и единичные зерна сфалерита, галенита, пирротина, алтаита, халькопирита и ковеллина. В отличие от конкреций, в параморфозах блоки чистого кианита почти в 2 раза больше – 0.2-0.6 мм. Все минералы, кроме графита, встречаются в параморфозах в виде включений в кианите. Наиболее сложные взаимоотношения у кианита с кварцем (рис. 14-17). Весь кианит в параморфозах насыщен сложными угловатыми включениями чистого кварца. Наблюдаются прожилки по трещинам, в которых кварц ассоциирует с другими минералами.

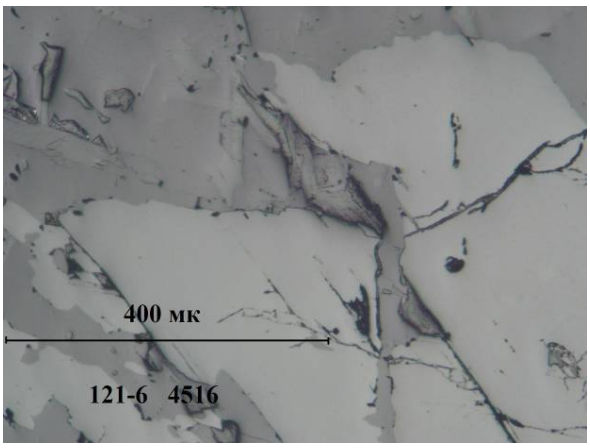


Рис. 14 . Краевая часть параморфозы: зёрна кианита (серое) на контакте с кварцем (тёмно-серое) и мусковитом

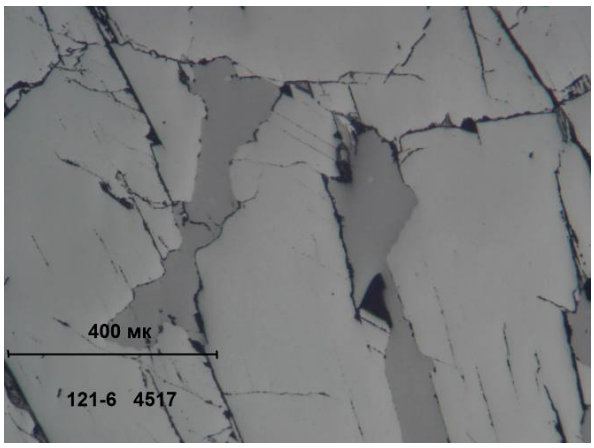


Рис. 15 . Средняя часть параморфозы: включения кварца (тёмно-серое) в кианите

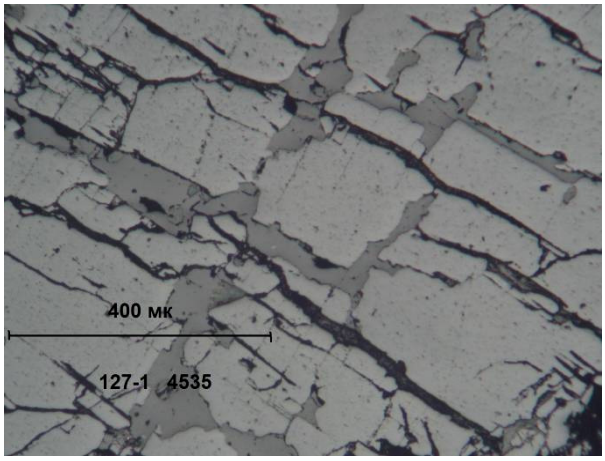


Рис. 16. Средняя часть параморфозы: прожилки кварца (тёмно-серое) в кианите (серое) по зоне дробления

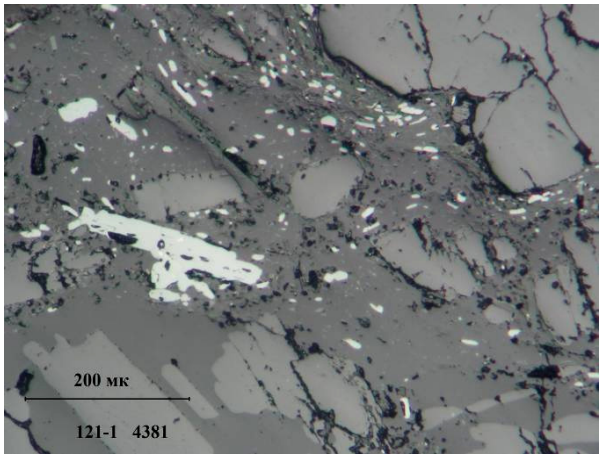


Рис. 17. Кварц-рутиловый прожилок, секущий параморфозу кианита

Сульфиды в параморфозах, как правило, включены в кианит (рис. 18-20), но тяготеют к трещинам, а также к рутилу.

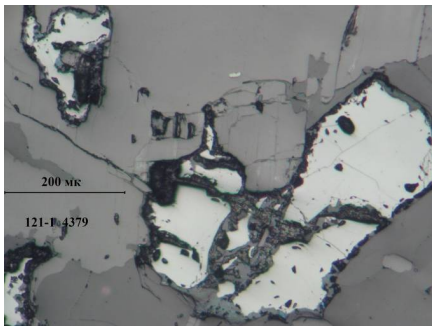


Рис. 18. Вростки сфалерита (белое) в кианите. По краям сфалерита – ковеллин

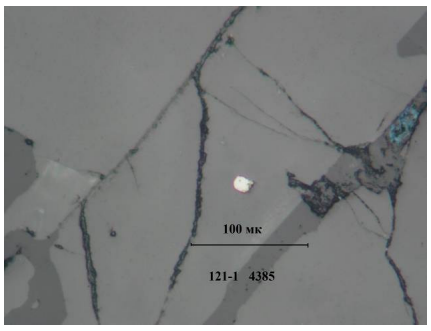


Рис. 19. Включение галенита (белое) в кианите, в трещинке – кварц и ковеллин (темно-серое)

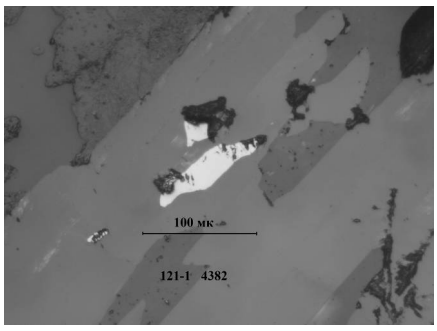


Рис. 20. Включения пирротина (белое) в кианите (серое)

Кварцевый субстрат

Конкреции и параморфозы кианита находятся в кварцевом агрегате, слагающем основную часть сланцев. Он является вмещающим для конкреций и параморфоз и тесно перемежается с ними, что позволяет относить его к субстрату (рис. 21). Субстрат представляет тонкозернистый агрегат: кварца (88 %, вариации 80-95%, табл. 5) с примесью мусковита (6%, вариации 1-10%), графита (5%, вариации 3-10%) и рутила (2%,

вариации 1-5%) (рис. 22-24). В его составе отсутствует кианит, отмечены пирит и редкие зерна пирротина в рутиле. Размеры зерен кварца менее 0.1 мм (0.05-0.09 мм). Субстрат пересекается зонами рассланцевания, разбит на клиновидные блоки. В отдельных блоках размеры зерен кварца увеличиваются до 0.7 мм. По тектоническим швам между блоками развиты жилки, обогащённые мусковитом и рутилом или графитом. Включения тонкозернистого графита дают чёрный цвет кварца в субстрате. Это отличает его от более позднего чистого жильного кварца.

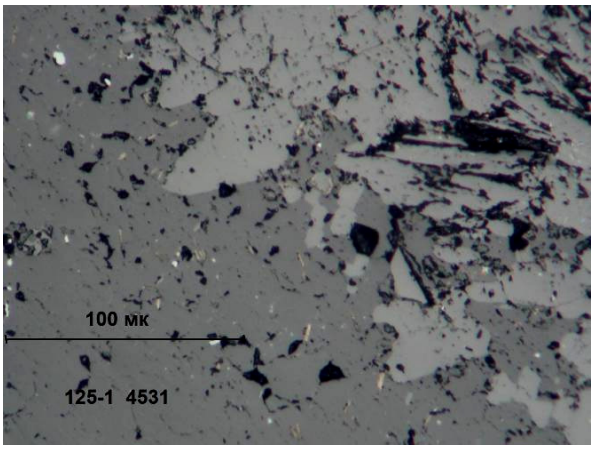


Рис. 21. Массивная текстура кварцевого субстрата (слева) на границе с конкрецией (справа): идиоморфные кристаллы кианита располагаются в тонкозернистом кварце с примесью графита и рутила

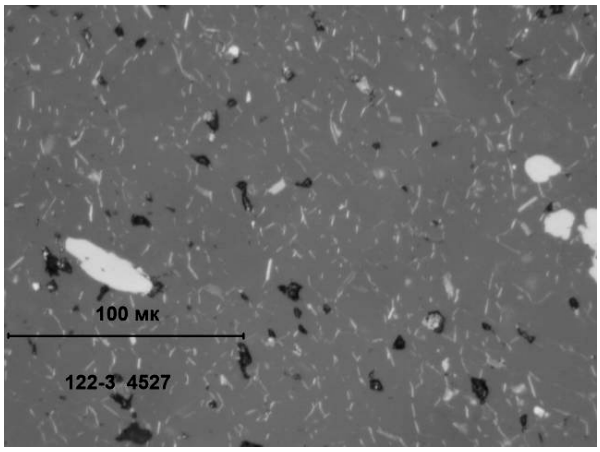


Рис. 22. Типичная массивная текстура слабонарушенного кварцевого субстрата с графитом (мелкая светлая вкрапленность) и рутилом (крупные белые зерна) на удалении от контакта с конкрециями и параморфозами

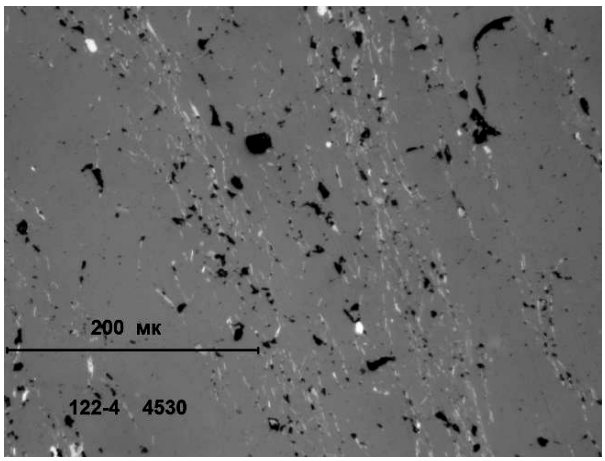


Рис. 23. Полосчатая текстура кварцевого субстрата с неравномерным распределением графита

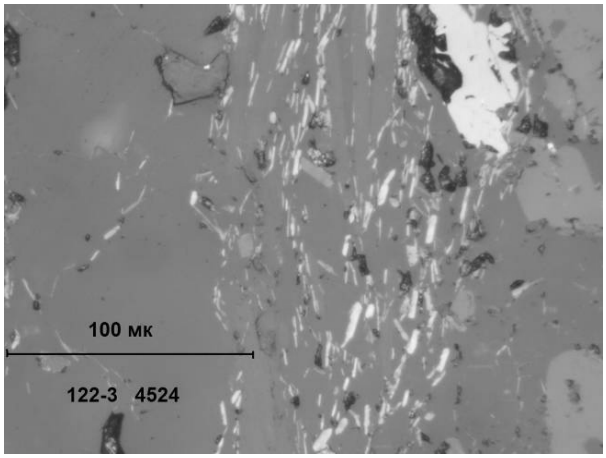


Рис. 24. Обогащение кварцевого субстрата графитом (светлые игольчатые выделения) и рутилом (крупные светло-серые выделения)

Слюдисто-кварцевые прожилки

Кроме кварцевого субстрата кианитовая руда содержит многочисленные слюдисто-кварцевые прожилки, приуроченные к плоскостям сланцеватости. Мощность прожилков до 5 мм. В основном они проходят по кварцевому субстрату (рис. 25), но пересекают параморфозы и конкреции. Конкреции обычно «обтекаются» ими, обрамляются по плавным плоскостям сланцеватости. Минеральный состав прожилков: кварц 85-93%, мусковит 5%, рутил 1-10%, графит 0-1%. Они не содержат кианита. Примесь рутила и графита в кварце возрастает в тонких прожилках. В более мощных прожилках чистого кварца обычно присутствуют тонкие прожилки по плоскостям скольжения, обогащённые мусковитом и рутилом (рис. 26). Они часто пересекаются, переходят один в другой (рис. 27) согласно плоскостям рассланцевания.

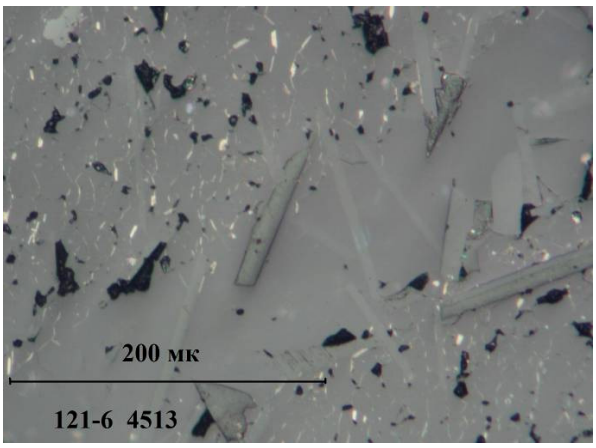


Рис. 25. Слюдисто-кварцевый прожилок в субстрате: видны продолговатые пластинки слюды в чистом кварце

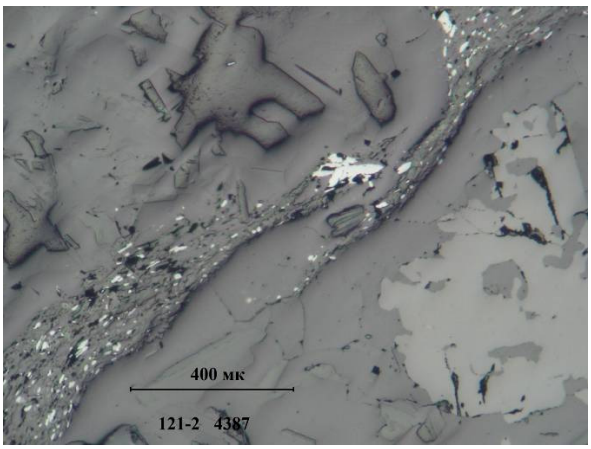


Рис. 26. Слюдисто-кварцевый прожилок, обогащённый рутилом

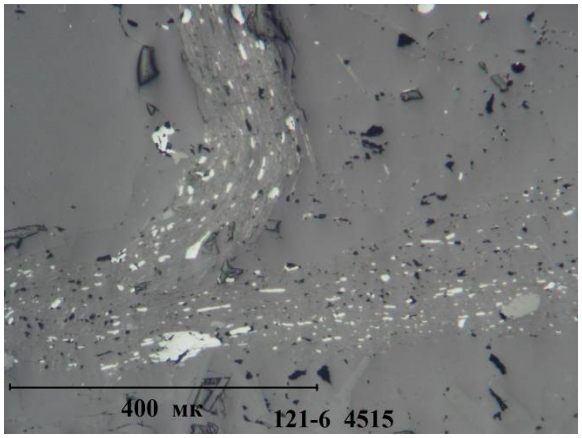


Рис. 27. Сочленение двух слюдисто-кварцевых прожилков, обогащённых рутилом

Заключение

Анализ текстурно-структурных особенностей и минерального состава технологической пробы, без учёта химического состава кианита и руды в целом, позволяет предположить возможность предобогащения кианита. С учётом размеров конкреций и параморфоз, рекомендуемые размеры частиц руды для предварительного обогащения могут быть 45, 37, 25 и 20 мм. При этом измельчении могут раскрыться конкреции и параморфозы. Оценочная средняя плотность конкреций с учётом включений кварца и без учёта пористости равна 3.43 г/см^3, параморфоз 3.27 г/см^3.

Суммарный объём конкреций и параморфоз составляет 48% объёма руды. Но можно предполагать, что конкреции будут переизмельчаться и не будут раскрываться в виде крупных частиц, поскольку они легко раскалываются. Конкреции, напротив, представлены агрегатом игольчатых кристаллов и должны быть устойчивыми к измельчению. Следует ожидать максимального извлечения продукта 40-43% при содержании кианита в нём до 89%.

Раскрытие кианита при измельчении зависит от размеров зёрен, которые варьируют от 0.05-0.4 мм в конкрециях до 0.2-0.6 мм в параморфозах. Оптимально измельчение до 0.2 мм, что позволит раскрыть основную массу зерен кианита в конкрециях и не допустить его переизмельчения в параморфозах.

В легкую фракцию при предобогащении должен перейти кварцевый агрегат субстрата и жильный кварц. Дальнейшее измельчение этого продукта позволит раскрыть рутил, графит и мусковит, которые могут быть частично извлечены флотацией. Но размеры графита и мусковита так малы, что их эффективное извлечение затруднительно.

Прямое извлечение сульфидной фракции из технологической пробы маловероятно, поскольку свободных сульфидов практически нет, а пирротин включён в рутил и должен извлекаться с ним. Зёрна пирротина значительно мельче зёрен рутила, что требует переизмельчения последнего для извлечения пирротина. Только опыты покажут, насколько эффективно сульфид будет извлекаться в рутиловый концентрат.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бельков И.В.* Кианитовые сланцы свиты кейв. Геологическое строение, кристаллические сланцы и кианитовые руды. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1963. 322 с.
2. *Бельков И.В.* Кианитовые месторождения // Минеральные месторождения Кольского полуострова. Л.: Наука, 1981. С. 163-177.
3. *Богданова В.С. и др*. Отчет по отбору технологической пробы крупно-конкреционных кианитовых руд месторождения Н. Шуурурта. Апатиты, 1969. Фонды ФГУП.
4. *Алексеев В.С.* Обогащение кианитовых руд // Освоение минеральных богатств Кольского полуострова. Мурманск: Мурманское кн. изд-во, 1974. С. 191-211.
5. *Алексеев В.С.* Теория и практика обогащения кианитовых руд. Л.: Наука, 1976. 199 с.

АЛЮМИНИЕВОЕ СЫРЬЕ, НОВЫЕ МЕТОДЫ И ПОДХОДЫ ГЛУБОКОЙ И КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ

Вахрушев А.В., Котова О.Б.

Учреждение Российской академии наук Институт геологии Коми научного центра УрО РАН, г. Сыктывкар

Алюминиевое производство в России одно из ведущих в мире, но, несмотря на это, собственного глиноземного сырья все-таки не хватает, а запасы бокситов в основном низкого качества. Из-за большого дефицита бокситового сырья Россия импортирует большие объемы из Австралии, Казахстана и других стран. Анализ сырьевых ресурсов бокситорудных районов Российской Федерации показал, что месторождения Тиманского региона (Республика Коми) являются реальным перспективным потенциалом сырьевой базы алюминиевой промышленности страны.

В Республике Коми выделяются два бокситоносных района среднедевонского и нижнекаменноугольного возрастов. Первый – это **Среднетиманский бокситорудный район,** представленный шестью месторождениями, включая Ворыквинскую группу: Вежаю-Ворыквинское, Восточное, Верхнещугорское месторождения этой группы разведаны и доведены до промышленного освоения. Второй – это **Южнотиманский бокситорудный район,** представленный бокситами осадочного происхождения. Средний минеральный состав бокситов в главных залежах южнотиманских месторождений приведен в работах [1, 2]. Основные разведанные и уточненные запасы бокситов представлены тремя промышленными месторождениями – Тимшерское, Пузлинское и Кедвинское. Уточненные запасы бокситов по категориям C_1 и C_2 составляют 60% от разведанных запасов Ворыквинской группы месторождений.

Основные запасы бокситов Среднего Тимана сосредоточены на Вежаю-Ворыквинском месторождении. Бокситы месторождения характеризуются различным качеством. Около 80% руд пригодны для переработки по способу Байера, 20% составляют спекательные руды. Основные рудообразующие минералы бокситов Вежаю-Ворыквинского месторождения представлены бемитом, гематитом, шамозитом, каолинитом, примеси составляют гидрослюды, кварц, рутил.

В результате геологического картирования месторождения выявляется, что выделяемые три типа руд не имеют четкой геометризации. Типы руд различаются по литолого-минералогическим показателям [3]. Необходимо подчеркнуть, что первый тип (гематит-бемитовый, красноцветные бокситы) составляет 77,7%, второй тип (гематит-шамозит-бемитовый, пестроцветные бокситы) – 19%, третий тип (каолинит-шамозит-бемитовый, пелитоморфные обеленные и красноцветные бокситы – 3,3%.

Среднетиманский бокситовый рудник (СТБР) как горнодобывающее предприятие был введен в действие ОАО “Боксит Тимана” в 1998 г. на основе сырьевой базы месторождения бокситов Ворыквинской группы. Эти бокситы по качественным характеристикам подразделяются на сорта: глиноземные, маложелезистые, абразивные, а по способам переработки делятся на байеровские и спекательные.

Бокситы глиноземистых сортов являются основным объектом добычных работ и направляются на переработку на Уральский, Бокситогорский и другие алюминиевый заводы России. Кроме того, бокситы поставляются на абразивные заводы.

Добыча руды на СТБР осуществляется как с применением традиционного буровзрывательного способа, так и с применением добычного комбайна фирмы Man Takraf, обеспечивающего тонкослоевую выемку руды, что позволяет вести селективную отработку руды. Из-за ограниченности запасов алюминиевого сырья необходима его глубокая комплексная переработка и рациональное использование. Уже при послойной выемке белоцветные бокситы худшего качества, как и низкожелезистые глинисто-глиноземистые породы и каолины извлекаются отдельно и могут быть использованы для производства цемента, минеральных сорбентов, коагулянтов и в других отраслях промышленности. Качество оперативно контролируется в экспертной лаборатории рудника с использованием современных экспресс-анализаторов и компьютерной техники.

Ресурсный потенциал бокситов Тиманского региона выявлен еще не в полной мере. Он может быть увеличен в результате доизучения месторождений (например, Светлинского) и прилегающих площадей, а также открытия новых.

Промышленное освоение бокситов месторождений Южнотиманской группы откладывается в силу ряда причин, в том числе из-за повышенной сернистости значительной части рудных запасов. Возрастающая потребность в алюминиевом сырье при истощении сырьевой базы приводит к поискам новых источников. В последние десятилетия резко возрос интерес к нетрадиционным видам алюминиевого сырья и освоению месторождений нового типа, к категории которых можно отнести проблемные алюминиевые руды с низким содержанием Al, ожелезненные и т.п., включая техногенные образования и отходы, а также достаточно интенсивно вовлекается в переработку тонкодисперсная составляющая алюминиевых руд [4].

Вовлечение в промышленную переработку нетрадиционного сырья требует создания эффективных экологически чистых технологий передела, позволяющих максимально извлекать все минералы и компоненты руд и пород, а также использовать их технологические и потребительские свойства. Одновременно происходит развитие обогатительных технологий, вовлечение в переработку бедных и проблемных бокситовых руд. За рубежом и в России успешно развиваются поисковые работы по перспективным направлениям применения тонкодисперсного бокситорудного сырья, в т.ч. и на наноразмерном уровне. Разрабатываются и внедряются наукоемкие технологии производства новых технических материалов. Сотрудниками Института химии Коми НЦ УрО РАН показана перспективность использования белоцветных маложелезистых бокситов (МЖБ) Среднего Тимана в производстве бронезащитной керамики и других керамических изделий с заданными проводниковыми свойствами [5].

Технологические исследования бокситов Тимана проводились на протяжении многих лет различными организациями, в их числе ВИМС, Механобр, ПечорНИПИнефть и др. Ими ставились задачи по определению кремниевого модуля бокситов и возможности переработки их методами Байера, Байера-спекания, разработке методов обогащения – флотация, обжиг, утилизация красных шламов и др. К составной части комплексной переработки алюминиевого сырья относится обессеривание бокситов. Одним из применяемых на практике способов обессеривания бокситов являются различные технологии обжига. В Институте геологии Коми НЦ УрО РАН Б.А.Остащенко с группой сотрудников был предложен другой возможный способ частичного обессеривания бокситов – это гравитационный способ разделения серосодержащих минералов (пирит, марказит) и минералов глинозема (бемит, гиббсит) и каолинита, основанный на разности в удельных весах указанных минералов. Наиболее популярными остаются различные методы обжига бокситов, в т.ч. в так называемом “кипящем слое” с подачей в реакционную зону кислорода. Другой способ удаления серы из сульфидсодержащих бокситов известен как кучное выщелачивание [6]. По мнению авторов, этот способ обессеривания бокситов более экологически безопасен.

Для удаления избыточного количества железа могут применяться различные способы: химические, флотационные, магнито-сепарационные. Наиболее эффективными являются химические различные методы химического способа. В одной из работ [7] отмечено, что 94% оксидов железа удалялось при использовании соляной кислоты. Однако в условиях крупномасштабного производства такой метод неприемлем из-за экологической безопасности. В то же время широкой популярностью пользуются физические методы обогащения с применением высокоградиентных магнитных сепараторов. Степень извлечения железа, например, в каолинах составляет до 50%. Использование таких сепараторов может не только улучшить технологические показатели глиноземного производства, но и значительно увеличить сырьевой потенциал низкожелезистых бокситов Среднетиманского бокситорудного района.

Комплексный подход к бокситовому сырью, включающий методы предварительного обогащения (флотация), обжиг, утилизацию красных шламов, переработку бокситов с получением чугуна и строительных материалов (цемента), позволяет значительно снизить его себестоимость. Анализ химического состава показал, что содержание примесей между марками глинозема, полученного из боксита Средне-Тиманского месторождения, отличается незначительно и не превышает требований ГОСТа 30558-98. Однако по физическим свойствам ни одна рассматриваемая марка глинозема не удовлетворяет требованиям зарубежных стандартов. Для рентабельного производства алюминия из сырья с низким содержанием полезного компонента должны использоваться недорогие технологии обогащения руды. Для решения проблем этого плана необходимо применение современной инструментальной базы для более глубокого изучения физико-химических характеристик алюминиевого сырья и выявления влияния их на технологические показатели при производстве алюминия, включая глинозем тонких фракций (-45 мкм и меньше).

Одним из перспективных неразрушающих методов исследования является рентгенодифракционный метод. Метод рентгеновской рефлектометрии (РР) позволяет решать некоторые специфические задачи, недоступные для других методов. Например, выявлять и изучать наноструктурные образования в природных алюмосиликатных комплексах, которые можно рассматривать в качестве нетрадиционных видов сырья для получения алюминия. Этот метод позволяет с высокой точностью оценить физические и геометрические свойства исследуемых объектов, измерить диаметр пор и наноструктур.

В основе РР лежит измерение отражательной способности в интервале малых углов скольжения (вблизи полного внешнего отражения – ПВО). Наибольшее развитие получил интегральный метод, с помощью которого можно определить такие параметры, как плотность материала, среднеквадратичную высоту шероховатости поверхности и толщину пленки, нанесенной на гладкую поверхность. Также широко используются исследования поверхности на основе дифференциальных кривых РР. Угловое распределение коэффициента отражения определяется диэлектрической постоянной вещества и характеристиками поверхности.

Разработан надежный метод не только изучения физико-химических свойств тонкодисперсной составляющей, но и отслеживания структурных изменений тонкодисперсной составляющей алюминиевых руд. Предложена методика исследования приповерхностных слоев алюмосиликатных комплексов методом РР для оценки с высокой точностью их физических и геометрических свойств, а также тонких пленок, наносимых различными способами на алюмосиликатные подложки, измерения диаметра пор и нанотрубок в малой нанометровой области [4]. Получена следующая зависимость распределения интенсивности от угла сканирования. Для определения пористости используется соотношение теоретических и экспериментальных значений углов ПВО.

$$\theta_{\text{эксп}} = \theta_{\text{теор}}(1\text{-}P)^{1/2} \qquad (1)$$

Методика необходима для контроля качества физико-химических (например, сорбционных) свойств и (или) при создании из техногенных отходов бокситовых производств новых веществ (сорбентов, катализаторов, строительных материалов). Например, обжиговым способом получают активированный боксит с высокой адсорбционной емкостью, используемый в качестве сорбентов в различных отраслях производства, в том числе для обесцвечивания нефтепродуктов, удаления из них серы и получения высокоактивированного бензина [6].

В частности, полученные данные по методике рефлектограммы позволили произвести оценку диаметра пор анальцима, которая составляет 5 нм и хорошо согласуется с данными других исследователей [8]. Используя соотношение теоретического и экспериментального значений углов полного внешнего отражения, стало возможным определить пористость по формуле (1). Она получилась равной 17%. Кроме того, были оценены параметры нанотрубок анатаза, которые согласуются с данными полученными другими методами [8]. Следует отметить, что анальцимсодержащие породы имеют значительное распространение на Тимане (содержание анальцима достигает 80%) и могут быть рассмотрены как перспективное сырье на бедные алюминиевые руды. Так, например, в работе предложены методы направленного модифицирования их физико-химических свойств и изменения параметров структуры слагающих минералов на примере кислотного, термического, акустического методов воздействия, что можно принимать за основу для разработки эффективных технологических процессов, включая получение алюминиевого сырья [9].

В процессе исследования нами были изучены шлифы, пробы бокситов Среднего Тимана (Вежаю-Ворыквинского месторождения). В дальнейшем планируется аналогичное изучение объектов Южного Тимана. **Основными методами** исследования были определены: рентгеновский фазовый анализ (работы выполнены в Институте геологии Коми НЦ УрО РАН и ВИМСе) и Мессбауэровская спектроскопия (МИСиС, аналитик В. Коровушкин), петрографический анализ (ВИМС аналитик С.Е.Сорокина). Почему были выбраны именно эти методы? В результате литературного обзора предыдущих исследований было выяснено, что определение достоверной концентрации гетита в бокситах не всегда может быть получено такими классическими методами, как термография и ИК-спектроскопия, так как в диагностической области могут присутствовать эндоэффекты и полосы поглощения других минералов в пробах. В то же время сопоставление данных количественного определения гетита показало, что дифрактометрическим методом регистрируется общее количество гетита, а методом ядерного гамма резонанса количество тонкодисперсного и раскристаллизованного гетита в отдельности. Сходимость результатов метода хорошая. Сопоставление данных рентгеновской дифрактометрии и Мессбауэровской спектроскопии позволяет определить содержание гематита, величину изоморфного замещения в гетите и гематите, количество ионов двух и трехвалентного железа, их неэквивалентные кристаллографические позиции и перестройку структуры. Рентгеновская дифрактометрия по литературным данным применялась для качественного и количественного анализа содержания минералов в породах, для получения среднестатистических сведений о дальнем порядке расположения ионов в кристаллической решетке. Данные рентгеновского анализа сопоставлялись с петрографическим анализом шлифов образцов.

Получены следующие данные по минеральному составу: главные: бемит – 37%, гематит – 23%; второстепенные: гетит – 2%, анатаз – 1,5%, рутил – 1,5%, диаспор – 1%, шамозит – 1%, возможно наличие вудхаузеита до 1%, для точного определения его наличия требуются дополнительные исследования. По данным петрографического анализа: основная ткань руды на 40% сложена микрокристаллическими агрегатами бемита, диаспора, анатаза, рутила и шамозита (фазы определены с помощью рентгенографического фазового анализа), которые совместно с конкрециями и пустотами выщелачивания образуют оолитовые выделения. Оолиты секутся гематит-гетитовыми (фазы определены с помощью рентгенографического фазового анализа) прожилками (мощностью около 1,5 мм), также местами имеющие форму конкреций. Бемит-диаспор-шамозит-анатаз-рутиловые агрегаты имеют обломочную структуру и содержат включения беспорядочно расположенных зерен, со средним размером до 0,07 мм. Порода в нескольких местах сечется «сухими» трещинами с максимальной мощностью 0,4 мм.

Для Вежаю-Ворыквинского месторождения был проведен гранулометрический анализ проб дробленных до 1 мм по методике отработанной в лаборатории геологии кайнозоя (аналитик Т.М. Тимошенко). Выявлены некоторые особенности распределения вещества в зависимости от гранулометрического состава (табл.).

Таблица. Гранулометрический состав бокситов Вежаю-Ворыквинского месторождения

Размер частиц, мм	1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,03	0,03-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001
%	5,1	14,1	25,6	18,2	17,3	0,2	1,0	3,7	8,9	5,9

В заключение необходимо подчеркнуть, что на Тимане существует два разных минералого-технологических типа бокситов – каолинит-гиббситовый бессернистый и каолинит-бемитовый сернистый. При существующих технологиях бокситы первого типа могут вводиться в технологические схемы без предварительной подготовки, тогда как большая часть бокситов второго типа в вышеуказанных отраслях производства возможна лишь после удаления серы по ГОСТу. Разрабатываемые новые методы и подходы позволют более эффективно использовать алюминиевое сырье при глубокой комплексной переработке и расширить сферы потребления как самого сырья, так и утилизацию отходов.

Работа выполняется в Институте геологии Коми НЦ УрО РАН в рамках программы ОНЗ-3 проекта "Развитие научных основ эффективных технологий глубокой и комплексной переработки труднообогатимых руд и углей" 09-Т-5-1012 в тесном сотрудничестве с ООО «Боксит Тимана», часть исследований выполнена в «ВИМСе» и МИСиСе.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Беляев В.В.* Минерально-сырьевая база алюминиевой промышленности России: состояние и перспективы. Сыктывкар: Коми научный центр УрО РАН, 1999. 66 с.

2. *Беляев В.В.* Маложелезистые белоцветные бокситы: распространение, состав, промышленное использование // Научные достижения – практике. Вып. 126. Сыктывкар: Коми научный центр УрО РАН, 2009. 44 с.

3. *Демина В.Н.* Бокситовые месторождения Среднего Тиммана // В сб.: Генетическая классмификация и типы бокситовых месторождений СССР. М., Наука, 1974.

4. *Вахрушев А.В., Любинский И.Ф., Котова О.Б.* Новые методы и средства комплексной переработки алюминиевого сырья Республики Коми // Материалы XV Геологического съезда РК: Геология и минеральные ресурсы европейского северо-востока России. Сыктывкар: Геопринт, 2009. С. 349-351.

5. *Голдин Б.А., Секушин Н.А., Рябков Ю.И.* Электропроводящая керамика на основе маложелезистых бокситов Среднего Тимана. Сыктывкар, 1992. 13 с.

6. Кучное выщелачивание благородных металлов. М.: Изд-во Академии горных наук, 2001. 647 с.

7. Север: наука и перспективы инновационного развития / Отв. ред. В.Н. Лаженцев. Сыктывкар, 2006. 400 с.

8. *Котова О.Б., Понарядов А В., Вахрушев А.В., Шушков Д.А.* Адсорбционные процессы и рентгенометрия минеральных наносистем // Материалы Международного минералогического семинара. Сыктывкар: Геопринт, 2008. С. 50–51.

9. *Котова О.Б., Шушков Д.А.* Анальцимсодержащие породы Тимана как потенциальный источник получения алюминиевого сырья // Материалы второго российского семинара по технологической минералогии: Значение исследований технологической минералогии в решении задач комплексного освоения минерального сырья. Петрозаводск: Изд-во КНЦ РАН, 2007. С. 21–24.

10. Девон в минерально-сырьевом потенциале Тимано-Североуральского региона / Н. П. Юшкин, И. Н. Бурцев, Б. А. Остащенко, Н. А. Малышев, В. В. Беляев. Сыктывкар: Геопринт, 2003. 40 с.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУД В СЕРПЕНТИНИТАХ (НА ПРИМЕРЕ ПЕЧЕНГИ)

Ракаев А.И.[1], Нерадовский Ю.Н.[2], Черноусенко Е.В.[1], Морозова Т.А.[1]

[1] Учреждение Российской академии наук Горный институт Кольского научного центра РАН, г.Апатиты
[2] Учреждение Российской академии наук Геологический институт Кольского научного центра РАН, г.Апатиты

Введение

Вкрапленные руды в серпентинизированных перидотитах являются основным сырьем для перерабатывающих предприятий Печенгского района. Интенсивное освоение медно-никелевых руд Печенги привело в настоящее время к необходимости разработки более бедных руд, в которых значительно изменяются технологические свойства. Вместо традиционных хорошо изученных вкрапленных и брекчиевидных руд [1, 2], в качестве альтернативных в Печенгском рудном районе рассматриваются и тонковкрапленные руды в серпентинизированных перидотитах [3]. Руды такого типа распространены во многих массивах серпентинитов в Печенгском рудном поле [4]. Целью настоящих исследований являлось изучение вещественного состава и технологических свойств таких руд одного из массивов центральной части Печенгского рудного поля [5].

Печенгское рудное поле сложено туфогенно-осадочными и вулканогенно-осадочными породами четвертой (Пильгуярвинской) толщи печенгской серии и прорывающими их интрузиями ультраосновных-основных пород, относящихся к габбро-пироксенит-перидотитовой (верлитовой) формации. Сульфидные медно-никелевые руды приурочены к ультраосновным породам, представленным в основном серпентинитами. В рудном поле установлено более 300 массивов

ультраосновных пород, в 15 из них присутствует промышленное оруденение. Главными типами руд являются вкрапленные руды в ультраосновных породах и жильные руды в тектонических нарушениях [6]. Среди вкрапленных руд выделяются рассеянно-вкрапленные и густо-вкрапленные, среди жильных руд – брекчиевидные и сплошные. Незначительное развитие имеют также гнездово-вкрапленные руды в ультраосновных породах и прожилково-вкрапленные в туфогенно-осадочных породах. Промышленные руды в основном располагаются в придонных частях массивов и в экзоконтакте. Типичные промышленные руды Печенги характеризуются высоким содержанием сульфидов (6.5-92% масс.), среди которых одним из главных минералов является пирротин (30-75% в сульфидной массе).

В рудоносных массивах объем вторичной сульфидной минерализации приближается к бедным промышленным рудам. Минеральный состав и технологические свойства таких руд не изучены и могут представлять интерес в перспективе. К таким рудам относятся, например, вкрапленные руды массива Соукер. По сообщению компании Kola Mining (Интернет-сайт) это месторождение содержит 103 млн. т подтвержденных запасов руды с содержанием 0.26% Ni и 0.06% Cu и 261 млн.т предполагаемых запасов с содержанием 0.24% Ni и 0.06% Cu, что в сумме составляет 898 тыс.т Ni. Таким образом, в серпентинитах сосредоточены крупные запасы руд с низким содержанием никеля. Это обусловливает необходимость создания новой технологии переработки руд в серпентинитах, как нового вида сырья для предприятий Печенги.

Минералого-петрографические исследования

Рассматриваемый массив представляет расслоенное интрузивное тело, в составе которого присутствуют габбро, пироксениты и верлиты (рис.1). Габбро и пироксениты слагают висячий бок массива, верлиты – лежачий. Верлиты в разрезе массива перемежаются с оливинитами и пироксеновыми оливинитами, мощности оливинитов и верлитов достигают 50-60 м. Все эти породы превращены в серпентиниты.

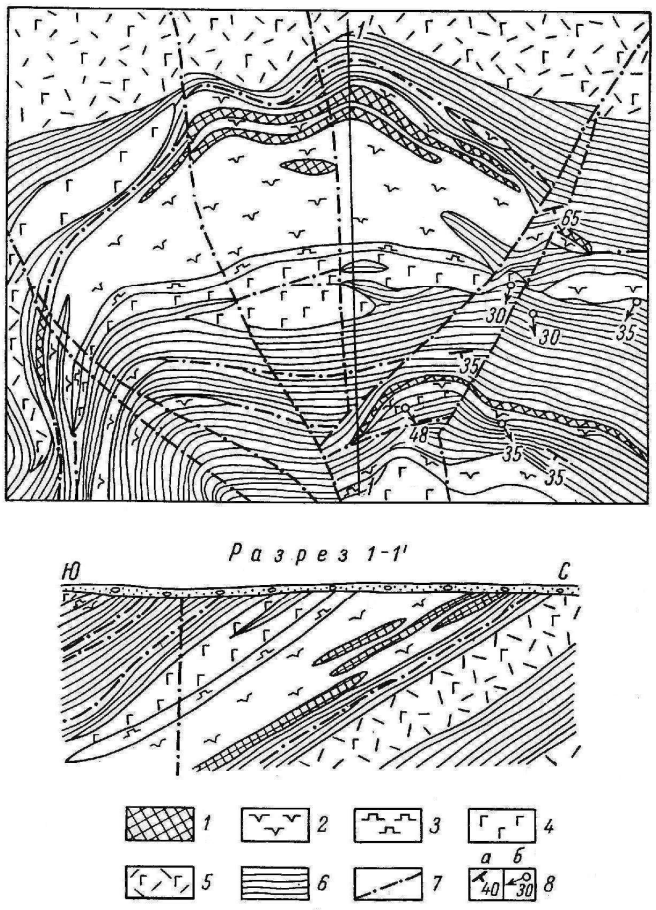


Рис. 1. Схематическая геологическая карта и разрез массива
1 – вкрапленные руды в серпентинитах; 2 – серпентинизированные перидотиты; 3 – пироксениты; 4 – габбро; 5 – габбро-диабазы; 6 – туфогенно-осадочные породы; 7 – разрывные нарушения; 8 – элементы залегания пород и складок

Серпентинизация проявлена неравномерно, наблюдаются значительные колебания содержания пироксена и оливина, в некоторых участках мощностью до 10-15 м серпентиниты содержат реликты оливина до 20-30%.

Главные породообразующие минералы представлены серпентином, клинопироксеном (авгитом), оливином, биотитом и хлоритом. В серпентинитах повсеместно отмечается широкое развитие прожилков хризотил-асбеста, в локальных секущих зонах развиты талькиты.

Главными рудными минералами являются пентландит, халькопирит, пирротин. В серпентинитах пирротин часто отсутствует, а встречается в основном в породах, обогащенных пироксеном. Второстепенные рудные минералы: миллерит, хизлевудит, борнит, самородная медь. Из этих минералов миллерит местами образует мономинеральную вкрапленность, особый тип оруденения – миллеритовый, медь самородная встречается повсеместно, но эпизодически, борнит и хизлевудит отмечаются реже двух предыдущих минералов, но везде. В качестве примесей присутствуют: макинавит, пирит, графит, титанит, валлериит, сфалерит. Акцессорные минералы: хромшпинелиды и ильменит. Хромшпинелиды рассеяны равномерно, около 3%, кое-где концентрация повышается до 5%. Ильменит присутствует в объеме до 2 % в оливинитах, до 10% в приконтактовых пироксенитах. Широко развит поздний магнетит, метаморфического происхождения, наложенный на силикаты, хромшпинелиды и сульфиды. Вариации содержания магнетита в руде достаточно широкие, в отдельных зонах он составляет до 20%, но преимущественно 3-10%.

В отличие от типичных руд Печенги содержание сульфидов в руде из серпентинитов низкое 1.5-3.5%, вкрапленность обогащена пентландитом и обеднена пирротином. В типичных рудах содержание пирротина в сульфидной массе составляет от 27 до 73%, а в серпентинитах менее 35%, или он полностью отсутствует (табл. 1).

Таблица 1. Минеральный состав вкрапленных руд в серпентинитах и типичных руд Печенги, % об.

Тип руд	Пирротин	Пентландит	Халькопирит	Миллерит	Сумма окислов
Типичные вкрапленные руды Печенги					
Густо-вкрапленная	27	43	30	-	7
Рассеянно-вкрапленная	73	17	10	-	5
Вкрапленные руды в серпентинитах					
Пирротин-пентландит-халькопиритовая	0.64(35)	0.95(52)	0.25(13)	-	9
Халькопирит-пентландитовая	-	1.2(89)	0.15(11)	+	9
Миллеритовая				1.35(100)	11

Главной специфической особенностью руд в серпентинитах является широкое развитие эпигенетической вкрапленности пентландита, миллерита и магнетита, за счет изменения сингенетической вкрапленности и метаморфизма первичных силикатных минералов. Эта особенность обусловлена присутствием в первичных породах небольшого количества первичной сульфидной вкрапленности и никеленосного оливина, реликты которого встречаются в серпентинитах. Содержание примеси никеля в оливине составляет в виде NiO в среднем 0,267, а в серпентине 0,056%, что в пересчете на металл Ni составляет в оливине – 0,21%, в серпентине – 0,044%. В процессе замещения из оливина выделяется избыток никеля и железа, которые не входят в структуру серпентина, и поэтому «сбрасываются» среди серпентина в виде зерен пентландита, миллерита и магнетита. Выделения сульфидов характеризуются большим разнообразием форм от равномерной пылевидной вкрапленности до гнездообразной и прожилков, в которых пентландит ассоциирует, прежде всего, с магнетитом, а также с халькопиритом, пирротином, борнитом, халькозином, валлериитом и другими минералами. В отдельных участках вместо пентландита активно развит миллерит в аналогичных формах.

Наиболее распространена тонкая вкрапленность пентландита (рис. 2) и магнетита (рис. 3), реже развита вкрапленность миллерита (рис. 4). Тонкая вкрапленность спорадически насыщает серпентинизированные породы с локальными перепадами содержания, в пределах псевдоморфоз серпентина по оливину или вдоль тектонических трещин. Пентландит, миллерит и магнетит преимущественно образуют мономинеральную вкрапленность, но иногда образуют и сростки, как во вкрапленниках, так и в жилках (рис. 5).

В балансе тонкой вкрапленности около 80% составляет пентландит, а 20% -халькопирит, борнит и миллерит. В миллеритовой вкрапленности — 100% миллерита. Размеры зерен минералов в этой вкрапленности составляют 0.001-0.2 мм. Содержание вкрапленности варьирует от 1.1 до 2.7 % в объеме руды.

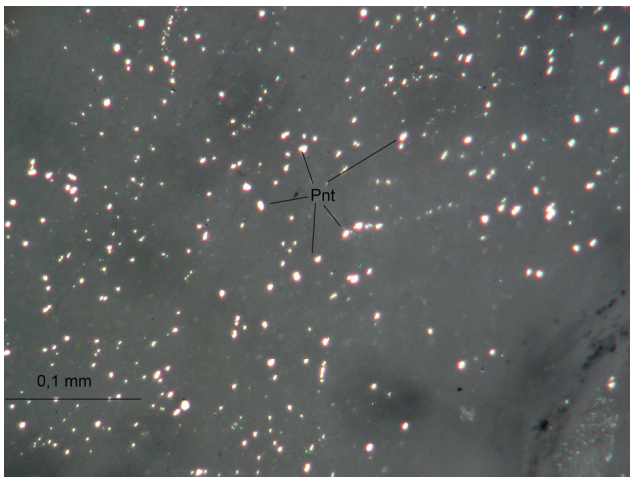


Рис. 2. Пылевидная вкрапленность пентландита в серпентине

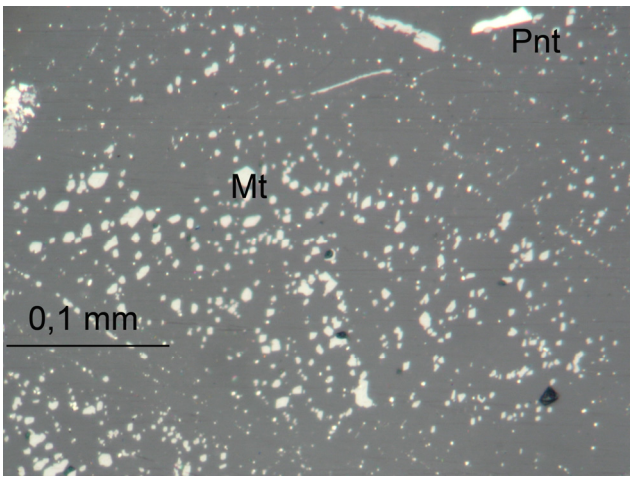


Рис. 3. Пылевидная вкрапленность магнетита в серпентине

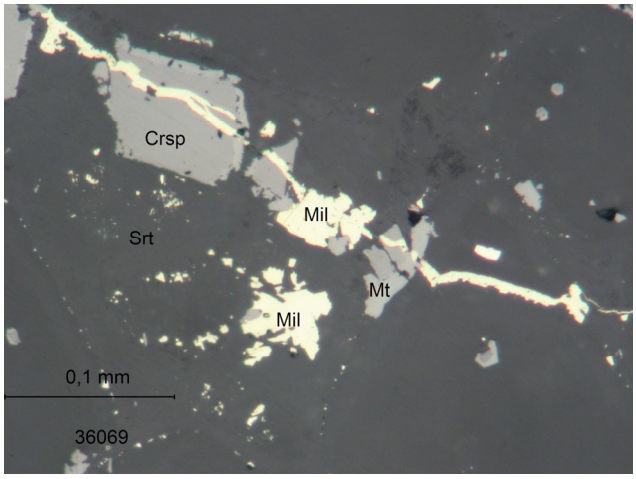


Рис. 4. Миллеритовая вкрапленность и жилки с магнетитом

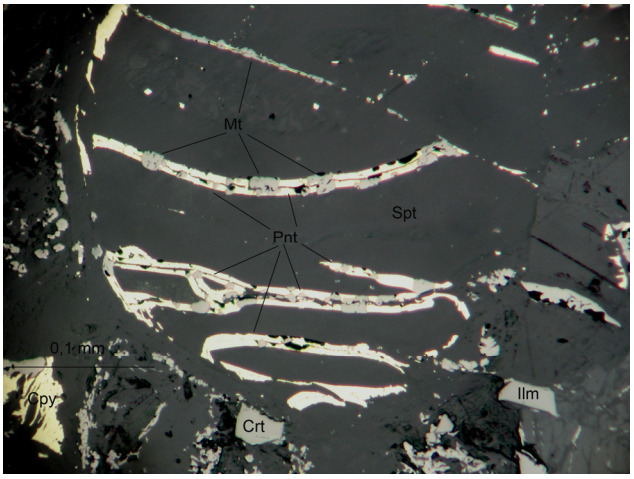


Рис. 5. Магнетит-пентландитовые прожилки в серпентине

Эти особенности вкрапленности обусловливают сложности обогащения руды, поскольку эффективность раскрытия минералов зависит от формы выделения. К наиболее труднообогатимой руде относится руда с широким развитием равномерной пылевидной вкрапленности пентландита. Раскрытие рассматриваемой вкрапленности механическими способами представляет большую сложность.

Наряду с тонкой эпигенетической вкрапленностью пентландита и магнетита в серпентине руды в серпентинитах содержат реликты сингенетической вкрапленности, представляющей комплексную минеральную ассоциацию пирротин + пентландит + халькопирит + магнетит, в которой магнетит является поздней фазой и замещает сульфиды (рис. 6). Состав вкрапленности широко варьирует, но в основном магнетитовый с включениями сульфидов до 20-30%. Замещению подвержен преимущественно пирротин, поэтому сульфидная масса содержит 70-80% пентландита, 10-20% халькопирита, первые % пирротина. Размеры этой вкрапленности составляют 0.1-1.0 мм. Содержание ее в руде варьирует от 0.9 до 2.5%. Генезис вкрапленности связан с магматическим этапом, она относится к сингенетической вкрапленности, метаморфизованной в условиях зеленосланцевой фации. В процессе метаморфизма первичная сульфидная вкрапленность была замещена магнетитом. Морфологически вкрапленность представляет собой неправильные угловатые вкрапления сульфидно-магнетитового состава среди первичных силикатов – оливина и пироксена, во вкрапленниках сульфиды в разной степени замещены магнетитом, в среднем замещение около 80%. Оливин нередко сохранен в ядрах зерен серпентина (рис. 6). Классическое название текстуры такой вкрапленности – сидеронитовая вкрапленность [1]. Она относится к первичной сингенетической сульфидной ассоциации.

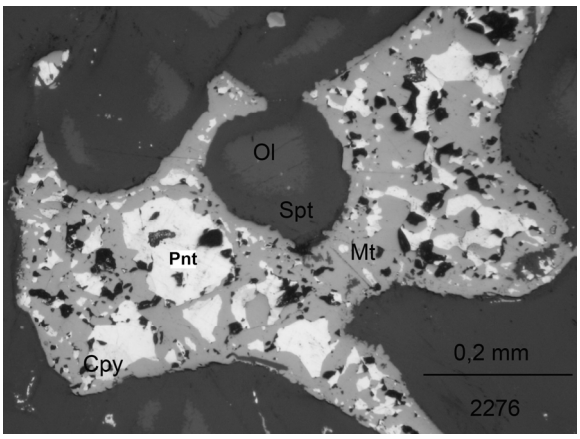


Рис. 6. Вкрапленность с тесным срастанием сульфидов и магнетита

Таким образом, главными особенностями руд в серпентинитах являются:

– широкое развитие никелевых минеральных фаз в виде самостоятельной вкрапленности;

– мелкий размер сульфидной вкрапленности: около 15% сульфидов находится в зернах размером менее 2-5 мкм, представляет нано– и микрочастицы, которые относятся к труднораскрываемой вкрапленности, состав ее преимущественно пентландитовый или миллеритовый;

– присутствие никельсодержащих силикатных фаз, доля силикатного никеля в руде составляет около 8%;

– развитие в руде тонковолокнистой разновидности серпентина – хризотил-асбеста.

Технологические исследования

Технологические исследования осуществлялись на частных пробах руды, отличающихся содержанием ценных компонентов и различной интенсивностью развития хризотил-асбеста, и основной технологической пробе, характеризующей оруденение в целом.

Отмеченные особенности оруденения обусловили проведение детальных исследований закономерностей измельчения руды и раскрытия сульфидов никеля и меди. Показано, что руду целесообразно измельчать в две стадии: в I стадии – до крупности 50% кл. -0.07 мм при использовании стержневой мельницы, а во II стадии – до крупности 85-90% класса -0.07 мм при использовании шаровой мельницы.

В соответствие с выбранным направлением развития рудоподготовки проведены исследования по флотационному обогащению руды. Для флотации в качестве собирателя применялся бутиловый ксантогенат калия, вспенивателя – бутиловый аэрофлот натрия, регулятора среды – кальцинированная сода, активатора сульфидных минералов – медный купорос, депрессора пустой породы – карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ). Для улучшения селективности разделения в качестве дополнительного депрессора использовался гексаметафосфат натрия.

Сравнительные флотационные испытания проб руды с различным содержанием хризотил-асбеста показали отрицательное влияние этого минерала на флотационный процесс. Флотация руды с повышенным содержанием хризотил-асбеста характеризуется снижением селективности процесса в основных и перечистных операциях, значительным увеличением выхода пенного продукта. Так, выход чернового концентрата при обогащении такой руды в два раза превышает выход, полученный при флотации руды с незначительным содержанием хризотила, что приводит к снижению качества концентрата и повышенному расходу депрессора силикатов (КМЦ) в перечистных операциях.

Установлено, что использование гексаметафосфата при флотации в щелочной среде значительно стабилизирует флотационный процесс, уменьшая пенообразование и повышая селективность флотации, с одновременным снижением расхода КМЦ в перечистных операциях.

Показано, что при флотации руды в кислой среде, с использованием в качестве регулятора среды серной кислоты, заметно повышается селективность процесса, за счет снижения пенообразования и лучшей депрессии силикатов.

По результатам выполненных исследований разработана технологическая схема обогащения руд массива Соукер, включающая двухстадиальную флотацию при крупности измельчения в I стадии 50%, во II стадии 85-90% класса -0.07 мм (рис. 7).

На основе разработанной схемы обогащения проведены опыты по моделированию непрерывного процесса флотации руды в щелочной и кислой средах. Независимо от pH среды получен концентрат с содержанием никеля 4.4% при извлечении около 60%. Содержание никеля в отвальных хвостах составило 0.12-0.13%.

Выводы:

Изучен вещественный и минеральный состав нового типа сульфидного оруденения в Печенгском рудном поле, представленного тонковкрапленными рудами в серпентинизированных перидотитах. Выявлены особенности вещественного состава исследуемых руд, влияющие на их технологические свойства:

– руды в серпентинитах представлены в основном вкрапленным типом, содержание сульфидов в руде низкое 1.5-3.5%, вкрапленность обогащена пентландитом и обеднена пирротином;

– в руде присутствуют два типа вкрапленности сульфидных минералов – сингенетическая и эпигенетическая, различающиеся минеральным составом и размерами;

– значительная часть никеля связана с тонкой и микроскопической труднораскрываемой вкрапленностью (около 15%) и силикатным никелем (8%), изоморфно входящим в структуру силикатных минералов и переходящим с ними в хвосты обогащения;

– развитие в породах жильного серпентина, представленного хризотил-асбестовой разновидностью, который значительно осложняет технологический процесс.

Разработана технологическая схема обогащения тонковкрапленных руд в серпентинизированных перидотитах (рис. 7), включающая двухстадиальную флотацию с крупностью измельчения в I стадии 50%, во II стадии 85-90% класса -0.07 мм, с использованием в качестве дополнительного депрессора силикатов гексаметафосфата натрия.

По разработанной схеме получен медно-никелевый концентрат с содержанием никеля более 4% при извлечении около 60%. Содержание никеля в хвостах составило 0.12%.

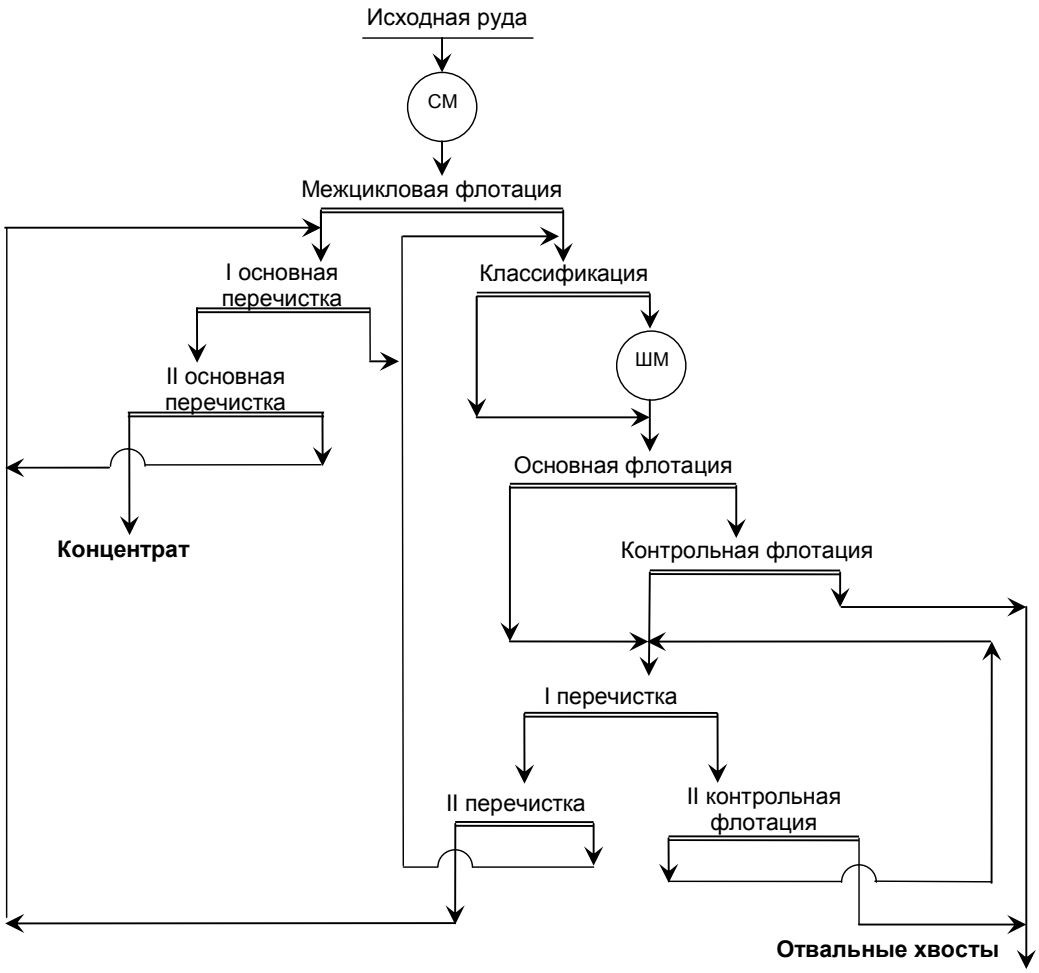


Рис. 7. Принципиальная схема флотационного обогащения бедных серпентинитовых медно-никелевых руд

ЛИТЕРАТУРА

1. *Горбунов, Г.И.* Геология и генезис сульфидных медно-никелевых месторождений Печенги. М.: Недра, 1968. 352 с.

2. Справочник по обогащению руд. Обогатительные фабрики. М.: Недра. 1984. С.52-69.

3. http://seligdar.ru/news/news-of-market/2009/8/527.html
4. *Нерадовский Ю.Н.* О прогнозировании промышленного оруденения в интрузивах Печенги по составу сульфидной минерализации в серпентинитах // В кн.: Прогнозирование месторождений полезных ископаемых на Кольском полуострове. Апатиты: изд. Кольского филиала АН СССР, 1985. С. 25-33.
5. *Астафьев Ю.А., Гончаров Ю.В., Веселовский Н.Н., Филимонов Ю.И.* Структура и медно– никелевое оруденение участка Соукер // Новые данные по месторождениям никеля Кольского полуострова. Апатиты: изд. Кольского филиала АН СССР, 1984. С. 28-33.
6. Атлас текстур и структур сульфидных медно-никелевых руд Кольского полуострова / Горбунов Г.И., Яковлев Ю.Н., Астафьев Ю.А., Гончаров Ю.В., Бартенев И.С., Нерадовский Ю.Н. Л.: Изд-во «Наука», Ленингр. Отд., 1973. 177 с.

СТРУКТУРА ПЕРЕДУТОГО МАЛОСЕРНИСТОГО ФАЙНШТЕЙНА И ОСТАТКОВ ЕГО КАРБОНИЛИРОВАНИЯ

Сорокин В.А.[1], Нерадовский Ю.Н.[2], Касиков А.Г.[3]

[1]ОАО «Кольская ГМК» г. Мончегорск
[2] Учреждение Российской академии наук Геологический институт Кольского научного центра РАН, г. Апатиты
[3] Учреждение Российской академии наук Институт химии Кольского научного центра РАН, г.Апатиты

Введение

В настоящее время более 100 тыс.т никеля в мире производится по карбонильной технологии [1]. Данная технология основана на извлечении никеля из никельсодержащих материалов в виде летучего тетракарбонила с последующим его разложением на металлический никель и оксид углерода. Достоинством карбонильной технологии по сравнению с другими способами является высокая чистота продукции и возможность производства различных порошков этого металла. Однако это производство по сравнению с электролизной технологией является более затратным. Для снижения себестоимости производства карбонильного никеля на комбинате «Североникель» Кольской ГМК ранее было предложено использовать для получения никеля более дешевый исходный полупродукт – малосернистый передутый файнштейн [2]. В данной работе получение опытной партии малосернистого файнштейна осуществлялось по схеме: дробление рядового файнштейна комбината «Печенганикель», расплавление дроблёного продукта и продувка расплава кислородом в вертикальном конвертере. В результате конвертирования получен крупнокусковой материал со средним содержанием серы ~ 8%.

Структуры исходного файнштейна

Минераграфический анализ малосернистого файнштейна, выполненный в лаборатории минералогии Геологического института КНЦ РАН, показал, что основными компонентами в нем являются, в %: сплав (Co,Cu,Ni) ≈ 54, сульфид меди (Cu_2S) – ≈ 35, сульфид никеля (Ni_3S_2) – ≈ 6, магнетит (Fe_3O_4)– ≈ 4, медь(Cu) -≈ 1, платиноид – единичные зерна.

Структуры относятся к дендритовым и гипидиоморфнозернистым (рис. 1). В кобальт-медно-никелевом сплаве содержится около 5% включений сульфида меди и весь сульфид никеля. Платиноид расположен в сульфиде меди. Магнетит частично приурочен к сульфиду меди, но в общем не зависит от главных минералов.

Полученный малосернистый файнштейн, небольшими (5-6 тонн) порциями переплавляли в одноэлектродной дуговой печи постоянного тока. Расплав, выдаваемый из печи, подвергался водной грануляции и направлялся на карбонильное производство. При расплавлении и водной грануляции фазовый состав малосернистого файнштейна не изменился, но отмечено количественное перераспределение основных структурных составляющих. Минеральный состав грансплава, в %: кобальт-медно-никелевый сплав (Co, Cu, Ni) – 55-65, сульфид меди (Cu_2S) – 20-25, сульфид никеля Ni_3S_2 – 10-15, оксид железа – 2-4, медь металлическая – менее 1.

Гранулированный сплав представляет собой грубозернистый порошок с мелкими частицами преимущественно в виде шаров до 3-5 мм (рис. 2), и более крупными – в виде капель, гантелей и прочих сложных овальных форм. Среди гранул металлического сплава присутствуют гранулы на силикатной основе. Наличие силикатной составляющей обусловлено, по-видимому, розливом малосернистого файнштейна после конвертирования в песчаный прудок.

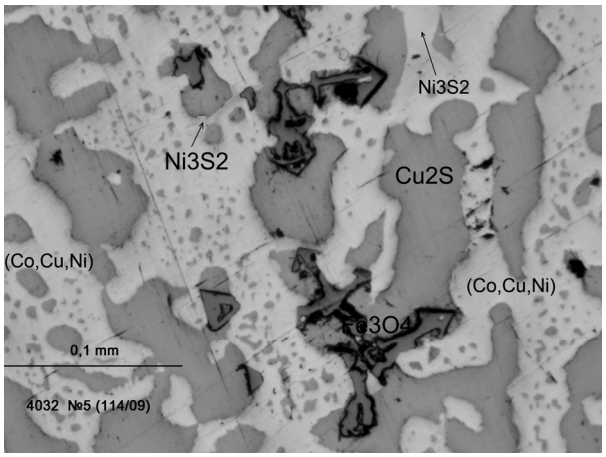


Рис.1. Гипидиоморфнозернистая структура файнштейна в средней части пластины: видна эмульсия халькозина в сплаве и дендриты магнетита.

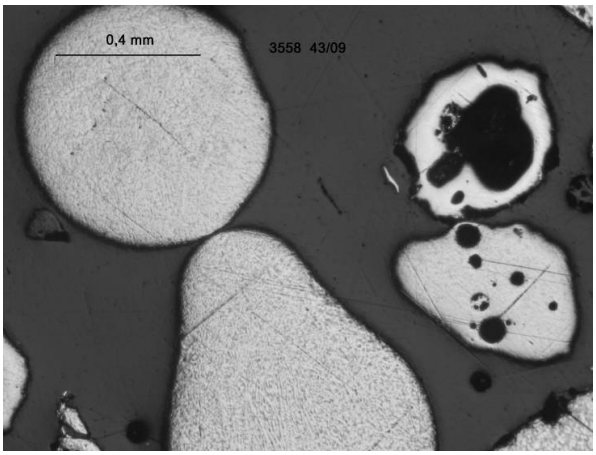


Рис. 2. Форма гранул сплава передутого файнштейна

Структуры грансплава

По текстурно-структурным признакам можно предполагать, что кристаллизация грансплава начиналась с выделения магнетита, который образовывался как на оболочке еще жидких капель в момент их контакта с охлаждающей средой, так и в некоторых каплях в жидком расплаве. Основной кобальт-медно-никелевый сплав кристаллизовался позднее магнетита, он включал в себя уже выделившиеся кристаллы и агрегаты магнетита.

Выделение магнетита в расплаве имеет большое значение, т.к. с оксидной фазой связывается некоторое количество никеля, меди и особенно кобальта [3, 4, 5].

Кристаллизация малосернистого расплава проходила по законам жидкофазной дифференциации. По мере охлаждения расплава он, по-видимому, претерпел ликвацию и разделился на существенно никелистую и медистую жидкости. Первой кристаллизовалась никелистая часть. В процессе затвердевания никелистой фазы из нее выделился медно-никелевый сплав, и обособились частички сульфида никеля. В медно-никелевом сплаве была законсервирована эмульсионная вкрапленность сульфида меди, который не полностью отделился от никелевой части расплава в процессе ликвации.

При затвердевании медно-никелевого сплава в нем равномерно перераспределялся расплав сульфида меди, кристаллизация которого произошла позднее. Количество сульфида меди было недостаточным для сохранения сплошного каркаса, подобно файнштейну, поэтому частички сульфида меди разорваны, распределены равномерно в медно-никелевом сплаве.

По анизотропии видно, что некоторые гранулы сложены крупными дендритами кобальт-медно-никелевого сплава. В целом, грансплав кристаллизовался быстро, закалка прошла успешно, но неравномерно, поскольку размеры частиц сульфида никеля довольно крупные и разные. Это является, вероятно, и причиной различия состава, о чем сказано выше. Показательно, например, что часть гранул сложена кобальт-медно-никелевым сплавом без примеси сульфида меди.

При переплавке малосернистого (передутого) файнштейна получены отдельные партии гранул с различным содержанием серы. В колонны для синтеза тетракарбонила никеля материал загружался таким образом, чтобы обеспечить однородность состава в каждой отдельной колонне. При этом извлечение никеля в жидкий продукт для отдельных колонн (работающих в сопоставимых режимах) достигало 63 и 91%, т.е. различалось на 30%$_{абс.}$. Это позволило предположить, что различные показатели процесса, в первую очередь, определялись отличиями в фазовом составе перерабатываемого сырья.

В колонну, характеризующуюся высоким извлечением никеля в карбонил-сырец, загружен материал, состоящий на 85-90% из грансплава и 10% силикатных частиц.

Грансплав представлен преимущественно обычным тройным сплавом с дендритовой структурой (рис. 3), состав которого: 1) медно-никелевый сплав (твердый раствор) (около 55-60%), 2) сульфид меди (около 30%) и 3) сульфид никеля (около 10%). В частицах тройного сплава присутствует часто магнетит в виде сфер включенных в грансплав.

Размеры частиц сульфида никеля в грансплаве имеют в основном оптимальные размеры для карбонильного процесса [6] – от 10 до 15 мкм. Они распределены равномерно среди (Co, Cu, Ni) сплава (рис. 4). Вместе с тем в некоторых гранулах образовались более крупные включения сульфида никеля, размером до 50 мкм (рис. 5), которые тяготеют к пустотам в грансплаве, а также целые отдельные гранулы размером до 0,3 мм, сложенные преимущественно сульфидом никеля (рис. 6).

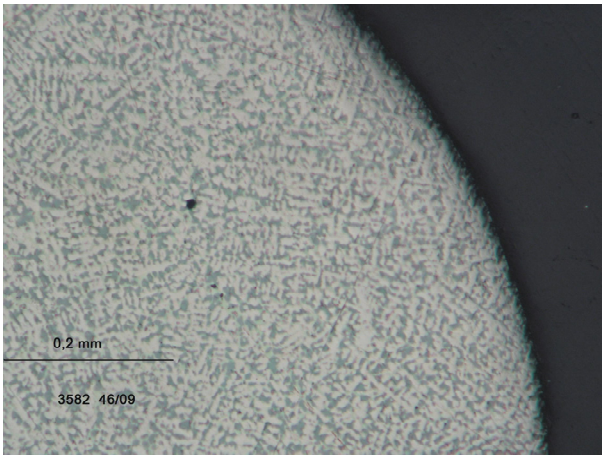


Рис. 3. Дендритовая структура гранулы малосернистого файнштейна

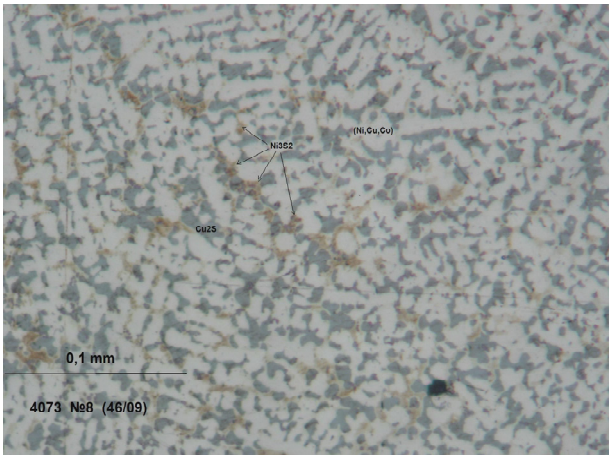


Рис. 4. Распределение мелких частиц сульфида никеля в грансплаве

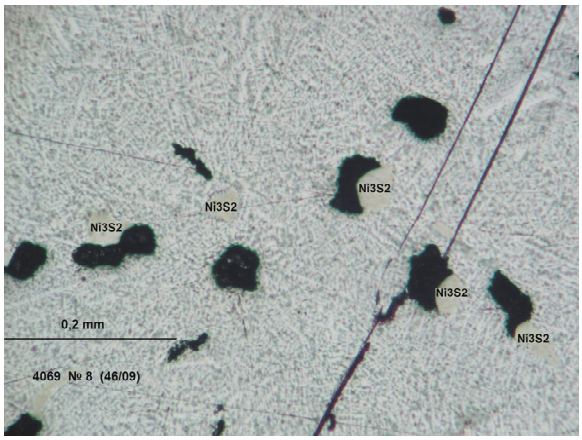


Рис. 5. Форма включений крупных частиц сульфида никеля в тройном сплаве

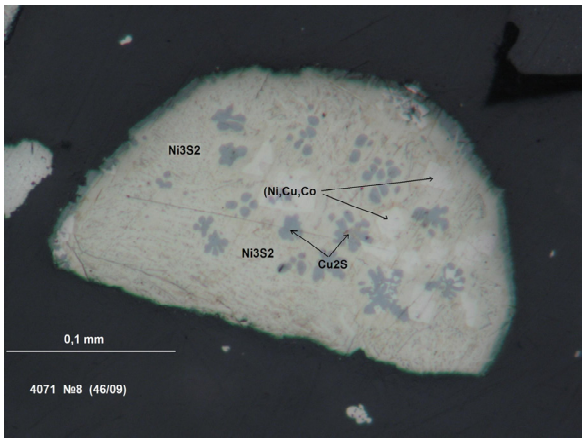


Рис. 6. Пойкилитовая структура частицы грансплава, обогащённого сульфидом никеля

Кроме обычного грансплава, анализируемый образец содержал около 2% гранул, обогащенных кобальт-медно-никелевым сплавом и без сульфида меди, их состав: сплав (около 85%) и сульфид никеля (около 15%) (рис. 7).

Силикатные частицы состоят из стекла с включениями капель и обломков грансплава, кристаллов шпинели и оливина (рис. 8). В некоторые частицы «запечатаны» довольно крупные частицы грансплава.

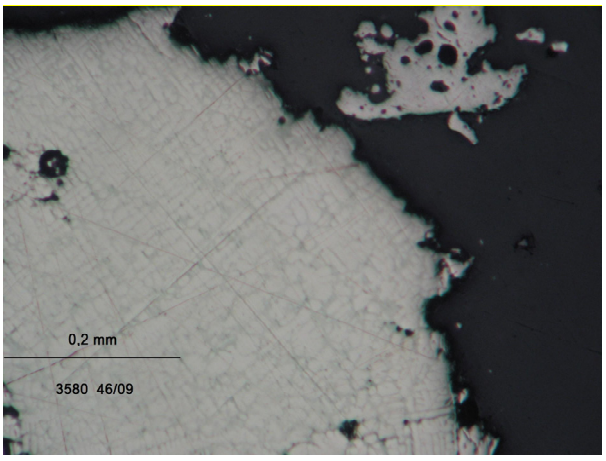


Рис. 7. Структура грансплава без сульфида меди: видна паркетная структура светлых блоков кобальт-медно-никелевого сплава, между которыми расположен сульфид никеля (сероватый)

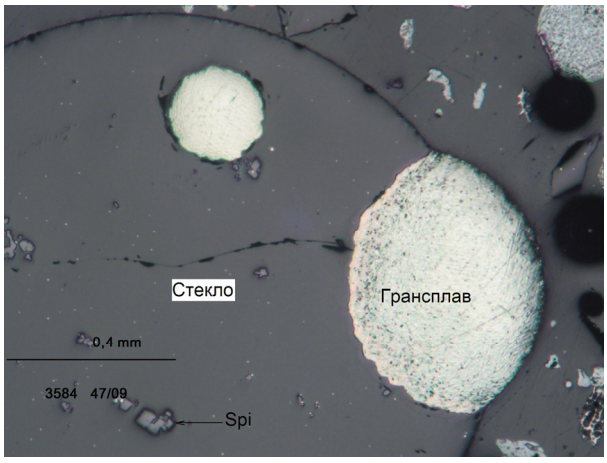


Рис. 8. Силикатная гранула с включением кристаллов шпинели и грансплава

Материал, загруженный в колонну с низкими показателями по извлечению никеля, содержал повышенное количество силикатных гранул: 79% трехкомпонентного сплава и 20% силикатных частиц. Структуры грансплава и силикатных частиц аналогичны показанным выше. Размеры частиц сульфида никеля оптимальны и составляют 10-12 мкм. Отмечено повышенное количество магнетита в некоторых гранулах (рис. 9). Выделение магнетита в расплаве имеет важное значение, т.к. с окисной фазой может быть связано некоторое количество никеля, меди и кобальта [3, 4, 5]. Поэтому в дальнейшем необходимо исследовать химический состав всех фаз.

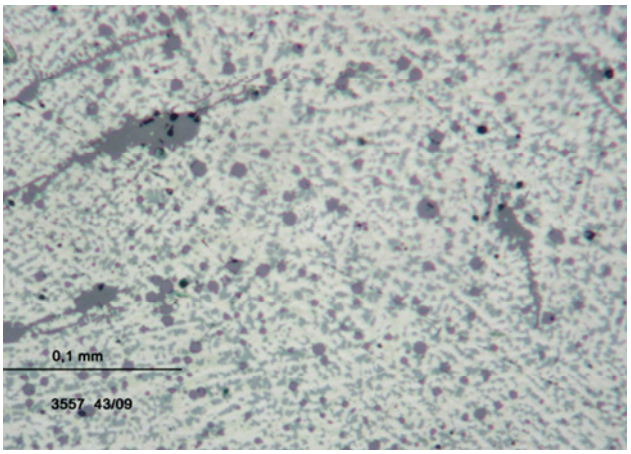


Рис. 9. Грансплав с повышенным содержанием магнетита (серое)

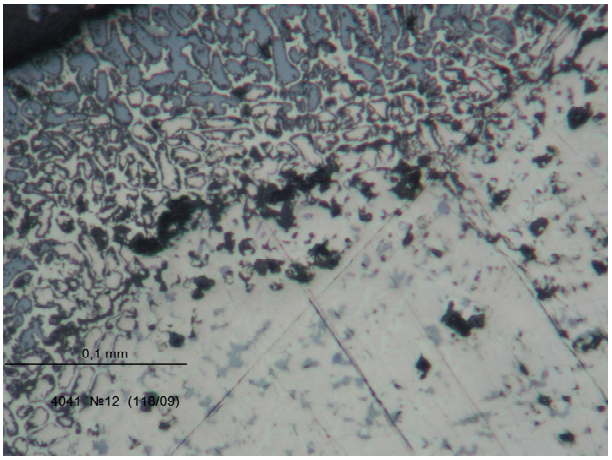


Рис. 10. Развитие вторичного сульфида меди – халькозина (голубое) в блоках карбонилируемого медно-никелевого сплава (белое)

Структуры остатков карбонилирования

Процесс карбонилирования на примере остаточных фрагментов грансплава можно трактовать следующим образом: при карбонилизации медно-никелевого сплава на его месте образовывались поры или отлагался сульфид меди. В результате на первом этапе появились сложные агрегаты новообразованного сульфида меди вблизи фронта карбонилирования (рис. 10).

Вторичный сульфид меди образовался за счет меди высвободившейся при карбонилировании кобальт-медно-никелевого сплава. Медь диффундировала к границе с сульфидом никеля и соединялась с серой, высвобождая никель, при этом сульфид меди разрастался, замещая сульфид никеля, а никель из сульфида карбонилировался. Таким образом, образовалась основная часть продукта изменения – сульфид меди + остатки сульфида никеля (рис. 11), а в наиболее «газифицируемых» частях образовались идеальные губки сульфида меди (рис. 12).

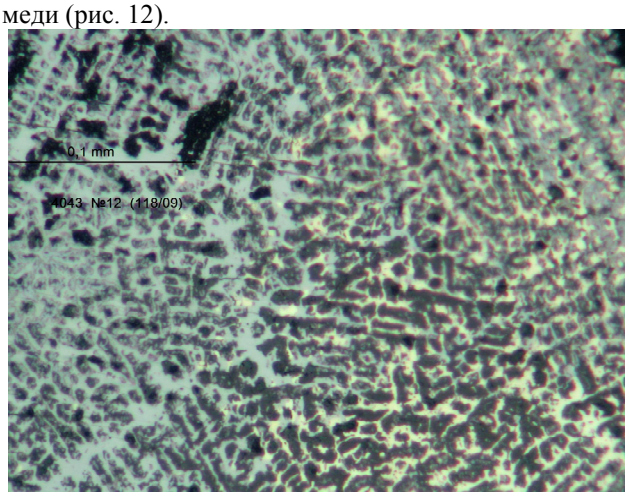


Рис. 11. Остатки сульфида никеля (белое) в сульфиде меди (серое)

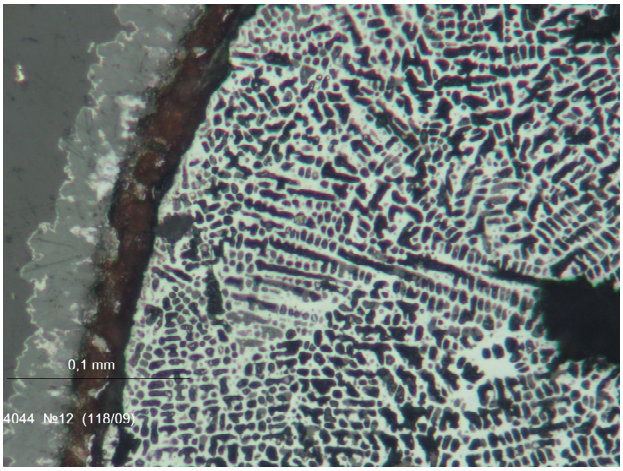


Рис. 12. Хорошо проработанная гранула из губки сульфида меди с каймой вторичного продукта

Наличие каймы из вторичного продукта объясняется термической обработкой твёрдых остатков, проводимой после синтеза с целью разложения и удаления из них ядовитых продуктов реакции – карбонилов железа, никеля и кобальта.

Заключение

Таким образом, при проведении промышленных испытаний по производству и переработке малосернистого файнштейна удалось отработать и проследить характер изменения фазового состава материала на основных переделах, а также выявить закономерности, определяющие характер и результаты технологических операций.

Для повышения извлечения никеля в карбонильную продукцию необходимо обеспечить более качественное разделение металлизированной фазы грансплава от шлаковой составляющей (силикатная и окисленная фазы).

Следует обеспечить получение более равномерного по размерам гранул сплава, что будет способствовать более эффективному протеканию процесса карбонилирования. Поскольку данный процесс начинается с периферии активных частиц и происходит зонально к центру, то при одинаковой скорости процесса мелкие частицы быстрее прокарбонилируются, а в крупных останутся ядра не прореагировавшего сплава.

Необходимо поддерживать температуру охлаждающей воды в бассейне для грануляции расплава: чем стабильнее и ниже температура воды, тем лучше будет идти закалка гранул, что принципиально важно для размера частиц выделяющихся фаз. Вода нагревается от первых порций падающей массы расплава файнштейна, поэтому более поздние порции расплава контактируют уже с более теплой водой и структура кристаллизации становится более крупнозернистой.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Резник И.Д., Ермаков Г.П., Шнеерсон Я.М.* Никель. Т.3 М.: изд. «Науки и технологии», 2003. 608 с.
2. *Масленицкий И.Н., Вербловский А.М.* Перспективы применения карбонильной металлургии в производстве никеля из сульфидного медно-никелевого сырья. Записки ЛГИ. T.LV. Вып. 3. 1975.
3. *Иоффе П.А., Сидоров А.Ф., Цемехман Л.Ш.* Металлографическое исследование малосернистых медно-никелевых файнштейнов. Труды института Гипроникель. Вып. 58. 1973. С. 89-95.
4. *Иоффе П.А., Немойтин М.А., Сидоров А.Ф., Цемехман Л.Ш.* Исследование фазового состава и распределения компонентов по фазам медно-никелевых малосернистых файнштейнов. Труды института Гипроникель. Вып. 60. 1974. С. 137-143.
5. *Вербловский А.М., Мнухин А.С., Сидоров А.Ф., Масленицкий И.Н.* К исследовнию фазового состава передутых медно-никелевых файнштейнов как перспективного сырья для карбонилирования. Труды института Гипроникель. Вып. 60. 1974. С. 84-96.
6. *Мнухин А.С., Вербловский А.М.* Экспериментальное определение коэффициента объемной гетеродиффузии меди в системе медь-никель-сера при карбонилировании. Труды института Гипроникель. Вып. 54. 1972. С. 15-22.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ГЕОХИМИЯ И МИНЕРАЛОГИЯ ТЕХНОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Туресебеков А.Х., Шамаев О.Т., Шарипов Х.Т., Василевский Б.Б, Баранова Т.Н.

Институт геологии и геофизики АН РУз, Ташкент, Узбекистан

В общей сложности в отходах Алмалыкского горно-металлургического комбината (АГМК) заскладированны миллиарды тонн руд и пород [1-4]. Это и забалансовые руды отвалов, и отходы обогащения (хвосты) и переработки (шлаки, кеки) (рис.1). Отличительной особенностью данного вида сырья является его легкодоступность, вторичные руды находятся на поверхности, не требуют больших затрат на добычу и дезинтеграцию, характеризуются наличием в них высоких остаточных содержаний металлов. Отходы представлены дезинтегрированной массой обломочных макро-, микро– и нано-частиц минералов.

Изученность техногенных месторождений в настоящее время носит фрагментарный характер, не отражающий целостности представлений о химическом, минеральном составе и формах нахождения цветных, благородных и редких металлов. В связи с вышеизложенным, на базе материалов по технологической геохимии и минералогии руд техногенных месторождений дана развернутая картина объективной информации и оценки их состояния в связи с проблемой разработки приемлемых технологий. По данным минералогических и геохимических исследований техногенных месторождений выявлены некоторые различия и сходства в составе отвальных руд в сравнении с отрабатываемыми материнскими балансовыми рудами месторождений Сары-Чеку и Кальмакыр [1-4].

Выявлено, что первичные и окисленные отвальные руды не намного отличаются от материнских первичных и окисленных руд по элементному и вещественному составу (табл. 1, 2). Однако количественно здесь наблюдаются повышенные концентрации пирита, галенита, сфалерита, блеклой руды и флотоактивных минералов (хлорита, серицита, гидрослюд, талька, глинистых и смешаннослойных минералов) и пониженные – халькопирита, молибденита. Необходимо отметить присутствие в этих рудах селективно не отработанных

промышленных, нетрадиционных типов жильных золото-полиметаллических руд месторождения Актурпак, а также полиметаллические руды из пропилитовых, карбонатных пород.

В результате обогащения первичных руд медно-молибденовых месторождений в хвостах обогатительного процесса теряются многие ценные минералы меди, молибдена, золота и др. за счет неполноты их раскрытия (тесное взаимопрорастание), а также за счет присутствия тонких классов размерности (до 30-40% класса <0,07 мм). Значительные потери меди, благородных, редких и других элементов объясняется изоморфизмом (вхождением элементов в структуру сульфидов) и малыми микро– и наночастицами этих металлов (90% класса < 0,07 мм).

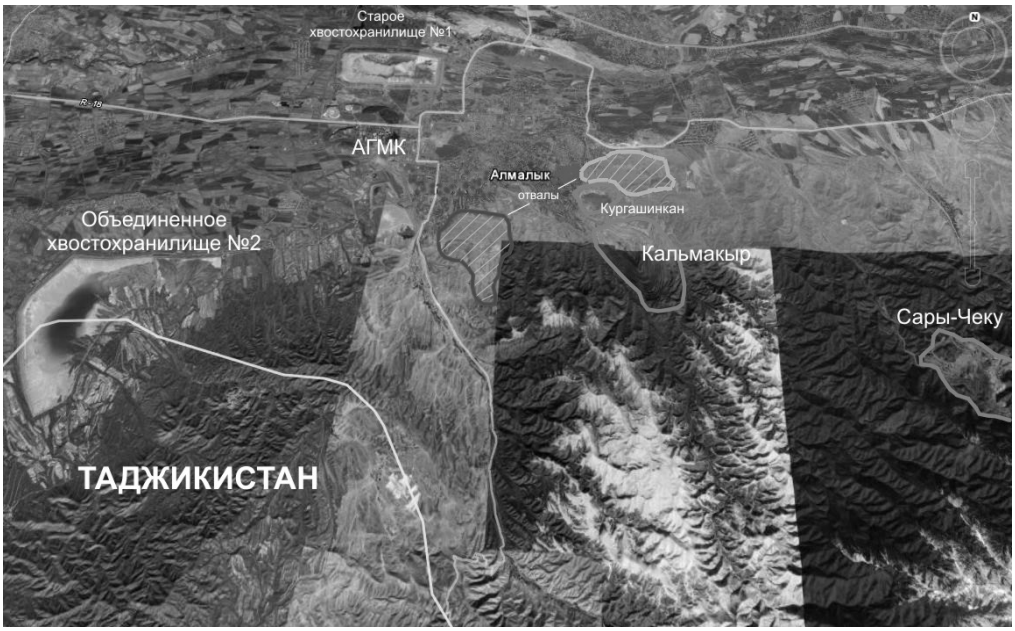


Рис. 1. Местоположение месторождений и отходов АГМК на территории Алмалыкского рудного района

Ниже приводится сравнительный анализ минералогии и геохимии руд техногенных месторождений (хвостохранилище 1, 2), которые рассматриваются как техногенные россыпные месторождения. Для изучения их вещественного состава были отобраны и изучены 236 проб, полученные бурением скважин глубиной 20-35 м. по профилям меридионального и широтного простирания.

Хвосты обогащения отличаются повышенным содержанием (табл.1): Cu (0,19-0,22%), Mo (0,0026-0,0019%), Au (0,37-0,81 г/т), Ag (1,60-3,40 г/т), ЭПГ (0,17 г/т), Se (2,7-7,5г/т), Te (0,90-2,8 г/т), Re (1,40-1,90 г/т), Bi (2,2-3,0 г/т). В распределении меди и золота наблюдается тенденция снижения их содержаний от дамбы к центру хвостохранилища, для серебра, наоборот, к центру его содержание достигает 6 г/т (рис. 2).

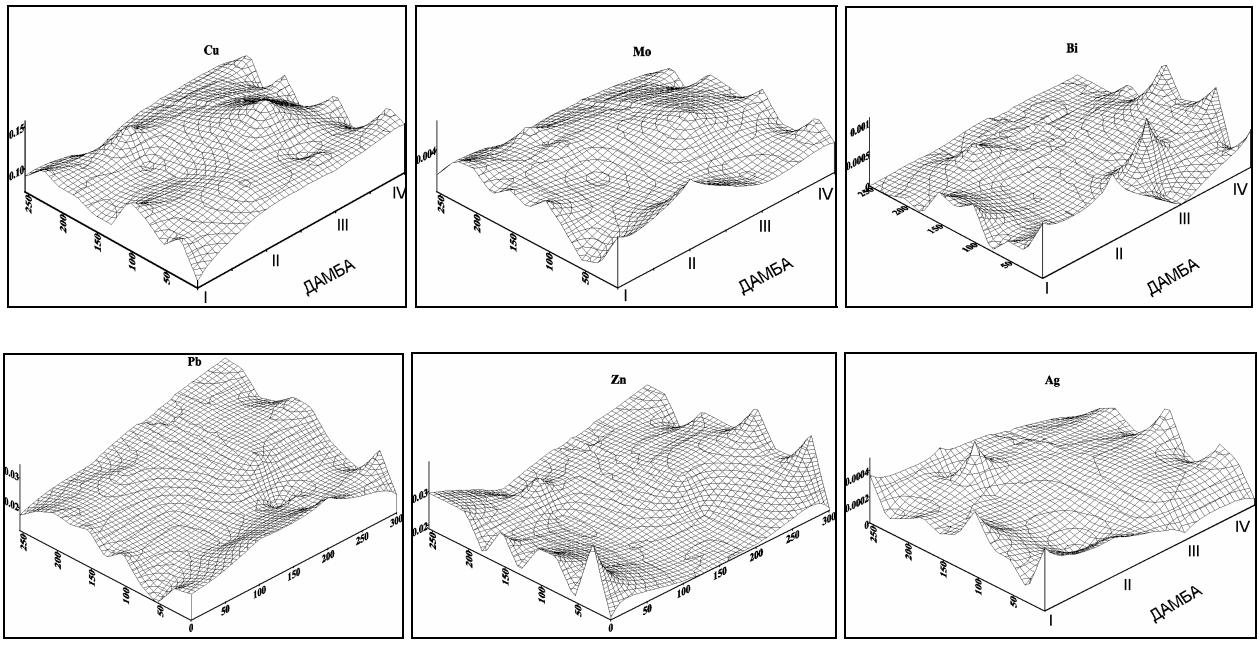


Рис. 2. Блок-диаграммы площадного распределения Cu, Mo, Bi, Pb, Zn, Ag в придамбовом пространстве

Большая часть (более 80%) цветных, благородных и редких металлов в хвостах находятся в минеральной форме, частично в изоморфной или ультратонкой дисперсной форме в кварце, пирите и других сульфидах. Среди минералов золота преобладают в классах крупности (+0,0010, +0,010, +0,1 мм) самородное золото (80%) и теллуриды. Преимущественно микронные размеры обусловили их вхождение в матрицу сульфидов (халькопирит, пирит и др.), а также в кварц, серицит и др. В отходах минералы золота редко встречаются в сростках с другими минералами. Главными концентраторами основной части минералов золота являются халькопирит и пирит. Из рудных минералов присутствуют основные сульфидные минералы: пирит + пирротин (5,2%); халькопирит + борнит + халькозин (0,65%); молибденит + магнетит + ильменит + титаномагнетит (4,5%) и в незначительном количестве сфалерит + галенит + блеклая руда (0,2%). Из окисленных минералов меди, железа и других металлов присутствуют малахит, азурит, брошантит, гетит и др. Содержание сульфидной формы меди составляет 64%, окисленной 36%, молибден представлен на 95% сульфидной формой.

Техногенные шлаки медного завода АГМК имеют ряд специфических особенностей, которые по своим составу и свойствам отличаются от материала природных месторождений.

Для выяснения минералого-геохимических особенностей по шлакоотвальному полю были выбраны и пройдены 12 профилей, по которым были отобраны 1200 проб. Впервые была получена полная достоверная информация по содержанию петрогенных, рудных, цветных, благородных, редких и др. сопутствующих элементов в шлаках АГМК (табл. 1). Необходимо отметить высокие промышленные концентрации, которые в среднем составляют: Cu (2,02%); Mo (0,06%); Au (1,6 г/т); Ag (7,28 г/т), ЭПГ (0,45 г/т); Re (0,038 г/т); In (4,9 г/т), а сумма свинца и цинка составляет (0,93%).

Таблица 1. Среднее содержание элементов в отходах Алмалыкского горнорудного района.

Элементы (в г/т)	Руда медная окисленная балансовая	Руда медная окисленная забалансовая	Забалансовые первичные руды	Хвосты обогащения	Шлаки медного производства	Медные клинкеры цинкового производства
Fe общ.%	6,5	4,0	5,59	6,33	48,94	55,0
Cu общ.%	0,8	0,4	0,16	0,21	1,38	2,1
Zn общ.%	0,048	0,05	0,72	0,04	1,88	2,2
Pb общ.%	0,048	0,03	0,02	0,030	0,092	1,25
Mo общ.%	0,002	0,003	0,003	0,0015	0,196	0,015
As общ.%	0,005	0,04	0,007	0,006	0,115	0,69
S общ.%	1,0	1,5	3,58	1,7	3,35	10,01
Ga	9,0	2,9	25,0	15,0	9,7	80,1
Ge	3,0	3,0	1,0	4,5	4,2	20,3
Se	-	-	3,1	7,5	12,3	80,0
Ag	4,1	1,9	2,2	1,6	8,6	543,0
Cd	10,0	8,0	2,5	16,0	24,9	18,0
In	4,0	4,0	2,0	5,0	2,8	6,0
Sn	-	-	4,8	12,5	38,9	172,0
Re	4,0	4,0	0,3	0,10	0,50	3,0
Au	1,2	0,5	0,21	0,5	0,96	3,5
Hg	-	-	0,35	0,45	6,6	15,0
Tl	1,0	2,0	1,0	1,9	1,15	2,5
W	-	-	31,0	26,0	106,0	80,0
Bi	-	-	8,5	4,5	10,7	46,0
Te	-	-	2,1	2,8	4,6	15,0
Sb	-	-	0,63	0,03	0,67	0,70
∑ TR	-	-	105,0	167,0	220,0	205,0
∑ ЭПГ	-	-	0,12	0,18	0,144	1,54

Примечание: Анализы выполнены на приборе ICP-MS Elan 6000 (Perkin Elmer, США) в ИГГ АН РУз.

Минеральной основой шлаков являются фаялит ($3FeOxSiO_2$) и стекло – 55%, второстепенные соединения представлены магнетитом и гематитом – 39%, сульфидами (пирит, пирротин, сфалерит, галенит) – 2%, оксидами меди (куприт, тенарит), сульфидами меди и железа – 2% и самородной медью 0,2%. Кроме этого, такие элементы как Mo, Au, Se, Te, платиноиды, Re являются изоморфными элементами, которые входят в кристаллическую структуру сульфидов и др. металлов. Для серебра установлены и изоморфная, и самородная формы нахождения.

Отвальные медные клинкеры цинкового завода АГМК по минералого-геохимическому составу относятся к новому золото-серебро-сульфидно-оксидно-полиметаллическому промышленному типу с высоким содержанием цветных, благородных, редких и др. элементов (табл. 1).

В результате минералого-геохимических исследований отвальных медных клинкеров по 8 профилям были отобраны 200 проб, в которых были установлены основные минералы: магнетит, гематит, маггемит, гетит, ярозит и сидерит, составляющие 50-55%; сульфиды: пирит, борнит, халькозин, кубанит, арсенопирит, пирротин, галенит, сфалерит (10-15%), оксиды, сульфаты, карбонаты кальция, свинца, меди, цинка: куприт, цинкит, малахит, азурит, смитсонит, англезит, биверит и др. (5%), силикаты, алюмосиликаты калия, кремния, натрия, магния, железа, свинца, меди, цинка (20%) (табл. 2).

Таблица 2. Минеральные формы отходов производства АГМК

Хвосты обогащения	Шлаки медного производства	Кеки цинкового производства
Пирит	Пирит	Галенит
Халькопирит	Пирротин	Церуссит
Молибденит	Сфалерит	Самородное серебро
Галенит	Галенит	Борнит
Сфалерит	Халькопирит	Арсенопирит
Самородное золото	Борнит	Ярозит
Гессит	Халькозин	Сфалерит
Науманит	Магнетит	Самородный свинец
Маганстрит	Гематит	Пирротин
Ширмерит	Кубанит	Кубанит
Козалит	Изохалькопирит	Англезит
Блеклые руды	Джириит	Cu-пирротин
Купровисмутит	Хейкосит	Хлораргирит
Галеноклаусталит	Люцонит	Хлорид свинца
Галеновисмутит	Джарлесит	Фазы сульфид Pb, Ag
Айкинит	Шпинель	Фазы сульфид Fe, Pb, Cu
Тетрадилит	Титаномагнетит	Фазы сульфид Pb, Zn
Кавацулит	Самородная медь	Фазы сульфид Fe, Pb, Cu
Хамарит	Куприт	Пирит
Виттаханит	Фазы $Cu\ (Fe, Ni)_2\ O_4$	Халькопирит
Худрушит	Фазы $(Cu, Co, Ni)\ Fe_2O_4$	Магнетит
Кастерит	Фазы (Ni, Cu, Fe, Co)O	Гелитит
Аи-Си-Пирит	Фазы $Cu_{12}\ Fe_4\ S_{12}$	Малахит
Re-молибденит	Фазы $Cu_5\ Fe_7\ S_{12}$	Азурит

Аналитическими исследованиями медных клинкеров были установлены промышленные концентрации золота (3,5 г/т), серебра (500 г/т), платины (6 г/т), меди (1,9%), свинца (1,28%), цинка (2,21%), палладия (8 г/т), селена (80 г/т), молибдена (150 г/т), олова (172 г/т) и висмута (46 г/т) и др. (табл. 1). Распределение вышеперечисленных металлов по всему объему отходов в основном равномерное.

В ходе инструментальных исследований были выявлены следующие минеральные формы благородных и др. металлов: для серебра – самородное серебро, амальгама серебра, хлораргирит, хлораргирит-бромаргирит, бромаргирит, йодаргирит, аргентит, гессит, серебросодержащие блеклые руды (тетраэдрит, теннантит-тетраэдрит), акантит, науманнит, полибазит, серебросодержащий галенит, сульфид свинца и серебра и др.; для золота – самородное золото и теллуриды. Платиноиды в виде субмикронных выделений рассеяны в халькопирите, борните и др. сульфидах.

Из вышеизложенного следует, что в отходах производства АГМК заключены значительные концентрации и запасы цветных, благородных, редких и др. металлов: меди, золота, молибдена, серебра, платиноидов, свинца, цинка, железа, серы, селена, теллура, рения, кадмия, висмута. К сожалению, применение традиционных технологий к данным видам сырья не позволили получить положительных результатов [1-4]. Необходимо приложить усилия исследователей для разработки новых прогрессивных технологий, в связи с тем, что долгое лежание этих отходов приводит к изменению качественных показателей ценных промышленных первичных и искусственных минералов с переводом основной их части в «упорные» для обогащения или к истощению вторичных руд за счет миграции ценных элементов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Дабижа С.И., Туресебеков А.Х. и др.* Проблемы образования, оценки и разведки техногенных месторождений в связи с их комплексным освоением. Труды международной научно-практической конференции. Ташкент, 2003. С. 407-409.

2. *Туресебеков. А.Х.* Суперкрупные техногенные месторождения меди, благородных и редких элементов Алмалыкского рудного района (Узбекистан) // Геология и минеральные ресурсы №4, 2008, с. 30-35

3. *Туресебеков А.Х., Уздебаева Л.К. и др*. Вещественный состав и технология обогащения «рудных шлаков» // Горный вестник Узбекистана. 2006. № 26. 3. С. 53-56.

4. *Туресебеков А.Х., Уздебаева Л.К.* Технология извлечения благородных и цветных металлов из медного клинкера цинкового производства. Сборник материалов. Конгресс обогатителей стран СНГ. 2005. Том I. С. 24-27.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МИНЕРАЛОГИЯ ВТОРИЧНЫХ РУД ОБЪЕДИНЕННОГО ХВОСТОХРАНИЛИЩА АЛМАЛЫКСКОГО ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМБИНАТА

Шамаев О.Т.[1], Туресебеков А.Х.[1], Игнатиков Е.Н.[2]

[1]Институт геологии и геофизики АН РУз, Ташкент, Узбекистан
[2]Государственная Пробирная Палата, Ташкент, Узбекистан

Объединенное хвостохранилище №2 (ОХХ) АГМК, предназначенное для складирования перерабатываемых на комбинате медно-молибденовых и свинцово-цинковых руд, расположено на северных склонах Кураминского хребта, в 15 км юго-западу от г. Алмалыка. Общая длина возведенной дамбы составляет 12,5 км, относительное превышение над местностью варьирует от 16 до 42 м (в местах естественного понижения рельефа у дна саев), в среднем составляя 20-25 м. Абсолютные отметки верхних уступов дамбы от 469 до 472 м. Высота уступов 5-5,5 м. Общая длина пульпопровода от АГМК до хвостохранилища составляет примерно 30 км, включая 12,5 км по дамбе. Область разгрузки материала пульпы находится, таким образом, только с одной стороны хвостохранилища (рис. 1). На распределение вещества в пространстве ОХХ влияют множество факторов – осадочно-гравитационная дифференциация, проявляющаяся наиболее характерно в придамбовых участках; морфология дна и восточной границы; руслотечениевый фактор, особенно в обособленных участках; эоловый фактор – в сухой период; режим работы комбината – массовые сбросы, и т.д.

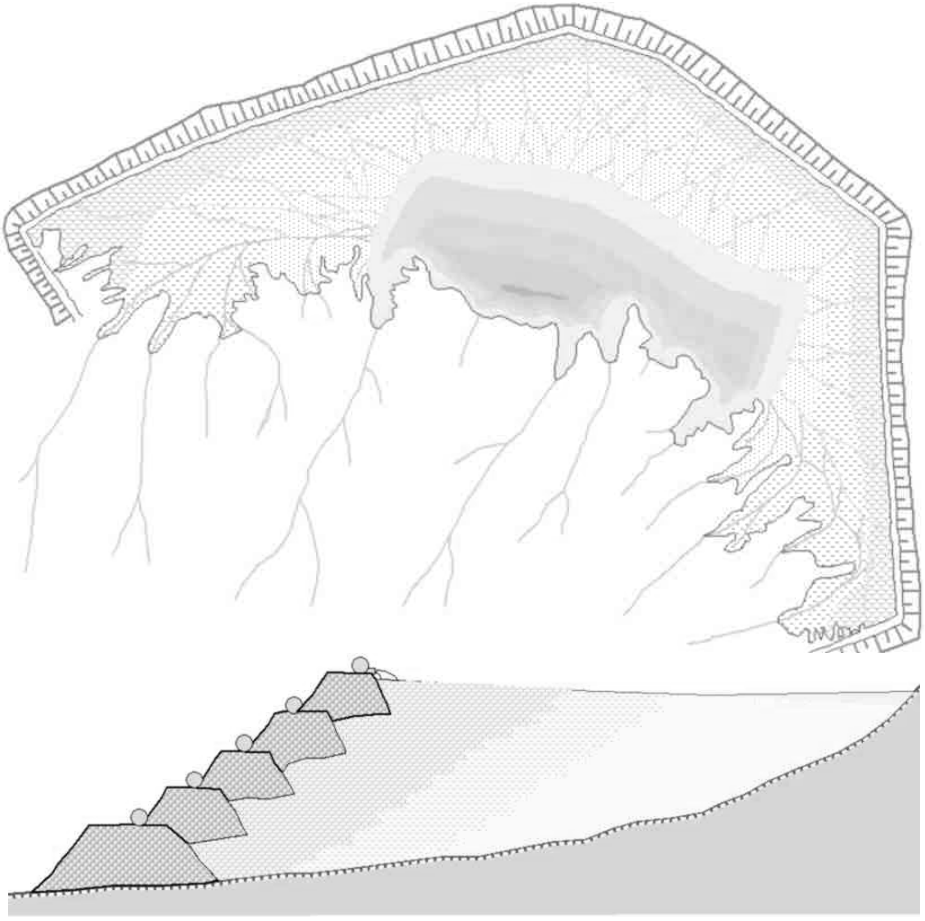


Рис. 1. Объединенное хвостохранилище АГМК в плане и разрезе

С целью изучения вещественного состава вторичных руд хвостохранилища были проведены минералого-геохимические исследования, задачами которых являлись выявление форм нахождения основных и попутных компонентов, степень вскрываемости их и, как следствие, степень обогащения различными технологическими схемами, а так же поминеральный баланс распределения ценных элементов-примесей (серебро, кадмий, висмут, кобальт, никель и др.) в рудах хвостохранилища.

Вещественный состав вторичных руд изучался на промпродуктах технологической переработки двух проб (табл. 1).

Таблица 1. Перечень изучаемых технологических продуктов

№ брикета	Продукт	Вес (в гр.)
1	Концентрат стола, опыт 1, проба 1	134.7
2	Концентрат стола, опыт 2 , проба 2	148.8
3	Концентрат 1 перечистки, проба 1, нав.3-4	48.0
4	Концентрат 1 перечистки, проба 2, нав.1-2	38.0
5	Проба 2, опыт 14(винт+стол), концентрат стола	112.5
6	Проба 2, опыт 13(отсадка+стол), концентрат стола	89.7
7	Концентрат центрифуги в бромоформе, проба 1	
8	Концентрат центрифуги в бромоформе, проба 2	

Это гравитационные концентраты стола (№ 1, 2) обеих проб, их флотационные концентраты 1-й перечистки (№ 3, 4) и гравитационные концентраты второй пробы, полученные по усложненной схеме: винтовой сепаратор плюс концентрационный стол (№5) и отсадка плюс концентрационный стол (№6). Кроме этого, из расклассифицированного материала двух проб был взят на исследования класс <0,044мм, из которого был получен утяжелённый концентрат центрифужированием в бромоформе: центрифуга лабораторная ЦЛН-2, 8000 об/мин, 15мин (№7,8). Из всех этих продуктов на основе эпоксидной смолы были изготовлены полированные брикеты с соответствующими номерами (табл. 1), которые исследовались на микрорентгеноспектральном аналитическом комплексе JEOL JXA-8800R “Superprobe” (Япония) с энергодисперсионной приставкой Link ISIS (Oxford, Англия), аналитик Шамаев О.Т.

Качество концентратов оценивалось с помощью программы Area Measurement на энергодисперсионной приставке Link ISIS (Oxford, Англия). По десяти произвольным площадям на поверхности брикета производились замеры площадного соотношения рудных и нерудных минералов в концентрате, сумма которых приводилась к 100%. Далее рассчитывались средние показатели для каждой пробы (табл. 2). Пересчёт на весовые соотношения с учётом удельных весов минералов, исходя из предположения о близости таковых для минералов тяжёлых фракций, не производился.

Таблица 2.Количественные соотношения рудных и нерудных минералов в изучаемых продуктах

№ пробы	Вид концентрата	№ брикета	Минералы (100%)		Рудные минералы (100%)	
			Нерудные	Рудные	Пирит	Прочие
1	Гравитационный	1	76,3	23,7	89,8	10,1
2	Гравитационный	2	75,4	24,6	86,8	13,3
1	Флотационный	3	71,1	28,9	88,6	11,4
2	Флотационный	4	70,2	29,8	87,4	12,6
2	Гравитационный	6	71,1	28,9	91,5	8,5

Для обеих проб по результатам гравитационного обогащения получены близкие показатели (23,7% рудных минералов в пробе 1 и 24,6% – в пробе 2). Среди рудных минералов в гравитационных концентратах доминирующая роль принадлежит пириту (около 90% в пробе 1 и 86,7% – в пробе 2). Несколько увеличено количество рудных минералов в брикете №6, но качественно (по пириту) этот концентрат хуже остальных.

Остальные рудные минералы представлены в порядке убывания: сфалеритом, галенитом и вторичными минералами свинца и цинка, халькопиритом, магнетитом (гематитом) и гидроокислами железа, вольфрамитом, арсенопиритом и др. Для флотоконцентратов степень обогащения рудными минералами чуть выше (25-30% рудных и 70-75% нерудных), но соотношение пирита к остальным рудным минералам остаётся на том же уровне (87-89% к 11-13%). Степень вскрываемости минералов во флотоконцентратах значительно выше по сравнению с гравитационными, но и в них она редко превышает 80%.

Минеральный состав вторичных руд изучаемого хвостохранилища несущественно отличается от свинцово-цинковых руд месторождений Алтынтопканского и Алмалыкского рудных полей, перерабатываемых ранее на СОФ АГМК. Различия касаются в основном только степени окисления

рудных минералов (преимущественно галенита). Нерудные минералы представлены характерными для скарновых месторождений Алтынтопкана пироксеном, гранатом, эпидотом, амфиболом, хлоритом, кварцем, кальцитом, волластонитом и более характерными для месторождений Алмалыка плагиоклазом, ортоклазом, мусковитом, биотитом, анкеритом, баритом. Рудные минералы, как отмечалось выше, представлены пиритом, сфалеритом, галенитом, церусситом, англезитом, смитсонитом, магнетитом, гематитом, гетитом, ярозитом, халькопиритом, арсенопиритом, вольфрамитом, пирротином, блёклой рудой, минералами золота, серебра, висмута. Из акцессорных и вторичных минералов диагностировались сфен, рутил, ильменит, апатит, периклаз. Основное внимание при микрозондовых исследованиях уделялось рудным минералам.

Пирит – по 6 брикетам были проведены 62 количественных анализа на волновых спектрометрах (WDS) и 4 – на энергодисперсионных (EDS) (табл. 3). Из попутных элементов-примесей в пирите оценивались Cu, Ag, Se, Te, As, Sb, Bi, Pb, Co, Ni..

Таблица 3. Результаты количественного микрорентгеноспектрального анализа пирита (средние данные)

№ бр.	Fe	S	Ag	Cu	Te	Se	As	Sb	Co	Ni	Pb	Total
1	45,70	53,24	0,02	0,02	0,02	0,01	0,05	0,06	0,06	0,03	0,00	99,2
2	46,22	53,56	0,03	0,03	0,02	0,01	0,15	0,04	0,08	0,02	0,04	100,2
3	45,71	53,32	0,02	0,18	0,03	0,01	0,03	0,07	0,06	0,09	0,05	99,69
4	45,80	53,79	0,021	0,03	0,03	0,03	0,12	0,02	0,06	0,02	0,06	99,99
5	46,03	53,96	0,04	0,02	0,03	0,01	0,01	0,01	0,08	0,03	0,05	100,27
6	46,31	53,07	0,02	0,03	0,02	0,01	0,07	0,04	0,06	0,02		99,65

Можно отметить следующие особенности распределения этих элементов в пирите. Повышены по сравнению со средними показателями содержания мышьяка в пробе 2: среднее 0,15% в гравитационном концентрате (№ 2; до 0,3%, 0,4%, 0,5% в замерах 20, 11, 18 соответственно). Скорее всего, это пириты месторождения Кургашинкан, руды которого отрабатывались на СОФ АГМК ранее. Количество подобных мышьяковистых пиритов в пробах составляет не более 10%. Немного повышены содержания меди в пиритах флотационного концентрата пробы 1 – до 0,18% (№ 3). По содержанию серебра в пиритах флотационные концентраты проб 1 и 2 отличаются на порядок (0,002% – № 3 и 0,021% – № 4).

Кобальт – наиболее типичный из элементов-примесей пирита. Диапазон содержания его в пиритах колеблется от 0,001 до 0,1% и близок к среднему (0,064%) в различных концентратах проб.

Морфологически пирит представлен также разнообразно. Это хорошо ограненные кристаллы различной размерности (до 1мм в гравитационных концентратах), агрегированные сростки с рудными и нерудными минералами, микровключения в других минералах. В свою очередь он является одним из главных минералов, содержащих включения других рудных минералов – галенита, сфалерита, халькопирита, арсенопирита, блеклых руд, серебряных минералов (рис. 2). Количество пирита в сростках достигает 60% в гравитационных концентратах, и менее 40% – во флотационных. Из нерудных минералов, тесно ассоциирующих с ним, наиболее часто наблюдались типичные для скарновых месторождений Алтынтопканского рудного поля пироксен, гранат, эпидот, хлорит, кварц, кальцит, реже амфибол, и более характерные для месторождений Алмалыка плагиоклаз, ортоклаз, мусковит, анкерит, амфибол, реже эпидот, магнетит, кварц, кальцит, хлорит.

Сфалерит – второй по встречаемости рудный минерал вторичных руд хвостохранилища. По сфалериту проведены 57 количественных анализов на волновых спектрометрах (WDS) и 21 – на энергодисперсионных (EDS) (табл. 4). Из попутных элементов-примесей в сфалерите оценивались Fe, Cd, Cu, In, Se, Te, As, Sb, Bi, Pb, Co, Ni, Ga, Ge, Mn, Ag. Во флотационном концентрате пробы 2 отмечается повышенное количество марматита с содержанием железа до 10%. Здесь также наблюдаются повышенные содержания свинца, мышьяка (0,02%) и селена (0,023%). Во флотационном концентрате пробы 1 повышено содержание германия (до 0,06%). Индий в сфалерите встречается в значимых количествах в 45% анализов. Для селена и теллура этот показатель приближается к 60%.

Размеры сфалеритовых зерен колеблются в диапазоне от 3*5 до ≥200мкм. Степень вскрываемости его значительно выше, чем у галенита и достигает 60%. Достаточно часто встречаются относительно крупные свободные зерна, в которых наблюдается халькопиритовая эмульсия различной степени коалесценции. Наиболее обычные минералы-спутники в сростках с ним – это галенит, пирит и минералы скарнов (пироксен, гранат, амфибол), реже эпидот, магнетит, кварц, кальцит, хлорит.

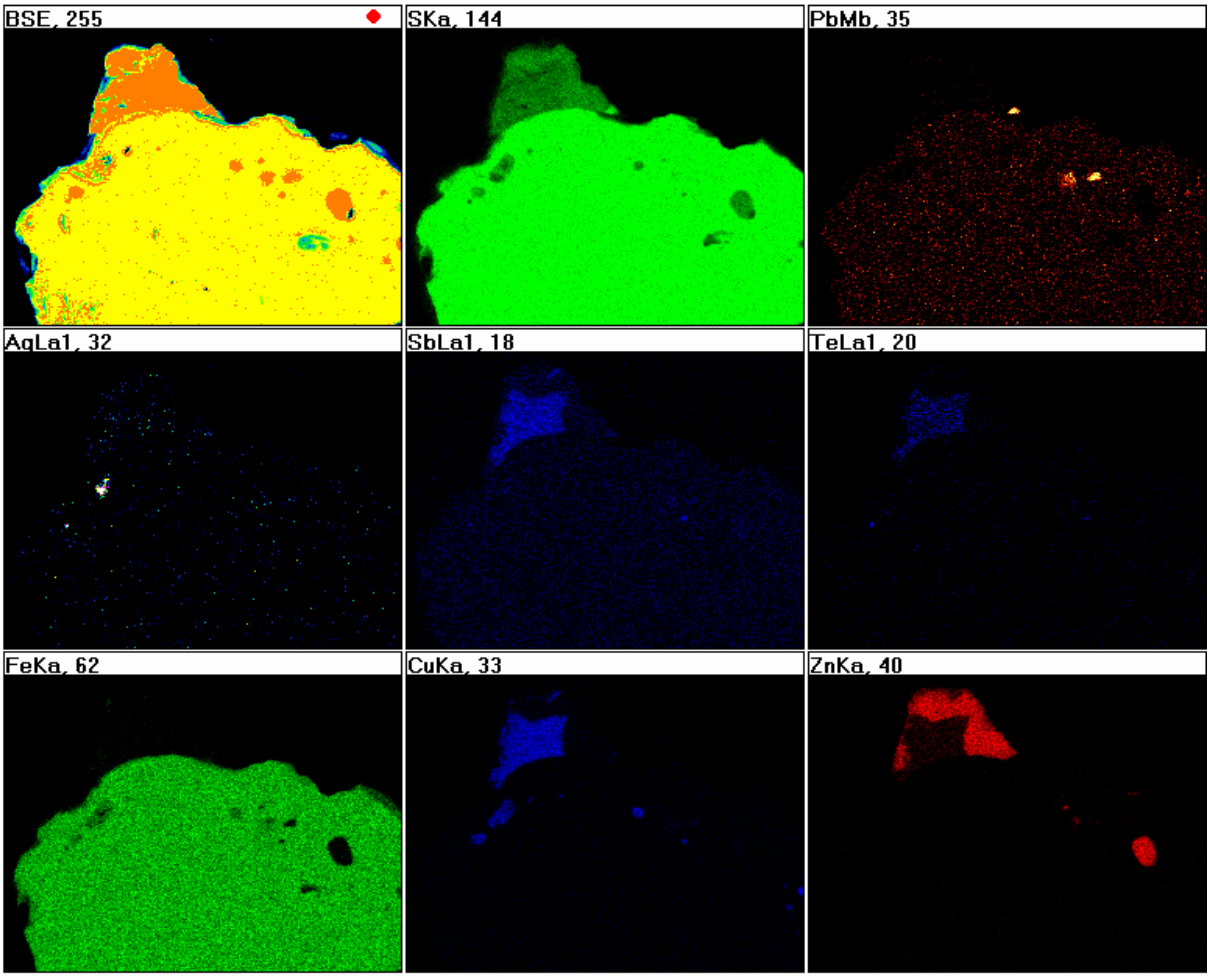


Рис. 2. Блеклая руда и сфалерит на контакте с пиритом. В пирите микровключения галенита, сфалерита, серебряных минералов. Цветные изображения во вторичных электронах и растровые картинки распределения S, Pb, Ag, Sb, Te, Fe, Cu, Zn. Проба 1. Брикет 1. Увеличение 750^{x}. Размер изображения 136*111мкм

Таблица 4. Результаты количественного микрорентгеноспектрального анализа сфалерита (средние данные)

№ бр.	S	Fe	Cu	Zn	As	Sb	Bi	Cd	In	Te	Co	Ga	Mn	Ge	Сумма
1	33,42	1,48	0,85	61,33			1,94	0,79	0,23	0,16		0,03			99,13
2	33,17	2,32	0,09	61,97	0,37	0,04	0,58	1,11	0,11	0,10		0,15		0,11	99,44
3	34,13	1,32	0,61	61,97				0,96		0,05				0,15	99,09
4	33,15	1,63	0,37	62,35	0,22	0,21		0,49	0,09	0,07	0,02	0,15	0,65	0,08	98,93
5	32,97	1,42	0,13	64,09				0,78		0,20	0,03	0,07	0,08		99,60
6	34,34	1,71		60,95				1,07					1,84		99,91

Примечание: бр.1 – Pb=0.79, Ag=0.06

Галенит в пробах наблюдается в тесной ассоциации с другими рудными минералами: пиритом, сфалеритом, халькопиритом, магнетитом, а также с характерными для скарновых месторождений нерудными: гранатом, пироксеном, амфиболом, эпидотом, хлоритом, кварцем, кальцитом. Наиболее часто он встречается в пирите в виде микровключений размером 3-5 мкм и менее, размеры порядка 10-40 мкм встречаются реже. Такие же размеры характерны для многочисленных включений галенита в сфалерите и магнетите. Отдельные, раскрытые зерна практически не встречаются. Как правило, свинец в хорошо вскрытых зернах размером до 100 мкм представлен окисленными минеральными формами: церусситом, англезитом. Наиболее крупные (до 130 мкм) зерна галенита встречаются в ассоциации с халькопиритом, сфалеритом и апатитом в кварце.

По галениту в виду незначительных размеров его выделений проведены 2 количественных (WDS) и 42 приближенно-количественных (EDS) анализа. Почти всегда отмечаются незначимые содержания Se, Te, Ag. Серебро встречается и в значимых количествах (до 1,3%) и, как правило, коррелирует в этих случаях с висмутом (табл. 5.).

Таблица 5. Результаты количественного микрорентгеноспектрального анализа галенита (средние данные)

№ бр.	S	Pb	Fe	Cu	Zn	As	Sb	Bi	Se	Te	Ag	Сумма
1	13,62	84,33	0,98	0,27	0,26	0,13	0,06	0,60	0,32	0,19	0,17	100,92
2	13,53	83,71	0,50	0,06	0,85			0,50	0,22	0,20	0,46	100,03
3	13,21	86,12		0,05					0,21	0,21	0,21	100,00
4	14,02	84,90						0,51	0,39	0,14	0,30	100,24
5	13,74	85,90						0,09	0,27	0,21	0,10	100,30
6	13,83	85,40	0,32					0,88	0,16	0,22	0,21	101,02

Из всех медных минералов, присутствующих в отвальных хвостах текущего намыва, халькопирит является доминирующим минералом, на его долю приходится от 55 до 75% от общего количества медных минералов. Количество свободного от сростков халькопирита составляет 45%, в сростках с пиритом, магнетитом, молибденитом и нерудными минералами: кварцем, хлоритом, ортоклазом, гидрослюдой и др. – до 55% (придамбовые участки хвостохранилища).

Результаты факторного анализа, проведенного по рудам и концентратам, свидетельствуют, что золото в рудах ОХХ в значительном количестве находится в свободном состоянии, в самородном виде, что позволяет прогнозировать его поведение. Факторный анализ резко разделил халькофильные и сидерофильные элементы. Это свидетельствует о высокой степени сульфидности полученных концентратов, с обычным для них набором минералов – пирит, халькопирит, молибденит, галенит, сфалерит и характерными для этих минералов элементами-примесями: кобальт, никель (в пирите), серебро (в галените) и золото (преимущественно в халькопирите). Также отмечается, что даже после прохождения всего технологического цикла обогащения минералы позднего полисульфидного парагенезиса (кальцит, галенит, сфалерит) продолжают оставаться между собой в более тесной связи, нежели с другими минералами медно-порфировых руд.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МИНЕРАЛОГИЯ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ НА СТАДИИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

Вишняков А.К.[1], Молоштанова Н.Е.[2]

[1]ФГУП «ЦНИИгеолнеруд», г. Казань
[2]Пермский государственный университет, г. Пермь

Основным предметом технологической минералогии является комплексное изучение технических и технологических свойств минералов как функции состава и строения конкретной породы, а также эти же свойства и самой породы. При этом необходимо учитывать всю эволюцию их образования и преобразования. Это позволяет устанавливать причины различного поведения в технических и технологических процессах одних и тех же минералов не только из тех или иных месторождений, но и из разных их участков. Все работы по технологической минералогии базируются на исследованиях минералогических, химических и физических свойствах как продуктивных, так и вмещающих их пород и слагающих их минералов, так как в получаемой рудной массе вмещающие породы в той или иной мере всегда присутствуют.

Весь комплекс исследовательских работ по технической минералогии калийных солей может быть подразделен, как минимум, на два этапа. Первый – это изучение технических и технологических свойств и особенностей пород и минералов продуктивных горизонтов и вмещающих их пород. Второй – предварительное картирование исследованной площади (участка) по выделенным свойствам и особенностям.

Первый этап включает в себя несколько направлений обусловленных существующими способами добычи и переработки.

Изучение технических свойств обусловлено тем, что калийные соли могут разрабатываться как по технологии добычи твердых их частиц (подземная шахтная добыча, скважинная гидродобыча, а для сульфатных солей – кроме того, добыча открытым способом в карьерах) [12, 17], так и по технологии добычи рассолов, получаемых из твердой соли (добыча искусственных рассолов при шахтном растворении солей, при геотехнологической разработке соляных залежей через скважины с поверхности или из шахтных) [1, 2, 10].

При добыче твердой калийной породы шахтным или скважинным гидродобычным способами огромное значение приобретают методы изучения минералого-петрографических их особенностей и физико-механические свойства как собственно калийных, так и вмещающих их соляных пород. Из минералого-петрографических особенностей важнейшими служат определения в шлифах крупности и формы зерен, слагающих исследуемую породу, контуры и характер плоскостей срастания зерен, наличие

слоев различной их крупности, а также разделяющих их прослоев галопелитового материала, резко отличающегося по своим прочностным свойствам от чисто соляных пород. Из физико-механических свойств важнейшими являются прочностные, характеризующие предельные сопротивления солей механическим нагрузкам; упругие, определяющие деформируемость солей под нагрузками не выше предела упругости; реологические, характеризующие изменение механических свойств во времени при длительном воздействии нагрузок; и такие как прохождение в них акустических волн, хрупкость, разрушаемость ВВ и др., характеризующие сопротивляемость соляных пород различным видам разрушения.

В основе геотехнологической добычи калийных солей растворением или выщелачиванием лежит их свойство растворяться в воде и водосодержащих растворах. От интенсивности, скорости и кинетики растворения зависит возможность получения той или иной производительности скважин по кондиционному рассолу, а также возможность управления последствиями этих процессов. Таким образом, для планирования геотехнологического способа добычи необходимо изучение значений скорости и кинетики растворения соляных минеральных зерен и кусков слагаемых ими пород, а также плотности и вязкости получаемых рассолов.

Необходимость направления по изучению тех или иных технологических свойств и особенностей минералов калийных руд обусловлена не только наличием существующих в повседневной практике фабрик России определенных методов обогащения и переработки, но и возможности применения на этих или на других месторождениях методов, применяемых в тех или иных странах мира.

Пока в РФ на практике наибольшее распространение получил флотационный метод обогащения [11, 18, 21]. Он основан на различной смачиваемости частиц определенной крупности калийных и некалийных минералов в присутствии некоторых реагентов (собирателей). Большое значение для процесса флотации имеет состояние кристаллической решетки у поверхности флотируемого минерала. Поэтому большое значение приобретают методы определения нарушенности кристаллической решетки флотируемого минерала, а также количества частиц, представленных чисто калийными, некалийными минералами (в том числе и галопелитового материала) и их сростками. Отрицательное влияние галопелитового материала, образующих глинисто-солевые шламы, обусловлено как возникновением шламовых покрытий на поверхности частиц калийных минералов и пузырьков воздуха, так и адсорбцией собирателя на глинистых минералах шламов.

Глинистые минералы, входящие в состав галопелитового материала, и, особенно, смешанно-слоистые их образования иллит-монтмориллонитового типа, характеризуются значительной емкостью обмена и большой удельной поверхностью.

Вторым, по применению, является галургический метод переработки калийных пород. Под таким методом понимают получение калийных солей при помощи последовательных процессов растворения исходной породы и кристаллизации конечного продукта. Для переработки пород калийных солей галургическим методом большое значение имеют их скорости растворения в том или ином солерастворяющем растворе.

На ряду с галургическим и флотационным методами обогащения калийные руды могут обогащаться в промышленных условиях также методами электрической и гравитационной сепарации. Глинистые и некоторые нерастворимые минералы при сепарации полиминеральных руд выделяются методом коронной сепарации. Сильвин (KCl) и галит (NaCl) разделяются методом электростатической сепарации. Для прогнозирования электрических методов обогащения необходимо изучение удельного электрического сопротивления и диэлектрической проницаемости всех минералов, составляющих калиеносные породы.

Методы гравитационного разделения калийных руд основаны на разнице в плотностных значениях минералов, составляющих эти руды. Для прогнозирования гравитационных методов обогащения необходимо знание плотностных значений всех минеральных составляющих тех или иных калиеносных пород.

Изучение выше перечисленных свойств соляных минералов калиеносных пород и составляет основной комплекс работ по исследованию их технологических свойств и особенностей. Первоочередными из них являются изучение вещественного состава и минералого-петрографических особенностей калийной породы и ее минералов. Они являются основой прогнозирования их технологических свойств.

Изучение вещественного состава проводится химическими, спектральными, рентгенофазовыми, минералогическими методами и методом резонансной и инфракрасной спектроскопии [8].

Изучение минералогических характеристик включает в себя изучение природных минералого-петрографических и структурных особенностей пород с целью выделения их технологических типов и разновидностей. Выделяются два вида изучения минералого-технологических свойств – это изучение минералого-структурно-технологических особенностей калийных пород в шлифе и изучение свойств дробленой калийной породы.

В шлифах определяются такие количественные параметры породы, как естественная крупность и форма зёрен как собственно калийных минералов, так и минералов, вмещающих их; формы контуров и характер плоскостей срастания зерен калийного и нерудного минералов (галита, ангидрита,

галопелитов), а также количество и типы микровключений в зернах калийных минералов, которые нередко определяют не только цвет минерала, но и его технологические свойства.

Определение естественной крупности позволяет прогнозировать выход той или иной размерности дробленых частиц минералов; определение формы контуров и характера плоскостей срастания зерен рудного и нерудного минералов позволяет прогнозировать их влияние при дроблении (измельчении) на образование различных типов технологических сростков калийных минералов с нерудными и содержания в этих сростках полезного компонента; определение количества и типов микровключений в зернах калийных минералов, которые вызывают разубоживание содержания в них калия, а также вызывают изменение их поверхностных свойств, что позволяет прогнозировать их поведение в процессах обогащения. Наличие взаимоперпендикулярных шлифов позволяет определить естественную форму зерен сильвина по трем осям. Если построить графики зависимости размера зерен по каждой оси от их количества в шлифе, то легко определить объемную форму не только зерен калийных солей и определить преобладающий их размер, но и зерен вмещающих их минералов. На рис. 1 приведены такие графики для красных разновидностей сильвина пласта Кр-2 Усть-Явинского участка Верхнекамского месторождения.

Анализ данных материалов показывает, что уже в процессе исследования калийных солей в шлифах видно различие разновидностей сильвина по некоторым технологическим свойствам, таким как естественная крупность, форма зерен, характер контактов, количество микровключений. Из приведенных графиков следует, что естественная форма розовой разновидности сильвина данного пласта характеризуется двумя формами зерен: изометрической и реже уплощенной по оси h (т.е. таблетчатообразной); красной разновидности – характеризуется в основном изометричным строением зерен, реже удлиненным, а зерна сургучно-красного сильвина имеют как уплощенную по оси h (таблетчатую), так и вытянутую по оси a (веретенообразную) формы.

Таким образом, уже в процессе исследования калийных солей в шлифах возможно установить различие цветовых разновидностей сильвина по некоторым их технологическим свойствам, таким как естественная крупность, форма зерен, характер контактов, количество микровключений.

Для данного участка Верхнекамского месторождения калийных солей устанавливается четкая зависимость количества тех или иных классов крупности дробленых частиц калийных пород от природных форм зерен сильвина. В частности, изометрическая форма зерен в природе при дроблении до 5,0 мм дает наибольший выход количества крупных классов (-5,0 + 3,0 мм, -3,0 + 2,0 мм). Кроме того, изометрическая форма зерен сильвина в породе, видимо, оказывает положительное влияние на образование частиц сильвина, представленных в виде агрегатов из более мелких их зерен.

Наибольший выход количества частиц классов -2,0 + 1,0 мм и -0,5 мм наблюдается для сильвинитов с уплощенной (дощатообразной) и удлиненной (веретенообразной) формой зерен сильвина. Таким образом, изучение минералого-структурно-технологических свойств позволяет наметить размерность дробления (измельчения) калийной породы, а с учетом минералогического состава выделить технологические типы или сорта руд и ориентировочно планировать метод обогащения.

Однако прогнозировать количественный выход классов дробленых частиц сильвина на основании изучения одних только шлифов трудно, ибо процесс фабричного дробления оказывает выравнивающее воздействие, т.е. преобладающая размерность зерен сильвина в породе (в шлифе) оказывается (в большей ее части) раздробленной до более мелких классов (рис. 2а).

Результаты лабораторного дробления щековой дробилкой хорошо сопоставляются с результатами механического измельчения руд на солемельнице и обогатительной фабрике. Как следует из рис. 2б, гистограммы гранулометрического состава сильвинитов по данным анализа проб, подвергшихся дроблению в лаборатории, и руды по данным анализа проб, дробившихся на солемельнице и флотофабрике, подобны по своей конфигурации и близки по процентному содержанию частиц отдельных размерностей, за исключением выхода по крупным фракциям.

Поэтому совершенно необходимым является изучение минералого-технологических свойств калийной породы, дробленой в лабораторных условиях. Различные типы калийных пород измельчаются до тех размерностей, максимальные параметры которых были выявлены по результатам изучения зерен в шлифах (в рассматриваемом примере, по Усть-Явинскому участку Верхнекамского месторождения калийных солей, это составляет до 5,0-0,0 мм, 3,0-0,0 мм, 2,0-0,0 мм и 1,0-0,0 мм), которые затем, рассеиваются на стандартные классы крупности.

На основании изучения гранулометрического состава дробленой породы (с построением гистограмм, циклограмм, дифференциальных частных кривых распределения или кумулятивных суммарных кривых распределения и т.п.) и минералого-технологического анализа дробленых частиц для каждого класса крупности ситового анализа различных дроблений (с определением количества свободных частиц калийных и вмещающих их минералов в дробленой породе, количество и типы их технических сростков, также количественное (процентное) содержание всех остальных компонентов) определяется степень раскрытия калийных минералов [9, 23], процентное содержание составных минеральных компонентов дробленой породы, т.е. строятся графики минералогического состава и изменения степени раскрытия калийных минералов в зависимости от класса крупности для всех размерностей дробления. Такие подсчеты позволяют прогнозировать параметры измельчения [7].

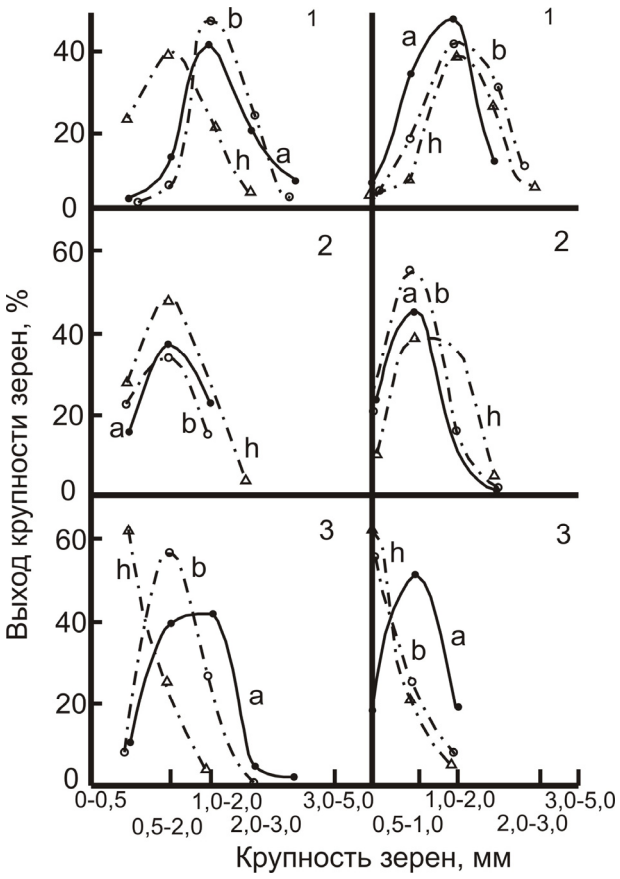


Рис. 1. Изменение размерности зерен в разновидностях сильвина в пласте Кр-2 Усть-Яйвинского участка Верхнекамского месторождения.
1 – розовый сильвин; 2 – красный сильвин; 3 – сургучно-красный сильвин; a – длина зерен, b – ширина зерен, h – высота зерен

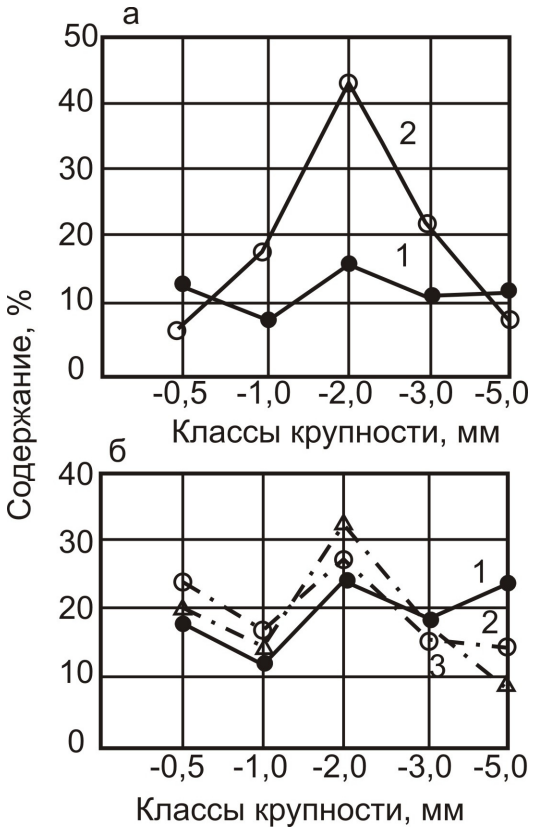


Рис. 2. Сопоставление распределения классов крупности калийной руды пласта Кр-2 шахтного поля Третьего Березниковского рудопроявления Верхнекамского месторождения
а – частиц сильвина, получаемых при лабораторном дроблении (1) и зерен сильвина в шлифах (2); б – частиц калийной руды, получаемых при лабораторном дроблении (1) и после дробления на солемельнице (2) и измельчения на флотофабрике (3)

С учетом других данных (например, содержание твердых микровключений в калийных минералах, определенных в шлифах, содержание хлористого магния в породе на основании аналитических исследований, содержание и типы глинистых минералов по данным рентгенофазового анализа, нарушенности кристаллической структуры зерен минералов слагающих калийную породу по материалам электронно-парамагнитного резонанса [6], рентгеноструктурного анализа) все выше приведенные материалы позволяют наметить способ обогащения.

Мелкие классы (меньше 0,1 мм) различных дроблений в связи с тем, что калийные руды перерабатываются и флотационным, и галургическим методами, изучаются в двух вариантах: одна половина пробы изучается как представляющая собой часть собственно калийной руды, характерной для флотационного процесса обогащения, другая – как характеризующая собой возможный состав несолевой составляющей (Н.0.) калийной руды после галургического процесса обогащения.

Особое место в направлении по изучению дробленой калийной руды занимает минералогическое изучение глинистой составляющей нерастворимого в воде остатка. Как известно, в основе флотационного метода обогащения калийных руд лежит направленное физико-химическое изменение природы поверхности соляных минералов, которое достигается обработкой их селективно действующими реагентами-собирателями и модификаторами. Эффективность действия реагентов существенно зависит от состава глинистых составляющих нерастворимого остатка, ибо некоторые из них (например, монтмориллонит), обладающие разбухающими межслоями, могут значительно и даже полностью нарушить течение флотационного процесса.

Для разрабатываемых пластов Верхнекамского месторождения обычны триоктаэдрический хлорит и диоктаэдрическая гидрослюда (иллит), нередко содержащая разбухающие монтмориллонитовые межслои.

Известно, что параметры кристаллических решеток смешанно-слоистых разбухающих минералов заметно изменяются в водной среде. Изменения происходят в основном за счет увеличения межслоевых расстояний [13], благодаря чему молекулы флотореагентов могут проникать внутрь этих минералов. В связи с отмеченным особенно важно иметь представление о площади "внутренней" поверхности глинистых минералов, которая определяется [3] как разница между "полной" удельной поверхностью (включает и "внутреннюю" поверхность) и "внешней" поверхностью. Полученные данные о "внутренней" поверхности минералов из нерастворимого остатка калийных солей Верхнекамского месторождения подтвердили наличие в нем смешанно-слоистых глинистых минералов и позволили установить для южной части месторождения увеличение количества, во-первых, смешанно-слоистых глинистых минералов вверх по разрезу (в "пестрых" сильвинитах, по сравнению с сильвинитами нижезалегающего пласта Кр-2, их в 2—5 раз больше) и, во-вторых, – с запада на юго-восток в два с лишним раза.

Выделенные мелкие классы крупности (меньше 0,1 мм), где сосредоточено подавляющее количество галопелитового материала, анализируются стандартными методами оптической микроскопии [14], рентгеновской [15, 16, 20, 22] и инфракрасной [4, 19] спектроскопии и термическим анализом [5]; кроме того, определяются значения их ("внешней", "полной", "внутренней") удельных поверхностей [3].

Знание характеристик удельной поверхности нерастворимого остатка калийных руд необходимо не только для понимания его поведения в процессе обогащения и выяснения характера взаимоотношения с поверхностно-активными веществами, флотационными реагентами, но и для выбора схемы флотационного обогащения (с депрессией глинистых шламов, с предварительным флотационным или механическим обесшламливанием).

На основании итогов исследований по выявлению различных по обогатимости калийных руд выполняется второй этап исследований – предварительное технологическое картирование, т.е. оконтуривания на планах и разрезах месторождения размещения различных по обогатимости сортов руд или их отдельных особенностей. Например, картирование рабочего пласта Б. Верхнекамского месторождения, где он представлен на значительной территории "пестрыми" сильвинитами (сложенными в основном молочно-белой разновидностью сильвина), позволяет выделить участки, где этот пласт представлен розово-красной или красной разновидностью сильвина, да еще с прослойками карналлита. Руды из такого участка данного пласта становятся труднообогатимыми или даже весьма труднообогатимыми теми технологическими схемами обогащения, которые существуют на флотофабрике в настоящее время. Рабочие пласты А и Кр-2 сложены розовой, красной и сургучно-красной разновидностями сильвина, несколько отличающихся между собой флотационными свойствами. Изучение распределения сильвинитов, сложенных определенными разновидностями сильвина, по серии разрезов пласта Кр-2 южной части Верхнекамского месторождения выявило неравномерное распределение этих разновидностей в пласте, а также степень раскрытости их зерен по площади пласта, что позволило спрогнозировать необходимость некоторого изменения режима обогащения при отработке различных участков данного пласта. На рис. 3 приведены некоторые схематические карты распределения таких особенностей для пласта Кр-2 для части шахтного поля одного из участков Верхнекамского месторождения.

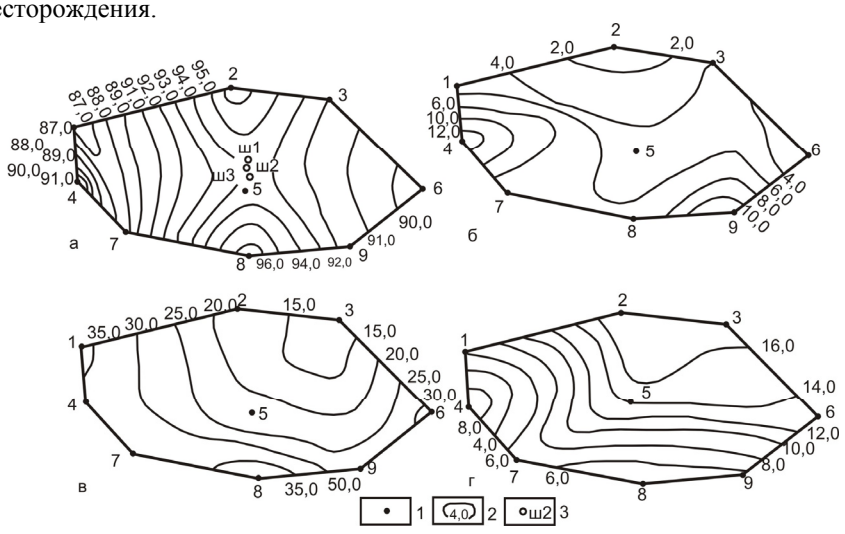


Рис. 3. Некоторые технологические карты-схемы пласта Кр-2 шахтного поля Третьего Березниковского рудоуправления Верхнекамского месторождения
а – распределение степени раскрытия калийной руды, содержание в процентах к мощности пласта; б – сургучно-красного сильвинита, в – красного сильвинита, г – розового сильвинита; 1 – точка опробования; 2 – изолинии; 3 – шахтный ствол

Проведение вышеописанных исследований технических и технологических свойств калийной породы не только повысит объективность и достоверность оценки возможности использования их под те или иные способы добычи и переработки, но и позволит своевременно сосредоточить внимание на наиболее трудных проблемах обогащения руд и комплексности их использования, а также существенно повысит техническую, технологическую и экономическую эффективность геолого-промышленной оценки месторождений калийных солей.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Аренс В.Ж.* Скважинная добыча полезных ископаемых (геотехнология). М: Недра, 1986. 279 с.
2. *Аренс В.Ж.* Физико-химическая геотехнология. М: Изд. МГГУ, 2001. 656 с.
3. *Арсентьев В.А., Горловский С.И.* Определение удельной поверхности набухающих глин,, доступный флотационным реагентам различного молекулярного веса // В сб. Обогащение неметаллических полезных ископаемых. Вып.2. Свердловск: Изд.Урал.политех.ин-та, 1976 С. 106-109.
4. *Болдырев А.И.* Инфракрасные спектры минералов. М.: Недра, 1976 199 с.
5. *Бургмистрова Н.П., Прибылов К.П., Савельев В.П.* Комплексный термический анализ // Казань: Изд. КГУ, 1981 111 с.
6. *Вишняков А.К., Гревцев В.А., Щербаков В.Д.* Применение методов резонансной спектроскопии в технологической минералогии калийных солей // Роль технологической минералогии в расширении сырьевой базы СССР. Челябинск, 1986. С. 155.
7. *Вишняков А.К., Тетерина Н.Н., Молоштанова Н.Е.* Определение степени раскрытости калийных руд // Калийная промышленность. 1980. № 3. С. 17-20.
8. *Вишняков А.К., Молоштанова Н.Е., Глазунова З.И.* Технологические свойства калийных солей как фактор их оценки. Природная сода и девсонитпроявления в СССР. М: Наука, 1985. С. 169-179.
9. *Годен А.М.* Основы обогащения полезных ископаемых. М: Металлургиздат, 1946. 535 с.
10. *Дудко П.М.* Подземное выщелачивание солей. М: Недра, 1972. 160 с.
11. *Желнин А.А.* Теоретические основы и практика флотации калийных солей. Л: Химия, 1973. 353 с.
12. *Зильбершмидт В.Г., Синопальников К.Г., Полянина Г.Д. и др*. Технология подхемной разработки калийных руд. М: Недра, 1977. 287 с.
13. *Куковский Е.Г.* Особенности строения и физико-химические свойства глинистых минералов. Киев: изд. Наук. Думка, 1966. 172 с.
14. *Меланхолин Н.М.* Методы исследования оптических свойств кристаллов. М: Наука, 1970. 250 с.
15. *Миркин Л.И.* Справочник по рентгеноструктурному анализу поликристаллов. М: Гос. изд. физ.-матем. литературы, 1961. 864 с.
16. *Михеев В.И., Сельдау Э.Г*. Рентгонометрический определитель минералов. Т.2. Л: Недра, 1965. 363 с.
17. *Пермяков Р.С., Романов В.С., Бельды М.П.* Технология добычи солей. М: Недра, 1981. 272 с.
18. *Печковский В.В., Александровский Х.М., Пинаев Г.Ф.* Технология калийных удобрений. Минск: изд. Высшая школа, 1968. 264 с.
19. *Плюснина И.И.* Инфракрасные спектры минералов. М: Изд. МГУ, 1977. 175 с.
20. Рентгеновские методы определения и кристаллическое строение минералов глин / Под ред. Бриндли. М: изд. ИЛ, 1955. 403 с.
21. *Титков С.Н., Мамедов А.И., Соловьев Е.Н*. Обогащение калийных руд. М: Недра, 1982. 216 с.
22. *Франк-Каменецкий В.А.* Руководство по рентгеновскому исследованию минералов. М: Недра, 1977. 399 с.
23. *Шушкенов А.В., Ефременко Л.Я.* Об ошибке в определении степени раскрытия извлекаемого минерала в продуктах обогащения. Кокыма. № 9. 1972. С. 11-12.

КОМПЛЕКСНЫЕ МИНЕРАЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГРАФИТОВЫХ РУД МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЧЕБЕРЕ В РЕСПУБЛИКЕ САХА (ЯКУТИЯ)

Лузин В.П., Вафин Р.Ф., Пермяков Е.Н., Кузнецов О.Б., Лузина Л.П., Губайдуллина А.М., Кузнецова В.Г., Ахиярова А.В.

ФГУП «ЦНИИгеолнеруд», г. Казань

Настоящее исследование графитовых руд месторождения Чебере (Республика Саха) было проведено сотрудниками ФГУП «ЦНИИгеолнеруд» в 2008-2009 гг.

Минеральный состав графитовых руд

Графитсодержащие породы (руды) представлены биотит-гиперстеновым плагиосланцем мелко-, среднезернистым с различным содержанием графита и сульфидов (проба № Т-1), биотит-гиперстеновыми

плагиосланцами в разной степени мигматизированными с различным содержанием графита и сульфидов (проба № Т-2), графитистым кварцевым метасоматитом (проба № Т-3). Исследуемые типы руд различаются по минеральному составу. По результатам комплексных исследований (РПКФА, описание шлифов, изучение твердых фаз под бинокуляром, технологические методы определений и др.) в рудах проб № Т-1 и № Т-2 установлено свыше 14, а в руде пробы № Т-3 больше 5 минералов. Минеральный состав руд на основе изучения рентгенографическим полуколичественным фазовым анализом (РПКФА, аналитики Волкова С.А. и Ильичева О.М.) приведен в табл. 1.

Поскольку под биотитом понимается группа минералов, состоящая из сидерофиллита, истонита, аннита, флогопита и др., которые различаются по химическому составу [1], то нами было проведено альтернативное исследование по установлению вида слюды с применением технологического способа определения по [2]. В результате было установлено, что слюда в изучаемой руде представлена флогопитом коричневой и черной окраски.

При изучении под бинокуляром (аналитик В.П. Лузин) в рудах пробы № Т-1 пробы № Т-2 дополнительно, к указанным выше минералам, выделены пирит, ковеллин, борнит, халькопирит, прозрачная слюда (мусковит), флогопит. В руде пробы № Т-3 зафиксированы редкие пластинки флогопита и зерна различных сульфидов. В составе этой же пробы присутствуют бурые охры железа, непрозрачные или полупрозрачные нерудные минералы.

Таблица 1. Основные минералы графитовых руд по данным РПКФА

Минерал	Содержание минерала в пробе №, %		
	Т-1	Т-2	Т-3
Графит	10	18	29
Кварц	25	22	71
Биотит	16	28	-
Полевые шпаты	36	18	-
Хлорит	2	4	-
Пироксены	7	3	-
Тальк	2	5	-
Пирротин	2	2	-

Сульфиды (пирротин и пирит) являются магнитными и выделяются в магнитную фракцию в виде мономинеральных зерен (рис. 1) и в сростках с другими немагнитными минералами, в том числе и графитом, то есть состав получаемой фракции в целом является полиминеральным. Содержание этой фракции варьирует от 11,2% (проба № Т-1) до 14,2% (проба № Т-2), в руде пробы № Т-3 наличие ее незначительное (аналитик Л.П. Лузина). В процессе обжига магнитной фракции при 700°С пирротин преобразовывается в гематит, отличительным признаком которого является красно-бурая (вишневая) черта и массивное плотное сложение. При повышении температуры до 900°С гематит переходит в порошкообразное состояние. Зольность магнитной фракции составляет 84-85%. При обогащении наличие сульфидов в руде может влиять на увеличение содержания серы, меди и железа в получаемых графитовых концентратах.

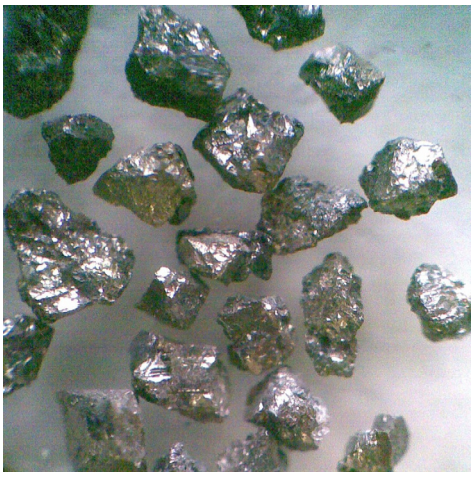


Рис. 1. Зерна сульфидов, фракция -0,63+0,40 мм (Лузин В.П., 2009 г.)

Графит в породе распределен неравномерно, в виде разнообразных вкраплений, линз, прослоев, гнезд, сплошных скоплений.

Внутреннее строение монокристаллов графита показано на рис. 2. Снимки получены по разработанной в 2007 г. В.П. Лузиным методике, основанной на применении поляризационого

микроскопа. На снимках видны опорные структурные элементы, которые вместе образуют слоистую решетку, характерную для графита. Отмечается разнообразие в формах и размерах отдельных ячеек решетки даже в пределах одного кристалла. Линии, оконтуривающие кристаллы, проходят не хаотично, их направления совпадают с положением базовых структурных элементов. Строение монокристаллов, имеющих различный облик, характеризуется большим сходством. Внутреннее решетчатое строение монокристаллов графита месторождения Чебере во многом совпадает с таковым проявления Пестпакша.

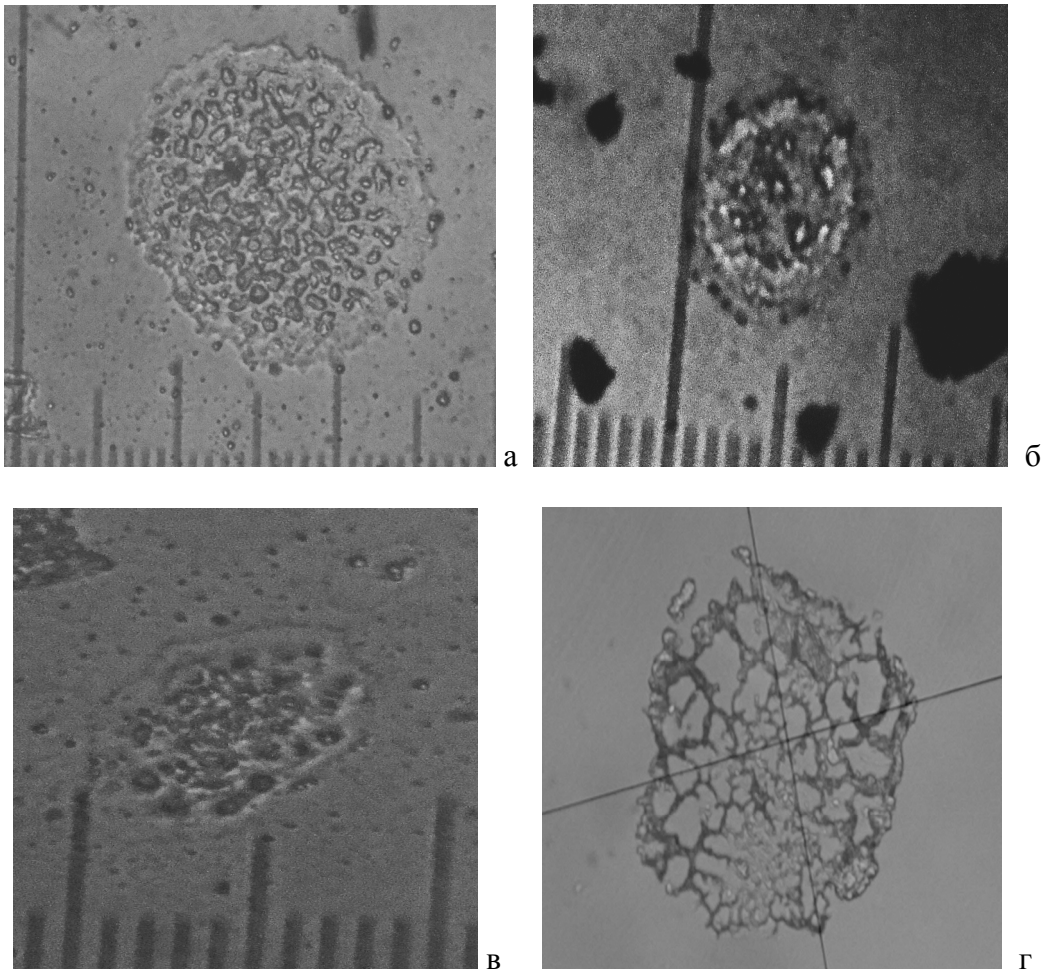


Рис. 2. Внутреннее строение монокристаллов графита: а, б, в – графит месторождения Чебере, г – графит проявления Пестпакша. Масштаб: в 1 делении линейной шкалы 0, 05 мкм (Лузин В.П., 2008-2009 гг.)

Облик агрегатов графита многообразный: массивный (плотный) кристаллический, зернистый, пластинчатый, чешуйчатый, шестоватый и др. (рис. 3, 4, 5). Агрегаты *массивного (плотного) кристаллического графита* могут быть представлены друзоподобными или щетковидными формами. Часть кристаллов характеризуется ступенчатыми формами. Встречаются кристаллы в виде усеченной пирамиды, у которых одна из двух противоположных граней имеет крутой угол наклона, другая – пологий. На отдельных кристаллах графита прослеживаются грани роста. Некоторые кристаллы подвергнуты рекристаллизации. Преобразованные кристаллы отличаются меньшими размерами по сравнению с базовыми, более темной окраской, ровной поверхностью и четкими очертаниями.

Значительная часть *зернистых графитовых агрегатов* состоит из множества мелких массивных графитовых кристалликов, соединенных кремнистым цементом. При последовательном многократном раздавливании эти зерна, как и другие крупные агрегаты, распадаются на отдельные зерна меньшей величины или кристаллики черного графита и частички прозрачного кварца. Исходные (природные) крупные *чешуйчатого строения агрегаты графита* сложены менее тонкими плотно соединенными (спрессованными) чешуйчатыми агрегатами (кристаллами) графита. В плане форма отдельных агрегатов (кристаллов) может быть неправильная, близкая к гексагональной, округлая или другая.

Поверхность частиц графита гладкая, ступенчатая, шероховатая, волнистая, изогнутая, с углублениями различных размеров и т.д. Шероховатость обусловлена расположением на поверхности крупных агрегатов микрочешуйчатых частиц графита, налегающих друг на друга (структура «черепичного» покрытия). Углубления на поверхности чешуйчатых агрегатов графита отражают, в основном, форму поверхности минералов, находившихся в контакте друг с другом (рис. 6). Контуры

индивидов неровные, зазубренные, извилистые или прямолинейные. Особенности в облике агрегатов и рельефе их поверхности могут служить причиной различной обогатимости графита в пределах одного месторождения [3].

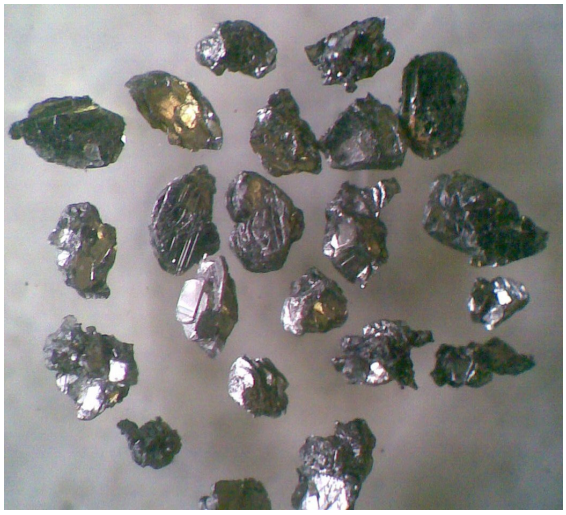


Рис. 3. Массивные (плотные) кристаллы графита, фракция -0,63+0,40 мм



Рис. 4. Чешуйчатые, шестоватые и пластинчатые агрегаты вскрытого графита, фракция -0,63+0,40 мм



Рис. 5. Зернистые агрегаты графита, состоящие из многих массивных микрокристаллов графита, сцементированных кремнистым цементом, фракция -0,63+0,40 мм

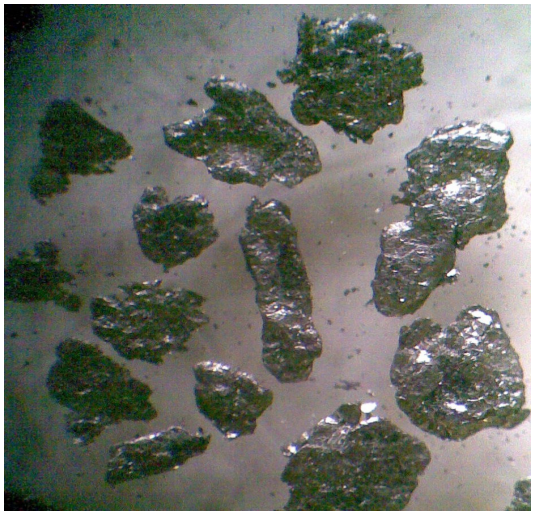


Рис. 6. Поверхность агрегатов графита со следами углублений от сопутствующих породообразующих минералов, фракция -1,0+0,63 мм

По результатам полевых наблюдений и описания шлифов под микроскопом (аналитик О.Б. Кузнецов) графит в рудах характеризуется как мелко– и среднечешуйчатый. Однако, установленные технологическими приемами размеры мономинеральных агрегатов графита во всех пробах значительно крупнее, но не превышают 5 мм (5х4х2; 4,0х1,5х0,2; 3,5х2,5х0,3 мм и т.д.). Поэтому, согласно классификации [4], в рудах определенную часть изучаемого графита можно причислить к крупночешуйчатому (+0,1 мм) типу, а другую часть к мелкочешуйчатому (–0,1+0,0 мм) типу. Но в соответствии с Инструкцией по применению классификации запасов к месторождениям графита [5] в целом на изучаемом объекте Чебере графит следует отнести к крупнокристаллическому типу, так как содержание графитовых агрегатов (кристаллов) размером крупнее 0,050 мм составляет больше 50%. Необходимо отметить, что по крупности агрегатов графита месторождение Чебере относится к рядовым графитовым объектам, поскольку максимальные размеры агрегатов графита в рудах на разрабатываемых за рубежом месторождениях обычно находятся в пределах 1-5 мм [6]. В промышленных условиях графит с такими природными размерами агрегатов по отечественным стандартам (ГОСТ 17022-81 “Графит. Типы, марки и общие технические требования”, ГОСТ 17818.2-90 «Графит. Метод определения гранулометрического состава») является пригодным для производства крупночешуйчатого (+0,2 мм), среднечешуйчатого (-0,2+0,063 мм) и мелкочешуйчатого (-0,063+0,0 мм) обогащенного графита. Одновременно он является пригодным для производства крупночешуйчатого +0,2 мм, среднечешуйчатого –0,2+0,15 мм и мелкочешуйчатого –0,15 мм графита, отвечающего требованиям международных стандартов [БИКИ № 21 (9267) 21.02.2008 г.].

В составе породы крупнокристаллические агрегаты графита присутствуют или в виде отдельных обособлений среди породообразующих минералов, или среди мелкокристаллического графита, образуя линзообразные скопления или тонкие прослои. Это исключает возможность раздельного обогащения крупнокристаллического и мелкокристаллического графита. При дроблении руды сростки из графита и породообразующих минералов распространены в преобладающем большинстве в классах крупности +0,05 мм. В руде, измельченной до крупности частиц -0,05+0,0 мм, зерна породообразующих минералов и различимые частицы графита практически полностью раскрыты. Таким образом, для максимального раскрытия графита необходимо доводить крупность руды до класса -0,05+0,0 мм.

Природные графитовые агрегаты исследуемых типов руд не являются минералогически однородными по наличию углерода из-за наличия в них минеральных включений (например, кварца, слюды, сульфидов и др.) и загрязнений (например, оксидов железа и др.). Количество минеральных включений и загрязнений можно выразить через зольность агрегатов графита. Например, при содержании графитного углерода 94% ненарушенные (естественные) монофракции графита +0,2 мм из биотит-гиперстеновых плагиосланцев (руда пробы № Т-1) характеризуются наличием зольности в количестве 6%. В этой же пробе в монофракциях графита с природными размерами частиц меньше 0,2 мм наличие зольности (засоряющих веществ) не превышает 4,0%, а содержание графитного углерода составляет 96%. Судя по наличию зольности, количество засоряющих веществ в частицах исходного графита из мигматизированных биотит-гиперстеновых плагиосланцев (руда пробы № Т-2) составляет 3,7%, а из графитистых кварцевых метасоматитов (руда пробы № Т-3) – 2%. Летучие вещества в мономинеральных агрегатах графита отсутствуют. Следовательно, при флотационном раздельном обогащении руд можно достигнуть чистоты концентратов с максимальным содержанием графитного углерода 96-98% при минимальной зольности 2-4%.

Термоустойчивость графита была определена по потерям массы при разных температурах нагрева. До температуры нагрева 500°С потерь в массе графита не наблюдается (аналитик Л.П. Лузина). При температуре прокаливания 600°С масса графита уменьшается на 5,0% а при температуре 700°С – на 36%. Цвет графита при этих температурах не изменяется. Максимальное сгорание графита происходит при 800-1000°С, но при 800°С графита сгорает на 1-3% меньше, чем при 900°С. Практически полное выгорание графита происходит при температуре свыше 1000°С. При температуре обжига 900°С кристаллы графита крупнее 2,0 мм месторождения Чебере сгорают не в полном количестве, незначительная часть из них сохраняется, однако доля их настолько мала, что это не влияет на вычисление показателя зольности. Таким образом, если по ГОСТ 17818.4-90 «Графит. Метод определения зольности» определение зольности графита рекомендуется проводить при одной из температур от 800 до 1000°С, то для графита месторождения Чебере наиболее оптимальной температурой определения зольности можно считать 900°С. Сохранившиеся после обжига при 900°С частички (останцы) графита имеют сильный блеск и черную окраску. Форма их заметно отличается от формы исходных агрегатов графита. В основном форма останцев графита вытянутая, чечевицеобразная. Края их зазубренные, пилообразные. Зубцы остроугольные и не ровные по высоте. Тонкие плоские останцы обычно изогнутые, часто имеют вогнутую (дугообразную) форму. Утолщенные останцы в плане прямолинейные и сохраняют ровную поверхность, но при этом края их также извилистые, зазубренные. Часть сохранившихся при температуре обжига 800°С останцев графита имеет явно кристаллическую форму. Они представлены отдельными массивными единичными кристаллами или сростками из 2-3 кристаллов, у которых отмечается грубое (редкое) расслоение параллельное слоистости и вертикальные трещины, ориентированные преимущественно согласно краевым контурам. Неравномерное сгорание графита при высоких температурах отмечалось нами также и при исследовании графита Тайгинского месторождения на Южном Урале. Неодинаковая способность к сгоранию кристаллов графита свидетельствует о возможном различии их кристаллического строения и фазового состава. Не исключено, что трудно сгораемый графит является более чистым (однородным) по химическому составу, то есть отличается незначительным количеством примесных веществ и максимальным содержанием графитного углерода. Образующаяся после сгорания графита масса (зола) имеет бурый (красно-бурый) цвет и пухообразную структуру.

По результатам технологических испытаний (аналитик Лузина Л.П.) содержание графитного углерода в исследуемых графитовых рудах в среднем составляет 23,67%, в том числе в руде пробы № Т-1 – 14%, пробы № Т-2 – 22%, пробы № Т-3 – 35%. По данным термического анализа (ДТГ, ДТА) содержание графитного углерода в руде пробы № Т-1 равно 12%, в руде пробы № Т-2 – 19%, в руде пробы № Т-3 – 32% (аналитики Губайдуллина А.М., Вассерман Д.В., Исламова Г.Г.). На основании полученных сведений геологические (или технологические) типы руд по содержанию основного полезного ископаемого–графита можно условно подразделить на бедные (содержание графита до 15%), рядовые (содержание графита от 15 до 25%), богатые (с содержанием графита больше 25%).

Химический состав графитовых руд

По химическому составу геологические типы руд, представленные биотит-гиперстеновым плагиосланцем (проба № Т-1) и мигматизированными биотит-гиперстеновыми плагиосланцами (проба № Т-2) имеют

незначительное отклонение, но существенно отличаются от состава графитистого кварцевого метасоматита (проба № Т-3). Химический состав руд приведен в табл. 2 (аналитики Медведева О.А., Демидова Л.А.).

Таблица 2. Химический состав графитовых руд

Оксиды, элементы	Содержание оксидов (%) и элементов (г/т) в рудах проб №№		
	Т-1	Т-2	Т-3
H_2O	0,15	0,02	0,08
SiO_2	50,96	47,72	63,09
TiO_2	0,48	0,39	0,32
Al_2O_3	10,42	7,99	0,18
Fe_2O_3	1,33	0,98	0,35
FeO	10,37	12.51	0,29
MnO	0,03	0,04	0,01
CaO	3,58	2,37	0,01
MgO	2,44	2,42	0,05
Na_2O	1,79	1,51	0,05
K_2O	1,76	1,01	0,02
P_2O_5	0,15	0,17	0,03
$SO_{3\ сульфат}$	<0,05	0,05	0,07
$S_{сульфид}$	4,43	5,29	0,02
Летучие (ППП 350 °С)	0,20	0,14	0,10
ППП 1000 °С	15,27	21,85	35,72
Зольность 950 °С	85,73	78,33	64,28
CO_2	0,18	0,29	0,04
Cl	не опр.	0,03	0,006
Cu г/т	453	650	69
Co г/т	28,9	40	3,2
Pb г/т	1,73	4,2	24
Ni г/т	228	3060	15
As	не опр.	0,85	2,6
$C_{графита}$	15,11	21,88	30,25
pH	не опр.	не опр	6,96

Высокое содержание железа и серы в составе руд проб №№ Т-1 и Т-2 обусловлено наличием в них сульфидов.

Принимая во внимание химический состав исходного сырья, на данном этапе исследований было сделано предположение, что получаемые концентраты графита из руд проб № Т-1 и № Т-2 могут иметь повышенное содержание железа и серы.

Флотация графитовой руды

Извлечение графита в концентрат осуществлялось способом прямой пенной флотации. Для флотации руду предварительно дробили и измельчали до крупности –1,0+0,0 мм.

В результате проведения основной флотации с применением отечественных флотореагентов, в частности солярового масла, были получены основной (черновой, стартовый) концентрат и хвосты обогащения (аналитик Л.П. Лузина). Выход концентратов основной флотации по пробам составляет от 23,5 до 57,6%, содержание в них графитного углерода от 52 до 58% (табл. 3).

Полученные стартовые концентраты по зольности (от 42 до 48%) не отвечают требованиям ГОСТ 17022-81. Согласно этому ГОСТ максимальная зольность концентратов не должна превышать 25%. С целью получения графитового концентрата (графита), отвечающего нормам ГОСТ 17022-81, черновой концентрат подвергали перечистке способом флотации в шесть последовательных этапов с двумя промежуточными доизмельчениями. В результате были получены чистовые (финишные) концентраты, характеризующиеся более высоким содержанием графитного углерода (90%) и низким содержанием зольности (10%), чем основные (стартовые) концентраты, и хвосты перечисток, в которых отмечается более высокое содержание графита по сравнению с хвостами основной флотации. Выход конечного (чистового) графитового концентрата зависел от количества графита в руде: чем выше содержание графита, тем больше был выход графитового концентрата. При этом качество графитовых концентратов по содержанию в них графита не зависит от содержания графита в исходной руде. Это можно считать одним из критериев, по которому изучаемые руды следует отнести к одному технологическому типу по обогащению.

Содержание графита как минерала в концентратах варьирует от 91,8 до 93,6% (в среднем составляет 92,6%). Повышенное содержание графита в концентрате по сравнению с графитным углеродом объясняется тем, что графит не является химически чистым по наличию углерода, а содержит минеральные примеси и загрязнения в количестве 2-4%. Определение содержания графита как минерала, в %, в концентратах проводилось с учетом методических рекомендаций № 93 «Методика определения содержания в породах графита» (МПР РФ, 1999), разработанных ЦНИИгеолнерудом, и согласно [7].

Таблица 3. Технологические показатели обогащения графитовых руд проявления Чебере

Показатель	Результат обогащения руды по пробе №			
	Т-1	Т-2	Т-3	Среднее
Выход чистового неклассифицированного концентрата из руды, %	11,47	16,6	28,8	18,96
в том числе: концентрата +0,2 мм, %	0,3	1,56	0,86	0,91
концентрата –0,2+0,0 мм	11,17	15,04	27,94	18,05
Содержание графитного углерода в чистовом неклассифицированном концентрате, %	90	90	90	90
в том числе: в концентрате +0,2 мм, %	96	96,3	98	96,7
в концентрате –0,2+0,0 мм	89,5	89	89,6	89,40
Содержание графита как минерала в чистовом неклассифицированном концентрате, %	93,6	93,3	91,8	92,60
Извлечение графитного углерода, %	73,7	67,9	74	72,09
Степень обогащения	6,4	4,09	2,57	4,35
Степень сокращения	8,7	6,02	3,47	6,06
Выход концентрата основной флотации, %	23,5	34,39	57,6	38,50
Содержание графитного углерода в концентрате основной флотации (в черновом концентрате), %	52	56	58	56
Выход хвостов после основной флотации, %	76,5	65,61	42,4	61,50
Содержание графитного углерода в хвостах основной флотации, %	2,5	4,0	4,0	3,38
Выход хвостов перечистных операций, %	12,03	17,79	28,8	19,54
Содержание углерода в хвостах перечистных операций, %	15	25	26	23
Содержание графитного углерода в исходной пробе, %	14	22	35	23,67
Расход руды на получение 1 т концентрата, т	8,7	6,02	3,47	6,06
Количество возможных марок графита, отвечающих требованиям ГОСТ 17022-81	16	17	26	26

Наиболее высокое извлечение графитного углерода установлено для руды, представленной графитистым кварцевым метасоматитом (руда пробы № 3). Самое низкое извлечение углерода 67,9% отмечено для руды, представленной биотит-гиперстеновыми плагиосланцами (руда пробы № 2). В среднем извлечение графитного углерода для всех проб составило 72,09%. Недостаточное извлечение графитного углерода в концентрат, с нашей точки зрения, частично объясняется наличием некондиционного (неизвлекаемого) графитного вещества, мелкие частицы которого имеют тесное срастание с породообразующими минералами или находятся внутри их и практически не поддаются вскрытию механическими способами. Поэтому содержание графитного углерода в хвостах основной флотации довольно высокое и составляет в среднем 3,38%. По отечественным меркам, на примере разделения по обогатимости перерабатываемых графитовых руд Тайгинского месторождения [3], усредненная графитовая руда объекта Чебере является среднеобогатимой в случае получения неклассифицированного графитового концентрата с содержанием графитного углерода 90%. При снижении требований к качеству графитовых концентратов можно увеличить выход графитового концентрата на примере переработки руды пробы № Т-3 до 40,1% (или в 1,4 раза больше, чем максимально чистого), но с более высокой зольностью – 22,5%. Такой графит отвечает маркам ГЛ-3 (графит литейный кристаллический) и ГЛС-4 (графит литейный скрытокристаллический). При этом извлечение графитного углерода в концентрат будет увеличено с 74 до 88,8% (или в 1,2 раза больше). В этом случае графитовая руда пробы № Т-3 будет относиться к хорошо обогатимым рудам. Обогатимость руд других типов останется прежней.

По результатам флотационного обогащения выделенные преимущественно по минералого-петрографическому составу исследованные 3 природные типа графитовых руд отнесены нами к одному технологическому типу. Они способны к обогащению по одной технологической схеме с применением одного и того же оборудования и с использованием равнозначных реагентов.

Техническая оценка чистового графитового концентрата

Гранулометрический состав чистового графитового концентрата. Методом ситового анализа в составе чистового концентрата было установлено наличие частиц графита всех основных размеров, которые нормируются ГОСТ 17022-81 для производства соответствующих марок товарного графитового продукта (табл. 4).

Таблица 4. Гранулометрический состав неклассифицированного чистового графитового концентрата

Фракция крупности графита, мм	Содержание фракции графита в пробе №, в % к итогу			
	Т-1	Т-2	Т-3	Среднее
-0,63+0,20	2,7	9,4	3,0	5,0
-0,2+0,16	4,9	6,1	6,1	5,7
-0,16+0,10	12,6	15,2	18,7	15,5
-0,10+0,071	16,6	19,8	19,5	18,7
-0,071+0,063	6,6	3,6	6,2	5,5
-0,063+0,045	17,4	19,3	19,2	18,6
-0,045+0,00	39,2	26,6	27,3	31,0
Итого: -0,63+0,00	100	100	100	

При объединении выделенных классов в соответствующих пропорциях и проведения необходимого их доизмельчения можно получать требуемую марку графита, отвечающего нормативам отечественного ГОСТ 17022-81 или графитовой продукции международного уровня. По нормативам ГОСТ 17818.2-90 обогащенный графит во всех пробах представлен крупночешуйчатым (+0,2 мм), среднечешуйчатым (-0,2+0,063 мм) и мелкочешуйчатым (-0,063+0,0 мм) промышленными типами. Графит, размеры частиц которого превышают 0,2 мм, по БИКИ № 2 (21.02.2008) также считается крупночешуйчатым.

В процессе переработки руды произошло некоторое изменение графита по величине агрегатов. Так, в концентрате максимальный размер частиц извлеченного графита не превышает 0,63 мм, т.е. в сравнении с исходной величиной природного графита, равной 5,0 мм, в результате дробления, измельчения и флотации произошло уменьшение их размеров практически в 8 раз. Доля крупнокристаллического графита +0,2 мм в составе концентратов различна и изменяется от 2,7 до 9,4%. Это можно объяснить наличием в пробах неодинакового количества высокоабразивных минералов, такие как кварц, полевые шпаты, пироксены и пирротин, которые могут оказывать большое воздействие на истирание графита. Чем больше высокоабразивных минералов в исходной пробе, тем интенсивнее истираются частицы графита, что приводит к сокращению выхода крупнокристаллического графита. По содержанию крупнокристаллического графита в концентратах исходные графитовые руды целесообразно подразделить на низкосортные (с содержанием графита +0,2 мм не больше 0,5%), рядовые (с содержанием графита +0,2 мм не больше 0,5-1,0%) и высокосортные (с содержанием графита +0,2 мм больше 1,0%).

Минеральный состав чистовых графитовых концентратов. Помимо графита в составе концентратов присутствуют нерудные минералы и магнитные сульфиды. Содержание магнитной фракции установлено только в концентратах графита из руды пробы № Т-1 пробы – 0,5% и из руды пробы № Т-2 – 0,8% (аналитик Л.П. Лузина).

Среди нерудных минералов по результатам исследований рентгенографического полуколичественного фазового анализа (аналитики С.А. Волкова, Ильичева О.М.) в составе чистовых графитовых концентратов имеют место кварц, биотит, полевой шпат, пироксены, тальк, хлорит (табл. 5).

Химический состав графитовых концентратов. Содержание графитного углерода в концентратах по данным химического анализа составляет от 79,30 до 88,46%. В числе других компонентов в составе финишных графитовых концентратов определены оксиды (% мас.): SiO_2 – 8,6-9,50; TiO_2 –0,04-0,014; Al_2O_3 – 0,16-1,05; MnO – 0,01; CaO – 0,05-0,48; MgO – 0,05-0,69; Na_2O – 0,03-0,18; K_2O – 0,01-0,11; P_2O_5 – 0,02-0,05; CO_2 –0,03-0,15 (аналитики О.А Медведева, Л.А. Демидова, Н.В. Князева).

Таблица 5. Минеральный состав чистовых неклассифицированных концентратов графита по данным рентгенографического полуколичественного фазового анализа

Минерал	Содержание минерала в пробе №, %			
	Т-1	Т-2	Т-3	Среднее
Графит	78	81	86	81,7
Кварц	10	8	14	10,7
Биотит	2	1	-	1,0
Полевой шпат	3	5	-	2,7
Пироксены	1	-	-	0,3
Хлорит	2	5	-	2,3
Тальк	4	-	-	1,3

Кроме того, в составе концентратов установлены такие элементы, как u 0,003-0,027%; S 0,02-0,32%; Fe 0,35-1,9% и др., присутствие которых в значительных количествах не всегда является желательным для производства ряда марок графита (например, меди не должно быть больше 0,05% , серы 0,1-0,3% и железа не выше 0,15-1,9%). Наиболее высококачественным по наличию меди является графит из руды пробы № Т-1, а по содержанию серы и железа – графит из руды пробы № Т-3. Повышенное содержание указанных примесей можно объяснить за счет присутствия в концентратах сульфидов.

Направления применения графитовых концентратов

Принимая во внимание установленные технические показатели можно прогнозировать, что обогащенный графит может иметь комплексное применение.

По таким показателям как *содержание углерода (С) и гранулометрический состав* обогащенный графит проявления Чебере может быть *продуктом Экспорта* в качестве крупночешуйчатого +0,2 мм (С = 94-97%), среднечешуйчатого –0,2+0,15 мм (С = 85-96%) и мелкочешуйчатого –0,15 мм (С = 90%) графита [БИКИ № 21 (9267) 21.02.2008 г.]. Дополнительные показатели для графита (например, по химическому составу), предназначенного на экспорт, в БИКИ не указаны. На мировом рынке цена за 1 т кристаллического крупночешуйчатого графита, 94-97% С, составляет 958-1089 USD/т, среднечешуйчатого, 90% С, – 484-544 USD/т, мелкочешуйчатого, 90%С, – 451-522 USD/т.

В России качество товарного графита оценивается по ГОСТ 17022-81 не только по наличию углерода и гранулометрическому составу, но и с учетом других нормируемых показателей, например, *по наличию зольности и содержанию некоторых химических элементов, к которым причислены медь, железо, сера и др.* Возможные марки графита, которые можно получить при обогащении графитовых руд месторождения Чебере, приведены в табл. 6.

Таблица 6. Марки графита из графитовых концентратов +0,2 мм, -0,2+0,0 мм и неклассифицированных с учетом требований ГОСТ 17022-81

Графит	Марки графита из графитовой руды пробы №			
	Т-1	Т-2	Т-3	В целом
Аккумуляторный	-	-	ГАК-3	ГАК-3
Карандашный	ГК-3	ГК-3	ГК-2, ГК-3	ГК-2, ГК-3
Смазочный	ГС-4	ГС-4	ГС-3, ГС-4	ГС-3, ГС-4
Пороховой	-	-	П	П
Электроугольный	-	ЭУН	ЭУЗ-11, ЭУЗ-111; ЭУТ-1, ЭУТ-11, ЭУТ-111; ЭУН	ЭУЗ-11, ЭУЗ-111; ЭУТ-1, ЭУТ-11, ЭУТ-111; ЭУН
Тигельный	ГТ-1, ГТ-2, ГТ-3	ГТ-1, ГТ-2, ГТ-3	ГТ-1, ГТ-2, ГТ-3	ГТ-1, ГТ-2, ГТ-3
Элементный	ГЭ-1, ГЭ-2, ГЭ-3, ГЭ-4	ГЭ-1, ГЭ-2, ГЭ-3, ГЭ-4	ГЭ-1, ГЭ-2, ГЭ-3, ГЭ-4	ГЭ-1, ГЭ-2, ГЭ-3, ГЭ-4
Литейный	ГЛ-1, ГЛ-2, ГЛ-3; ГЛС-1, ГЛС-2, ГЛС-3, ГЛС-4	ГЛ-1, ГЛ-2, ГЛ-3; ГЛС-1, ГЛС-2, ГЛС-3, ГЛС-4	ГЛ-1, ГЛ-2, ГЛ-3; ГЛС-1, ГЛС-2, ГЛС-3, ГЛС-4	ГЛ-1, ГЛ-2, ГЛ-3; ГЛС-1, ГЛС-2, ГЛС-3, ГЛС-4
Всего марок	16	17	26	26

По нормируемым показателям для графита различных марок можно судить о том, что графитовые руды проявления Чебере в зависимости от их вещественного состава можно разделить на такие технологические сорта, как руды с высоким содержанием вредных примесей и руды рядовые с нормальным (допустимым) содержанием вредных примесей, которые целесообразно выделять в процессе технологического картирования объекта, что в дальнейшем будет способствовать повышению эффективности его эксплуатации [8]. К рудам с высоким содержанием вредных примесей следует относить те, из которых при обогащении невозможно получать наиболее престижные марки графита по ГОСТ по наличию вредных примесей (например, серы, меди, железа и др.). К рудам с нормальным содержанием вредных примесей следует относить те, из которых при обогащении получаются высокосортные марки графита, отвечающие требованиям ГОСТ по содержанию вредных примесей.

В целом обогащенный графит отвечает требованиям ГОСТ 17022-81 “Графит. Типы, марки и общие технические требования”. Он может использоваться: для производства аккумуляторов и карандашей; для изготовления графитовых смазок; применяться в качестве ингредиента электропроводящей резины, изделий порошковой металлургии, графитовых смазочных карандашей и паст, электропроводящих полимерных пленок; для изготовления консистентных смазок, изделий специального назначения, огнеупорных графитокерамических изделий, противопригарных покрытий при получении отливок, тормозных колодок; в качестве припыла рабочих поверхностей форм и стержней при получении отливок сложной конфигурации, требующих особо чистой поверхности и не требующих высокой чистоты; в производстве электроугольных изделий и первичных химических источников тока; в металлургическом производстве; в качестве пигментов для изготовления красок и т.д.

Применение твердых отходов переработки графитовых руд в производстве строительных материалов

Объединенные твердые отходы основной флотации совместно с отходами перечистных операций обогащения сложены полиминеральным зернистым сыпучим продуктом, максимальный размер частиц которого не превышает 0,315 мм. Минеральный состав отходов представлен графитом, кварцем, биотитом, полевым шпатом, хлоритом, пироксеном, пирротином, тальком и другими минералами. На ограниченном количестве проведенных испытаний была установлена возможность использования их в качестве заполнителя бетонов (например, марки 150 по ГОСТ 6133-84 "Камни бетонные стеновые"), а также в производстве керамического кирпича (например, марки 250 по ГОСТ 530-2007 "Кирпич и камни керамические"). Прочность на сжатие полученного керамического кирпича (28.0 МПа) с заполнителем из отходов обогащения графитовой руды в 2,3 раза больше, чем керамического кирпича (12,4 МПа), изготовленного из сырьевой смеси (глина+кварцевый песок). Следовательно, эти отходы могут служить альтернативой заполнителю из кварцевого песка, стоимость 1 т которого на международном рынке составляет в среднем 16 USD. Дополнительные затраты на получение такого состава и качества минерального заполнителя не потребуется, так как расходы на добычу и переработку полиминерального сырья будут отнесены на производство основного полезного ископаемого, т.е. графита. Кроме того, они могут найти применение в производстве рубероида при условии предварительного отсева фракции –0,05+0,0 мм. Согласно ГОСТ 10923-82 "Рубероид. Технические условия" величина зерен песчаного материала должна быть от 0,05 до 0,63 мм.

Технико-экономические показатели переработки руд месторождения Чебере сопоставимы с таковыми переработки руд, Надеждинского, Тайгинского и других месторождений, а некоторые показатели даже находятся в более выгодном положении. Например, как показывают расчеты, стоимость графитовой продукции, вырабатываемой из 1 т руды, на месторождении Чебере составляет 53,27 USD, на Надеждинском месторождении 20,32 USD, на Тайгинском – 13,22 USD. При этом расход руды на производство 1 т графита на месторождении Чебере не превышает 9,14 т, на Надеждинском месторождении – 27,40 т и на Тайгинском – 37,04 т. При полной отработке месторождения Чебере будет произведено графита ориентировочно на сумму 215 млн. USD. Для открытия нового горно-обогатительного предприятия необходимо провести оценочные работы по переводу прогнозных ресурсов и запасов категории C_2 в запасы категорий C_1+ C_2.

Использование отходов обогащения позволит не только значительно повысить эффективность эксплуатации графитового объекта Чебере, но и сохранить экологическую обстановку на территории предполагаемого горно-обогатительного предприятия.

Приведенные данные исследований показывают, что месторождение графитовых руд Чебере перспективно для отработки, комплексного освоения и является привлекательным для инвесторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Петрография. Часть 1. М.: Изд-во Московского университета, 1976. 384 с.
2. Пат. 2139529 Российская Федерация, С1. Способ определения природных разновидностей слюд / Лузин В.П., Лузина Л.П. № 97115866; заявл. 11.09.97; опубл. 10.10.99, Бюл. № 28. 6 с
3. *Евстигнеева А.А.* Совершенствование технологии обогащения графитовых руд (на примере Тайгинского месторождения): автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Л., 1989. 22 с.
4. *Веселовский В.С.* Требования промышленности к качеству минерального сырья. Графит // Справочник для геологов. М.: Госгеолиздат, 1946. 48 с.
5. Инструкция по применению классификации запасов к месторождениям графита. М.: ГКЗ СССР, 1984. 36 с.
6. Графит // Минеральные ресурсы промышленно развитых капиталлистических и развивающихся стран. М.: Союзгеолфонд, 1979. С. 435-444.
7. *Лузин В.П.* Эффективность определения содержания графита в рудах с применением технологических приемов // Матер. межд. совещания "Современные проблемы обогащения и глубокой комплексной переработки минерального сырья" (Плаксинские чтения – 2008):. Владивосток, 16-21 сентября 2008 г. Владивосток: Изд-во Тихоокеанской АН экологии и безопасности жизнедеятельности, 2008. С. 135-137.
8. *Лузин В.П., Кузнецов О.Б.* Геолого-технологическое картирование месторождений графита / Прогноз, поиски, оценка рудных и нерудных месторождений – достижения и перспективы. Сб. тез. докл. науч.-практич. конференц. (20-22 мая 2008 г., Москва, ЦНИГРИ). М.: ЦНИГРИ, 2008. С.125-126.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОГНОЗНОЙ ОБОГАТИМОСТИ БУРЫХ УГЛЕЙ МЕТОДАМИ ОПТИЧЕСКОЙ МИКРОСКОПИИ И РЕНТГЕНОТОМОГРАФИИ

Якушина О.А., Ануфриева С.И., Ожогина Е.Г.

ФГУП «ВИМС», г. Москва

Сегодня прогнозирование и разработка возможных технологий обогащения и передела невозможны без информации о составе. Накопленный в ВИМСе значительный опыт минералого-технологической оценки минерального сырья, в том числе энергетических углей ряда месторождений России [1-3], показал, что прогнозную технологическую оценку углей с высокой степенью достоверности и в сжатые сроки можно проводить на базе комплекса современных минералого-аналитических методов: устанавливать характер распределения породообразующих минералов, их гранулометрические и морфометрические характеристики, определять и количественно оценивать серосодержащие фазы.

Сегодня в соответствии с мировыми стандартами [4-6] зольность углей в промышленном использовании не должна превышать 12-15%, для бытового сектора – 6-8% при содержании серы до 1%. По возросшим сегодня требованиям защиты окружающей среды зольность используемых в промышленности углей не должна превышать 8%, а сернистость 0,6%. Повышенное содержание золы в значительной степени снижает энергетическую ценность угля. Содержащаяся в углях сера при технологическом использовании значительно ухудшает качество продуктов переработки топлива: кокса, смолы, газа и т.д.; а при сжигании углей поступает в атмосферу, негативно влияя на окружающую среду [4-9]. Таким образом, качество углей в первую очередь будет определять их зольность и сернистость, которые связаны с минеральной составляющей.

Оценка обогатимости углей обычно проводится методом фракционного анализа [6, 10, 11], который является довольно трудоемким, затратным и длительным: необходимо проводить расслоение проб различных классов крупности на фракции в жидкостях различной плотности – от 1,3 до 2,1 г/см^3 (следует учитывать, что сами жидкости, например, бромоформ, являются химически вредными веществами), с последующими аналитическими расчетами и построением графиков для определения показателя обогатимости.

Известна методика определения степени обогатимости углей петрографическим методом [6, 12], которая выполняется по совокупности критериев: количества видов групп микролитотипов (путем подсчета под микроскопом в аншлифах-брикетах микролитотипов по группам), присутствию органоминеральных сростков различных минералов и обломков пород. Заметим, что опыт использования методов углепетрографии, показал, что они эффективны не столько для оценки качества самого угля, а, прежде всего, для определения морфометрических и гранулометрических параметров зерен, раскрытия минералов, для изучения вопроса о возможности удаления или концентрирования зерен отдельных минералов, главным образом сульфидов (пирита) с помощью методов обогащения, для установления причин неожиданного поведения угля или неудовлетворительных выходов [8].

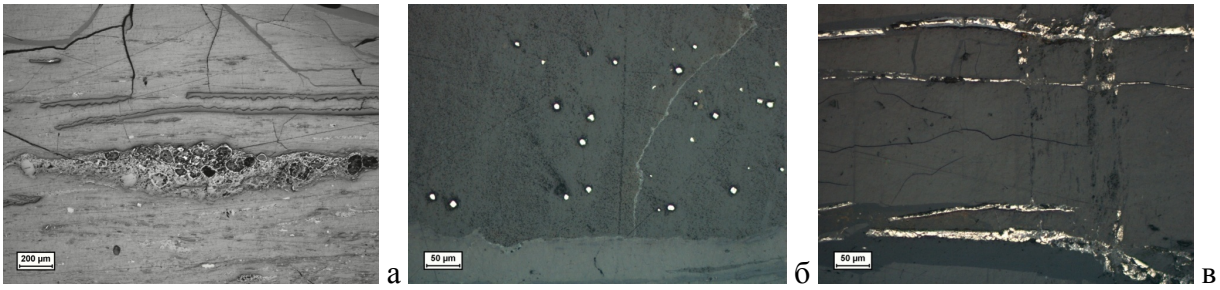
В настоящей работе предварительная прогнозная оценка обогатимости бурых углей, которые по своим органолептическим характеристикам были отнесены к витрен-клареновому литотипу, выполнена оптико-минералогическим и рентгенотомографическим методами. Именно этими методами определялись: количество и соотношение групп микролитотипов, наличие органоминеральных сростков, зольность, чтобы затем по данным параметрам, аналогично петрографической методике [12], определить прогнозную степень обогатимости исследуемых углей.

В отраженном свете наблюдалась бесструктурная гелифицированная основная органическая масса, практически утратившая следы растительного происхождения, в которой в подчиненном количестве присутствовали форменные элементы (рис. 1а), представленные фюзинизированными остатками растительного происхождения. Иногда гелифицированная масса рассечена относительно протяженными «сухими» микротрещинами, ориентированными взаимно перпендикулярно; локально установлены включения сульфидов (рис. 1б, 1в). В углях по данным оптико-минералогического анализа установлено два вида микролитотипов.

инеральная составляющая угля, доля которой составляет ~25%, представлена кварцем, слоистыми алюмосиликатами, полевым шпатом, баритом, анатазом; рудные минералы (пирит, марказит, пирротин, ярозит) присутствуют в весьма незначительном количестве; отмечается самородная сера <1%. Главный породообразующий минерал – каолинит.

Рудные минералы в материале крупностью менее 1 мм практически не образуют органоминеральных сростков и концентрируются во фракции плотностью более 2,9 г/см^3, причем их содержание значительно меньше 1%. Пирит представлен двумя генерациями, образовавшимися в различные стадии литогенеза. С ранней стадией углефикации связан пирит I генерации – сингенетический, возможно раннедиагенетический, представленный зернами кубической, панидиоморфной и округлой формы (рис. 1б), неравномерно рассеянными в угле. Пирит II генерации

образовался в более поздние стадии углефикации, вероятно, его можно отнести к эпигенетическому. Он тесно ассоциирует с марказитом и, как правило, образует прожилки различной мощности (рис. 1в).

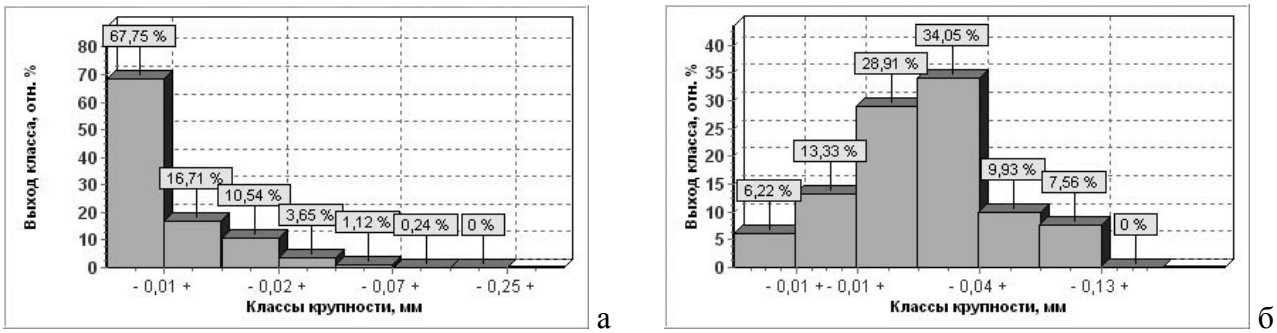


а б в

Рис. 1. Микроструктурные особенности углей: а) гелифицированная масса угля с форменными элементами; б) мелко-тонкокристаллический пирит I генерации; в) марказит-пиритовые прожилки. Отраженный свет, николи параллельны

М

По данным оптико-геометрического анализа средний размер зерен пирита составляет 0,006 мм; масса зерен пирита размером менее 0,044 мм составляет 0,056%; основная масса минерала сосредоточена в материале крупностью -0,074+0,01мм (рис. 2). Пирит обеих генераций имеет одинаковые морфоструктурные параметры (табл. 1).



а б

Рис. 2. Гистограммы гранулометрического состава пирита по классам крупности

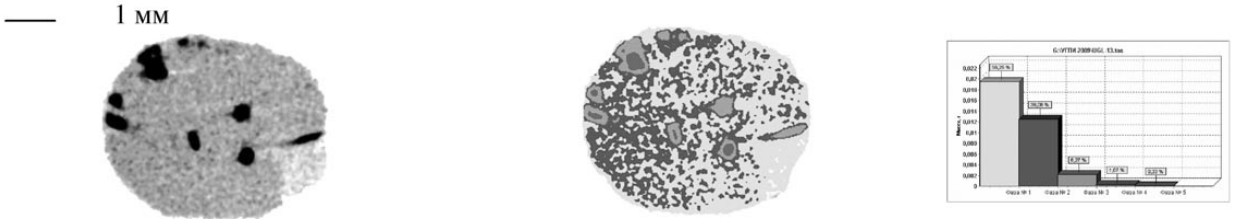
(а – количественный,
б – массовый)

Таблица 1. Гранулометрический состав и морфометрические характеристики пирита в угле

Минерал, проба	Содержание, %	Изрезанность	Размерность, мм			Удлинение
			Мин.	Средн.	Макс.	
Пирит (1)	0,029	0,598	0,001	0,006	0,107	2,28
Пирит (2)	0,029	0,598	0,001	0,006	0,107	2,28

Рентгентомографическое исследование гелифицированной массы угля показало, что по значениям линейных коэффициентов ослабления (ЛКО) четко выделяется два типа манерала в количественном соотношении 60% и 30% (рис. 3), также фиксируется микропористость углей, размер пор не превышает 0,001 мм. Сульфидная минерализация, прежде всего пирит, распределена в угле крайне неравномерно и присутствует в незначительном количестве (0,06-0,1%). Зерна пирита практически однородны, лишь иногда в них фиксируются зоны размером до 30 мкм, отличающиеся по ЛКО от матрицы, которые можно идентифицировать как пирротин (был диагностирован рентгенографическим анализом). Образование пирротина, вероятно, связано с частичным восстановлением пирита.

Прогнозная зольность исследованных углей по рентгенотомографическим данным, полученная путем экспериментального определения содержания минеральных фаз в мацеральной основе, составляет в среднем ~5,5% (рис. 3, гистограмма).



а) б)

Рис. 3. Рентгенотомография бурого угля: а) томограмма; б) обработка по TomAnalysis; сульфиды в окаймлении оксидов железа – темно-серое; гелифицированная масса – светло-серое и серое.

Таким образом, впервые проведена прогнозная оценка качества бурого угля методами оптической минералогии и рентгенотомографии, в результате которой установлено: присутствие двух групп микролитотипов в соотношении 2:1, органоминеральных сростков в материале крупностью менее 1 мм не обнаружено, средняя зольность угля 5,51%. Следовательно, бурые угли могут быть отнесены к средней степени обогатимости, приближающейся к легкой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Использование рентгенотомографии и анализа изображений для минералого-технологической оценки углей / *О.А. Якушина, Е.Г. Ожогина, Серов И.*В. и др. // Матер. межд. конф. «Углерод: минералогия, геохимия и космохимия». Сыктывкар: Геопринт, 2003. С. 290-292.

2. *Ожогина Е.Г., Якушина О.А.* Минералогические критерии технологической оценки энергетических углей // Геологическое изучение и использование недр. Научн.-техн. информ. сб. / М.: Геоинформцентр, 2003. Вып.5, 6. С. 33-38.

3. *Якушина О.А., Ожогина Е.Г., Ануфриева С.И. и др.* Влияние минеральной составляющей бурых углей на их качество // Матер. III совещ. по органической минералогии с межд. участием. Сыктывкар: Геопринт, 2009.

4. *Голицын М.В., Голицын А.М.* Все об угле. М.: Наука. 1989. 192 с.

5. *Ледовских А.А.* Основные результаты работ Федерального агентства по недропользованию в 2008 г. и приоритетные задачи на 2009 год // Разведка и охрана недр. 2009. № 1. С. 4-10.

6. Минеральное сырье. Уголь / *В.А. Косинский, Ю.Н. Корнилов, Е.И. Поляковская и др*. // Справочник. – ЗАО «Геоинформмарк», 1997. 63 с.

7. *Миронов К.В.* Справочник геолога-угольщика. М: Недра. 1982. 311 с.

8. Петрология углей / *Штах Э., Маковски М.-Т., Тейхмюллер М. и др.*/ М.: Мир, 1978. 554 с.

9. Справочник по обогащению углей. М.: Недра. 1984.

10. ГОСТ 4790-93 Топливо твердое. Определение и представление показателей фракционного анализа. Общие требования к аппаратуре и методике.

11. ГОСТ 10100-84 Угли каменные и антрацит. Метод определения обогатимости.

12. ГОСТ 18384-73 Угли каменные. Петрографический метод определения степени обогатимости

ФИЗИКА ПРОЦЕССОВ ОБОГАЩЕНИЯ КВАРЦА

Раков Л.Т.[1], Дубинчук В.Т.[2]

[1] ИГЕМ РАН, г. Москва; [2] ФГУП “ВИМС”, г. Москва

Физические процессы, протекающие в кварце и способные влиять на эффективность очистки кварцевого сырья, во многом определяются особенностями реального строения самого минерала. Важнейшей из этих особенностей является неоднородность кристаллического строения. Присутствие в кварце газово-жидких включений, обилие трещин и, главное, блочное строение минерала обусловливают существование в нем разнообразных форм примесей. Разработка перспективных технологий обогащения кварца должна основываться на результатах изучения форм вхождения примесей в минерал и их поведения в процессе технологического передела.

В настоящее время многие исследователи придерживаются мнения, что в конденсированном состоянии примеси присутствуют в кварце в минеральной и структурной формах. Причем структурная форма, как правило, отождествляется с изоморфной формой, т.е. с ионами примесей, изоморфно замещающими ионы кремния в кристаллической решетке кварца. Изоморфные примеси обладают необычайно высокой устойчивостью к различным видам физического или химического воздействия на минерал практически не

удаляются при технологическом переделе кварцевого сырья. Поэтому их содержание определяет предельную чистоту сырья, достигаемую после удаления из него всех других форм примесей [1].

В силу указанных причин основные проблемы обогащения кварцевого сырья связывают с очисткой его от минеральных примесей. Влияние последних на качество конечной продукции может иметь решающее значение. Действительно, минеральные примеси составляют основной источник загрязнения кварцевого стекла в процессе его наплава. Недостаток внимания к ним способен сделать непригодной любую технологическую схему. Ввиду вышеизложенного изучение состава и содержания минеральных примесей в кварцевом сырье является наиболее важной частью оценки его качества. Весьма благоприятным фактором для ее проведения нужно считать возможность непосредственного наблюдения минеральных примесей оптическими методами и методом электронной микроскопии.

Оценивая потенциал современных технологий обогащения, следует признать, что для отдельных типов кварцевого сырья они позволяют практически полностью избавиться от минеральных примесей. Решающее значение при этом имеет операция высокотемпературного хлорирования. Однако даже в этих случаях не всегда удается получить сырье необходимого качества.

Причиной загрязненности, казалось бы, идеально очищенного кварцевого сырья является присутствие рассеянной формы примесей. Разработка способов удаления таких примесей в процессе обогащения кварца представляет собой важнейшую технологическую проблему. Ее решение возможно только после детального изучения физических свойств рассеянных примесей и выяснения их поведения при обогащении кварцевого сырья. Цель настоящей работы заключается в обобщении закономерностей распределения рассеянных примесей в кварце, полученных авторами в результате исследования минерала методами электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) и электронной микроскопии, и оценке перспектив использования их при разработке новых технологий обогащения кварцевого сырья.

Установлено, что рассеянные примеси локализуются, главным образом, в так называемых демпферных зонах кварца, характеризующихся высокой степенью дефектности [2]. Эти зоны, по существу, можно рассматривать как области аморфизации кристаллической структуры кварца, в которых отсутствует дальний порядок и слабо выражен ближний. Энергия связи атомов в такой решетке низка и непостоянна вследствие различного расстояния между ними. Значительные вариации параметров элементарной ячейки позволяют демпферным зонам захватывать и удерживать целый ряд примесей. В них замечено концентрирование Al, Ti, Ga, Sc, Zr, Y, а также Ge [2, 3]. Интересно, что все перечисленные элементы принадлежат второй и третьей группам таблицы Менделеева и по атомным характеристикам наиболее близки к атому кремния, который они, вероятно, могут замещать в областях аморфизации кварца.

По формальным признакам рассеянные примеси в демпферных зонах можно отнести к структурным. В то же время их положение нельзя идентифицировать как позицию изоморфного замещения ионов Si^{4+}, пусть и в дефектной, но в кристаллической структуре кварца. Физические свойства структурных примесей, локализующихся в упорядоченной кристаллической решетке и демпферных зонах настолько различны, что их нельзя отнести к одному типу примесей. Главное отличие рассеянных примесей заключается в их высокой подвижности, что может быть использовано в процессах обогащения кварцевого сырья. Другое отличие состоит в существенном искажении решетки, окружающей структурные примеси в демпферных зонах, вследствие чего регистрация их методом ЭПР крайне затруднительна, а, чаще всего, невозможна. Игнорирование этих обстоятельств может привести к неправильному истолкованию результатов исследований кварца физическими методами, проявившемуся, например, в работе [4].

Появление демпферных зон в образцах кварца особой чистоты обусловлено специфическими условиями минералообразования. По всей видимости, наиболее благоприятными для образования такого кварца являются низкие температура и давление. При этом его первоначальное состояние может представлять собой гель кремнезема [5]. С течением времени гелеобразное вещество претерпевает раскристаллизацию с вытеснением примесей из кристаллической структуры новообразованного кварца в демпферные зоны. На начальной стадии раскристаллизации образцы кварца имеют зональное строение в виде чередующихся полос кристаллического кварца и демпферных зон (см. рис.1). Подобные картины зонального строения наблюдаются в других минералах и связываются с явлением структурной модуляции, свойственной диссипативным структурам [6].

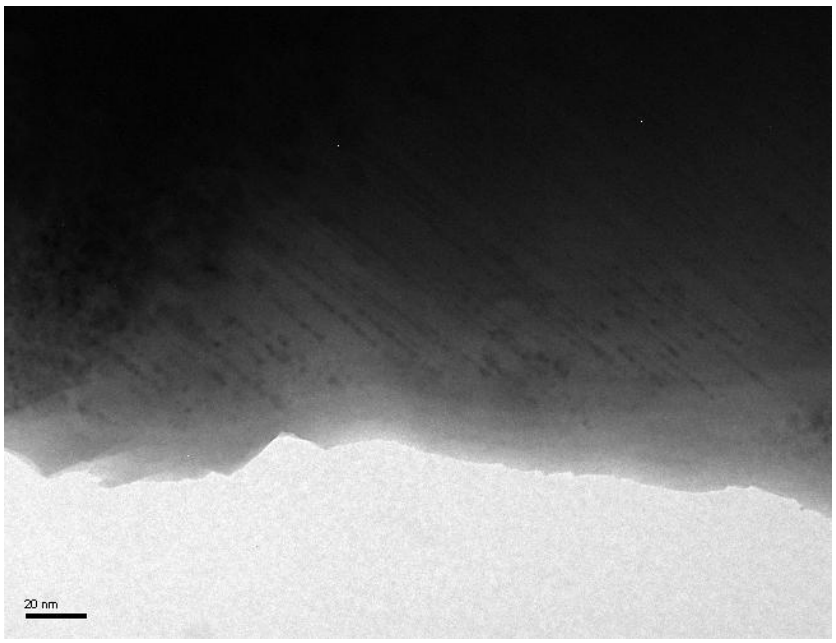


Рис. 1. Электронно-микроскопический снимок на просвет выколка зерна кварца, имеющего зональное строение. Светлые полосы – кристаллический кварц, темные полосы – демпферные зоны, обогащенные примесями. Образец кварца из месторождения Ольховское (Южный Урал).

Зональность строения с четкими границами, разделяющими кристаллический кварц и демпферные зоны, характеризует состояние вынужденного равновесия кристаллической структуры минерала. Под влиянием термического, радиационного или другого воздействия на кварц наблюдается разрушение этого состояния. Оно сопровождается постепенным стиранием когерентности элементов структуры минерала, картина его строения становится более однородной. Рис. 2 иллюстрирует указанный процесс, стимулируемый в кварце продолжительным электронным облучением.

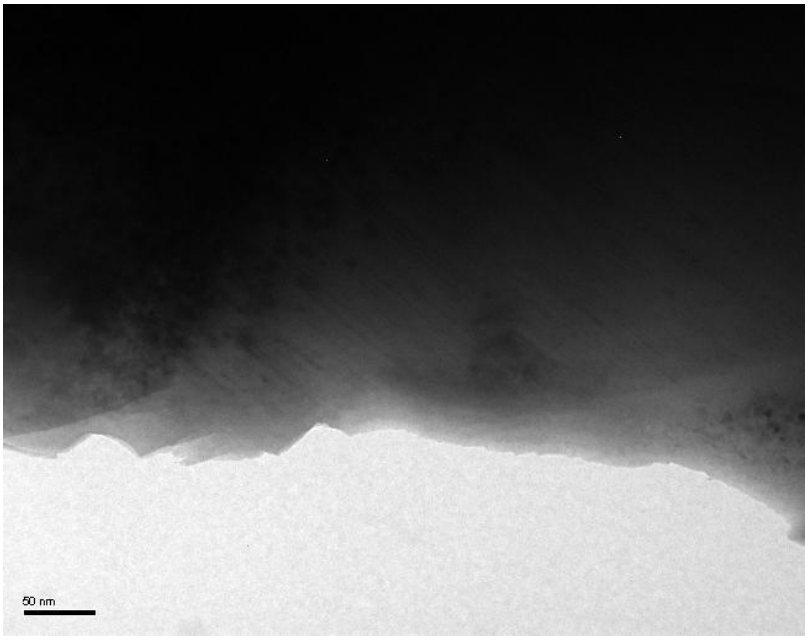


Рис. 2. Электронно-микроскопический снимок на просвет зерна кварца, изображенного на рис.1, снятый после продолжительного электронного облучения. Можно отметить размытость зонального строения кварца по сравнению с первоначальной картиной.

Нужно подчеркнуть, что стирание зональности строения кварца неизбежно приводит к более равномерному распределению примесей в объеме минерала. Первоначально сконцентрированные в демпферных зонах они перетекают в области упорядоченной структуры кварца, где внедряются в кристаллическую структуру и становятся недоступными для процессов очистки при обогащении кварцевого сырья. Поэтому разработка технологий обогащения кварца должна быть направлена на сохранение рассеянных примесей в демпферных зонах с целью их дальнейшего устранения в процессе технологического передела.

Кварц высокой чистоты может образовываться не только за счет раскристаллизации гелеобразного кремнезема. К очищению кварца от примесей, например, может приводить низкотемпературный метаморфизм [7]. В этом случае не наблюдается столь четко выраженная зональность строения кварца, как на рис.1. Тем не менее, демпферные зоны с высокой концентрацией примесей в метаморфизованном кварце также существуют. Они играют важную роль в нейтрализации электрического заряда микроблоков, испытывающих деформационные искажения в результате температурного или тектонического воздействия на кварц [2]. Технологические требования к сохранению рассеянных примесей в демпферных зонах равным образом должны выполняться и при обогащении метаморфизованного кварца.

Присутствие демпферных зон в кварце в виде параллельных полос наблюдается на начальной стадии раскристализации кремнезема и встречается относительно редко. Если же кварц достаточно раскристаллизован, то ему свойственно блочное строение. В таких кварцах демпферные зоны располагаются, как правило, в приповерхностных областях микроблоков.

Приповерхностное расположение демпферных зон позволяет определить направление, в котором должны диффундировать рассеянные примеси в процессе обогащения кварца. Ясно, что этот процесс может протекать в нормальном режиме, если диффузионный поток направлен к внешним границам демпферных зон. Рассеянные примеси, находящиеся на поверхности микроблоков, сравнительно легко устранить последующим химическим травлением кварца. Для повышения эффективности этой очистки кварц целесообразно предварительно подвергнуть ультразвуковой обработке, которая “вскрывает” границы микроблоков для воздействия кислоты.

При движении к внутренним границам демпферных зон рассеянные примеси могут пересекать их и проникать в кристаллическую структуру кварца. Такое развитие событий крайне нежелательно и должно быть исключено в процессах обогащения кварцевого сырья.

Высокую диффузионную способность рассеянных примесей необходимо учитывать на всех этапах технологического передела кварцевого сырья, в том числе и при пробоподготовке. Внимательно рассматривая рис. 1, легко заметить, что даже дробление кварца приводит к перераспределению примесей в демпферных зонах. Видно, что их содержание вблизи поверхности скола кварцевого зерна резко уменьшается вследствие локального нагрева этой области при дроблении минерала.

Поведение рассеянных примесей в демпферных зонах при термической обработке кварца определяется характером их взаимодействия с кремниевыми и кислородными вакансиями. Известно, что в любом нагретом минерале возникают потоки вакансий, движущиеся к стокам. В микроблоке кварца наиболее эффективным стокам для вакансий является его поверхность. К ней и устремляется поток кремниевых и кислородных вакансий, которые, встречая на своем пути ионы рассеянных примесей в демпферных зонах, взаимодействуют с ними и вовлекают в диффузионный процесс. Направление движения рассеянных примесей может быть различным – как по направлению потока вакансий, так и против него. Причем одновременно, в зависимости от результатов взаимодействия с кислородными и кремниевыми вакансиями, могут существовать два разнонаправленных потока ионов рассеянных примесей. Один из них способствует очищению кварца от примесей, другой же, наоборот, приводит к загрязнению.

Нами исследовалась кинетика диффузии рассеянных примесей Ge и Ti, протекающей в демпферных зонах в процессе отжига кварца при температурах 400°С и 750°С. Рассматривался поток примесей, направленный в сторону внутренней поверхности демпферных зон, т.е. к областям совершенной структуры кварца. Отжиг исследуемых образцов проводился в муфельной печи в атмосфере.

Рис.3 демонстрирует поведение концентраций изоморфных примесей Ge и Ti в кристаллической структуре кварца при изотермическом отжиге минерала. Содержания изоморфных примесей измерялись методом ЭПР по методике, изложенной в работе [1].

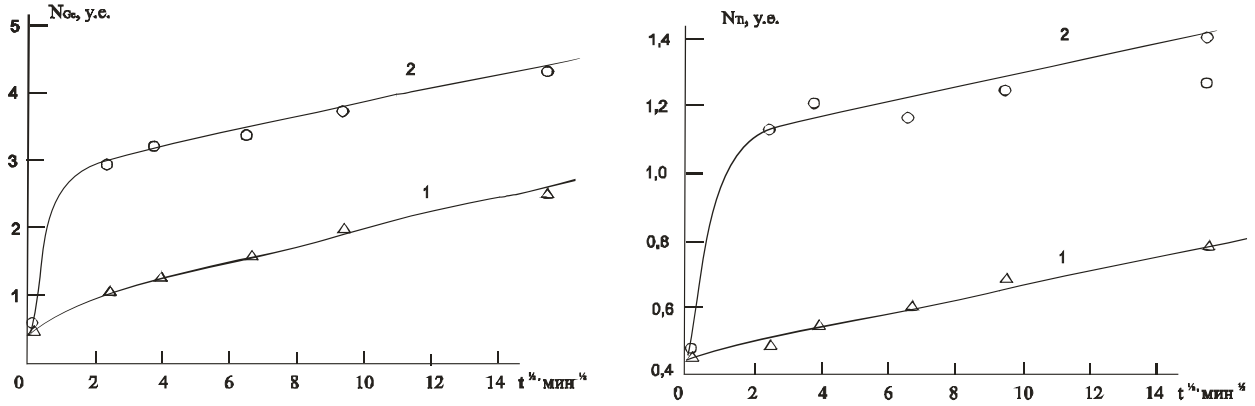


Рис.3. Зависимость концентраций изоморфного германия (C_{Ge}) и изоморфного титана (C_{Ti}) от времени изотермического отжига *t* кварца при температурах 400°С (*1*) и 750°С (*2*). Образец кварца из Кентского пегматитового поля (Юго-Восточный Казахстан).

Рост содержания изоморфных примесей вызван внедрением ионов Ge^{4+} и Ti^{4+}, достигших внутренней поверхности демпферных зон, в кристаллическую структуру кварца. Надо сказать, что из всех примесей, находящихся в демпферных зонах, только ионы Ge^{4+}, Ti^{4+} и Al^{3+} способны изоморфно замещать Si^{4+} в упорядоченной решетке кварца. Остальные ионы, вероятно, из-за своих значительных отличий от Si^{4+} не могут занять его позицию в кристаллической решетке. Поэтому, даже достигнув внутренней границы демпферной зоны, они, очевидно, не в состоянии ее пересечь и остаются в аморфизованной области.

Анализ графиков на рис.3 дает возможность предложить следующую модель диффузии рассеянных примесей в демпферных зонах кварца.

Направление диффузии рассеянных примесей может изменяться в зависимости от соотношения между энергией связи E примеси в демпферной зоне и средней тепловой энергией kT, где T – температура нагрева кварца (по шкале Кельвина), k – постоянная Больцмана [8].

Если $E>>kT$, то атомы примесей образуют устойчивые комплексы с кислородными и кремниевыми вакансиями, захватываются ими и движутся в сторону внешней поверхности демпферных зон. Этот случай благоприятный для процесса обогащения кварцевого сырья.

Если $E<<kT$ или $E\approx kT$, то атомы примесей обладают большей подвижностью, чем атомы кремния. В этой ситуации примеси начинают двигаться навстречу потоку вакансий, т.е. внутрь кварцевого зерна. Причем атомы примесей с $E<<kT$ первыми достигают внутреннюю границу демпферных зон, а их часть внедряется в кристаллическую структуру кварца. В результате кварцевое сырье загрязняется примесями.

Следует учитывать, что степень аморфизации различных участков демпферных зон, а также самих зон может быть разной. Находящиеся в них рассеянные примеси будут характеризоваться различными значениями E и, соответственно, вести себя по-разному в процессе термической обработки кварца. Они могут иметь неодинаковую диффузионную подвижность и перемещаться в демпферных зонах в разных направлениях.

Вид графиков на рис.3 наглядно подтверждают справедливость этого заключения. В самом деле, если бы энергии активации диффузии примесей германия или титана в демпферных зонах были постоянны, то графики зависимостей $N_{Ge}(t^{1/2})$ и $N_{Ti}(t^{1/2})$ должны быть линейными [9] при всех температурах отжига. Фактически же для каждой из кривых мы имеем два участка.

Один из них, нелинейный, особенно четко проявляется при температуре отжига 750°С и отвечает процессу ускоренной диффузии примесей Ge и Ti в демпферных зонах кварца. В этом процессе участвуют примеси с минимальными значениями энергии связи, т.е.с $E<<kT$.

Другой участок, линейный, имеет один и тот же угол наклона при температурах 400°С и 750°С. Он описывает процесс диффузии примесей Ge и Ti с $E\approx kT$. Действительно, концентрация примесей N, достигших внутренней границы демпферных зон и внедрившихся в кристаллическую структуру кварца за время t, может быть оценена из выражения: $N\sim a\exp(-E/kT)t^{1/2}$, где a – величина, не зависящая от температуры [9, 10]. Отсюда ясно, что графикам зависимости $N(t^{1/2})$ для различных температур отжига будут отвечать прямые с одинаковым углом наклона, если $E\approx kT$.

Установлено, что кинетика диффузии рассеянной примеси алюминия в демпферных зонах имеет свои характерные отличия. Данный факт свидетельствует об особых условиях локализации этой примеси в аморфизованных областях кварца.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты № 07-05-00821 и № 08-05-01089).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Раков Л.Т., Миловидова Н.Д., Моисеев Б.М.* Экспрессное определение методом ЭПР содержаний изоморфных примесей в образцах кварцевого сырья. М.: ВИМС. 1991. 16 с.

2. *Раков Л.Т., Дубинчук В.Т.* Новые подходы к проведению оценки качества кварцевого сырья // Новые методы технологической минералогии при оценке руд металлов и промышленных минералов. Сборник научных статей по материалам Российского семинара по технологической минералогии. Петрозаводск, 2009. С. 78-82.

3. *Кряжев С.Г.*, *Прокофьев В.Ю.*, *Васюта Ю.В.* Геохимические особенности включений в кварце золоторудных месторождений по данным анализа водных вытяжек методом ICP MS//Материалы XIII Международной конференции по термобарогеохимии и IV симпозиума APIFIS. Том 1. М.: ИГЕМ, 2008. С. 30-33.

4. *Крылова Г.И.* Вопросы надежности идентификации форм и количественных содержаний элементов-примесей в природных кварцах // “Значение исследований технологической минералогии в решении задач комплексного освоения минерального сырья”. Материалы второго Российского семинара по технологической минералогии. Петрозаводск, 2007. С. 104-128.

5. *Плюснина И.И.* Кремнезем дисперсных систем // “Кварц•кремнезем”. Материалы Международного семинара. Сыктывкар, 2004. С. 16-17.

6. *Таусон В.Л., Сапожникова А.Н., Шинкарева С.Н., Лустенберг Э.Е.* Природа устойчивости несоразмерной трехмерной структурной модуляции в Прибайкальском лазурите (данные экспериментов при 550ºС) // Геохимия. 2009. № 8. С. 866-881.

7. *Раков Л.Т., Данилевская Л.А.* Влияние метаморфизма на кристаллическую структуру кварца // «Типоморфные минералы и минеральные ассоциации – индикаторы масштабности природных и техногенных месторождений и качества руд». Материалы годичного собрания РМО. Екатеринбург, 2008. С. 170-173.

8. *Бокштейн Б.С.* Диффузия в металлах. М.: Металлургия, 1978. 248 с.

9. *Wait T.R.* Theoretical treatment of the kinetic of diffusion-limited reactions // Phys. Rev. 1957. V. 107. № 2. P. 463-470.

10. *Раков Л.Т.* Научные основы применения структурных дефектов в кварце в качестве индикатора минералообразования: Дис. … докт. геол.-мин. наук. М., 2007. 329 с.

МУСКОВИТОВЫЕ КВАРЦИТЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ВОСТОЧНАЯ ХИЗОВААРА

Данилевская Л.А., Скамницкая Л.С.

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

Учитывая тот факт, что запасы кварцевого сырья перспективных типов и выход особо чистого кварца (ОЧК) незначительны, на повестку дня встает вопрос увеличения выхода ОЧК и комплексного использования сырья. Увеличение выхода ОЧК является чисто технологической задачей, направленной на решение проблемы технологического передела кварцевого сырья различных генетических типов, основываясь на физико-химических особенностях сырья и разработке технологий обогащения кварцевого сырья для конкретных технологических типов и конкретных месторождений, позволяющих получать высокочистые кварцевые концентраты мирового уровня.

Комплексное использование сырья подразумевает вовлечение рядового по качеству жильного кварца и кварца нетрадиционных источников в промышленную отработку с использованием передовых обогатительных операций для получения новых кварцевых продуктов и, главным образом, поли– и монокристаллического кремния, что резко повышает извлекаемую ценность МСБ кварца России. Кроме того, комплексное использование кварцсодержащих пород подразумевает получение, как кварцевых концентратов различного назначения, так и различных минеральных концентратов, помимо кварцевого (мусковит, кианит, полевой шпат и др.).

В качестве одного из возможных источников нетрадиционного кварцевого сырья на территории Карелии рассматриваются кварц-мусковитовые метасоматиты (мусковитовые кварциты) месторождения Восточная Хизоваара (Северная Карелия). Данное месторождение находится в Лоухском районе Карелии в 45 км от пос. Лоухи (рис. 1).

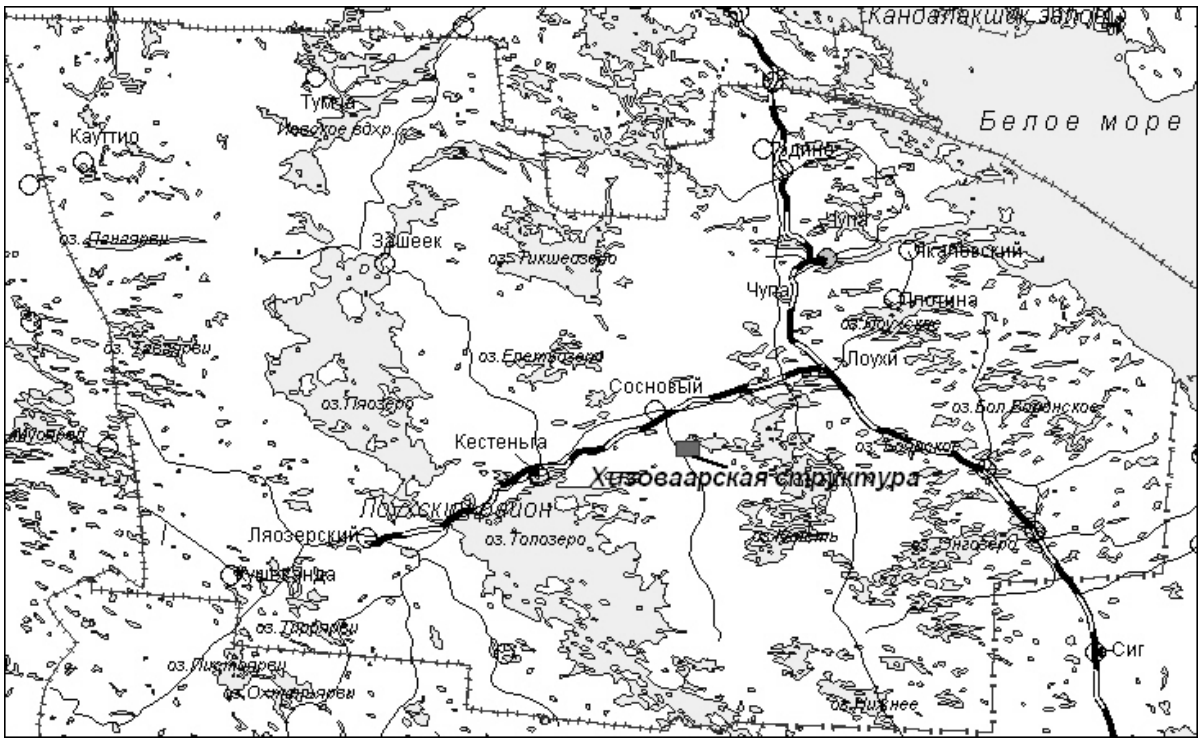


Рис. 1. Расположение месторождения Восточная Хизоваара

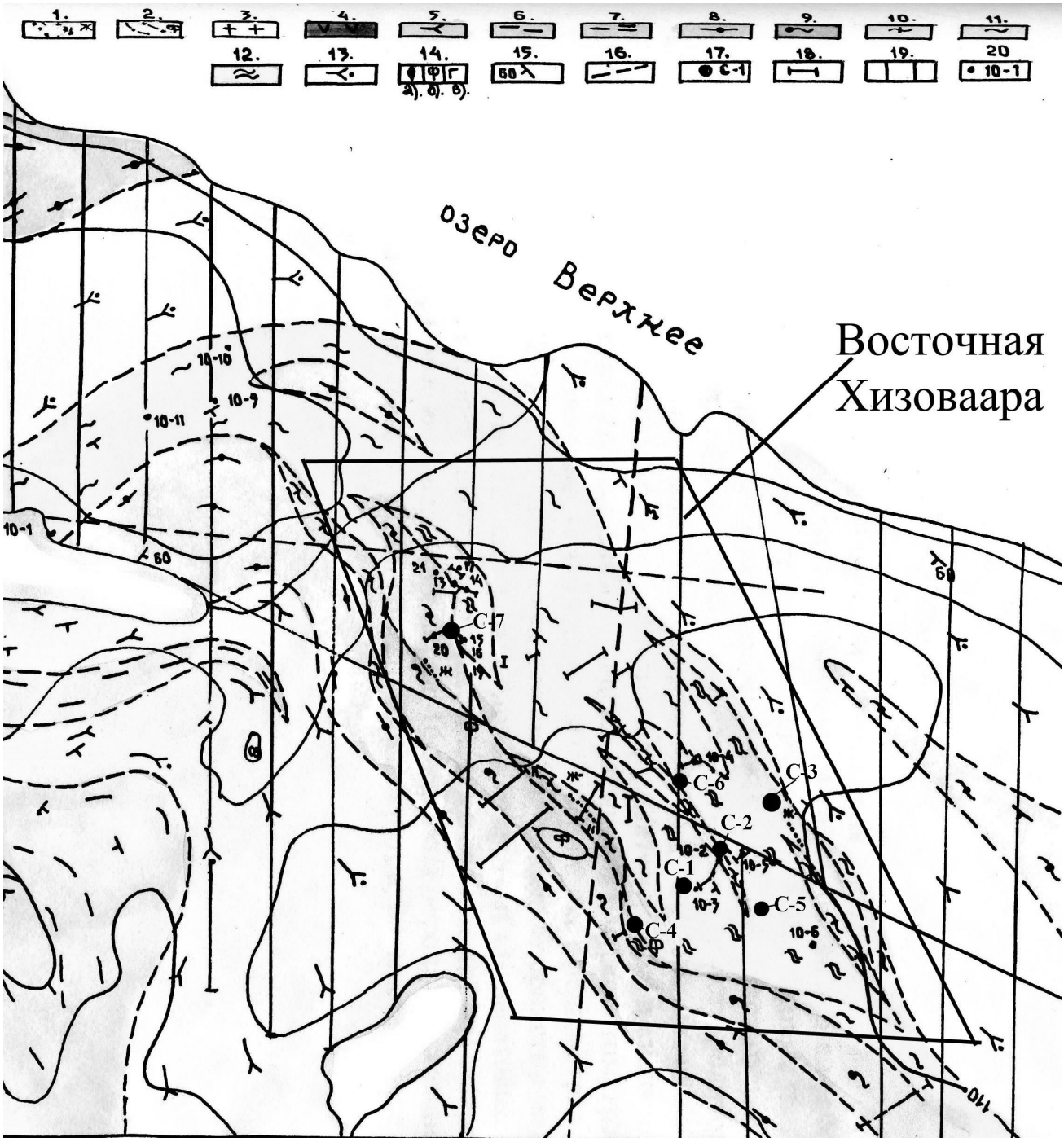


Рис. 2. Фрагмент карты Хизоваарского рудного поля с участком Восточная Хизоваара [3]

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

В результате проведенных Северной поисково-разведочной экспедицией совместно с Институтом геологии КарНЦ РАН поисковых и оценочных работ на участке Восточная Хизоваара было выявлено и оценено месторождение маложелезистого чешуйчатого мусковита, пригодного для всех областей использования, в том числе и для высокотехнологичных перламутровых пигментов [1, 2]. В результате разведочных работ были пробурены скважины, произведено опробование мусковитовых пород и технологические испытания на получение мусковитового концентрата, а также подсчитаны запасы мусковита и полезных компонентов, которые могут быть извлечены попутно при добыче – кварца и кианита. Запасы мусковита по категории C_2 в 1 блоке составляют 4721 тыс. т, кварца – 2408 тыс. т (при среднем содержании 51%), кианита – 297 тыс. т (при среднем содержании 6,3%) [2, 3].

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

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

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

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

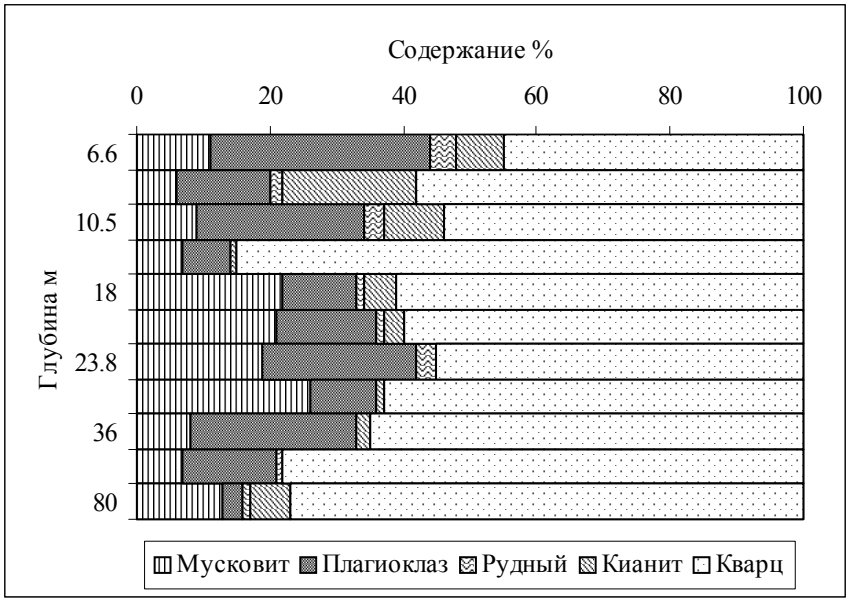


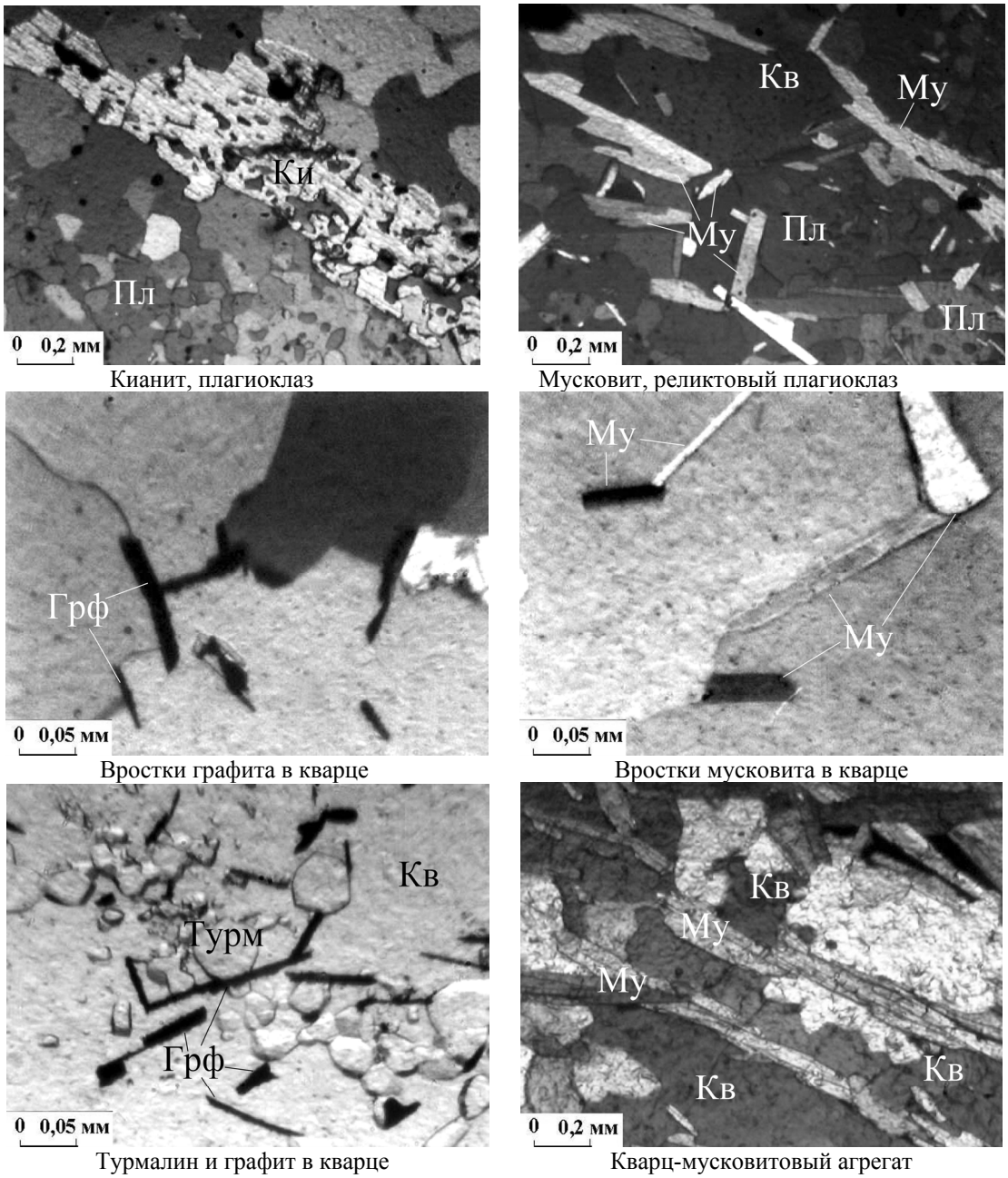
Рис. 3. Изменение минерального состава породы с глубиной в скважине 4

Характеристика технологических проб

Для проведения технологических испытаний и оценки возможности получения чистых кварцевых концентратов были использованы хвосты обогащения мусковитовых проб по скважине № 4 (проба 1) и усредненная проба керна по скважине № 7 (проба 2). Пробы были выбраны по данным химических анализов, как наиболее чистые, с более высокими содержаниями SiO_2.

Проба 1 (Скважина 4)

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



Кианит, плагиоклаз

Мусковит, реликтовый плагиоклаз

Вростки графита в кварце

Вростки мусковита в кварце

Турмалин и графит в кварце

Кварц-мусковитовый агрегат

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

Проба 2 (Скважина-7)

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

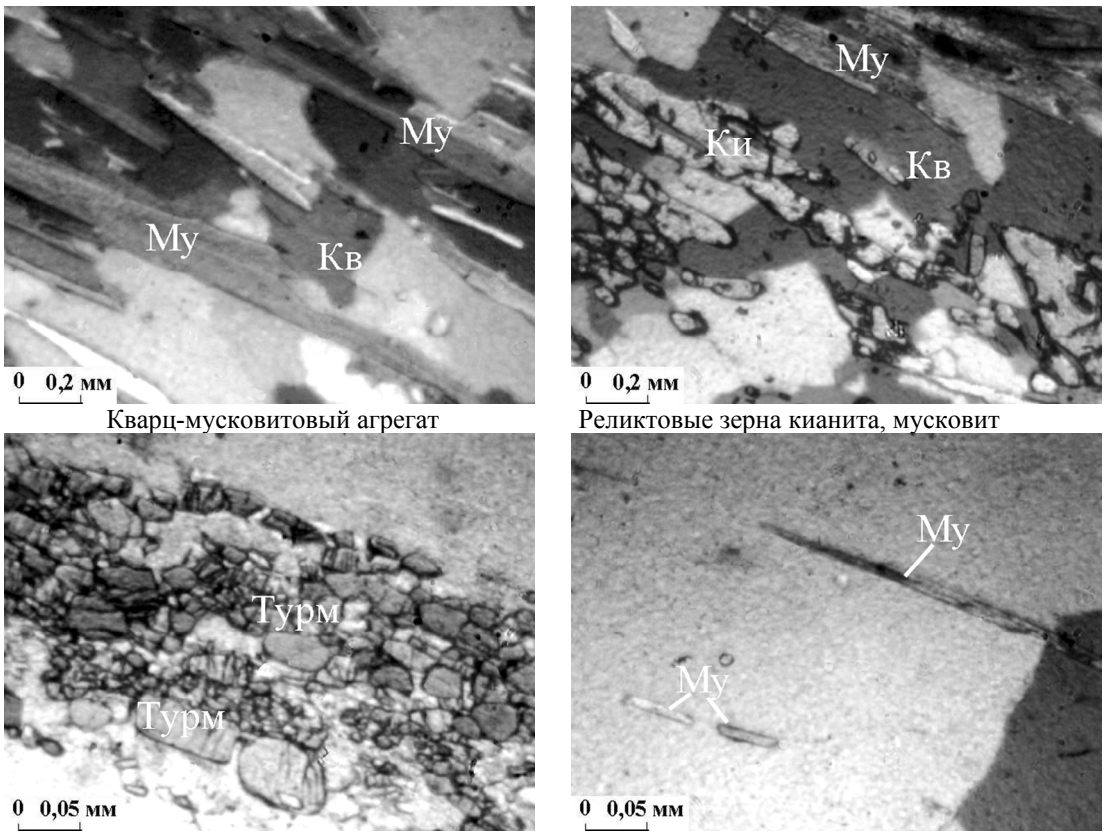


Рис. 5. Минеральные включения в кварце по СКВ 7 (фото шлифов)

Технологические испытания

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

1. Отработка схемы рудоподготовки (дробление, измельчение, выделение продуктивной фракции) с целью обеспечения полного раскрытия сростков минералов;

2. Отработка схемы гравитационного обогащения получения мусковитового концентрата;

3. Отработка схемы дообогащения хвостов мусковитового цикла с получением кварцевого продукта; обоснование необходимой и рациональной глубины обогащения по кварцу (определение пределов снижения содержания минеральных примесей в кварцевом продукте).

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

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

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

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

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

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

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

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

Таблица 1. Химический состав технологических проб

Проба	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	H_2O	ппп	Сумма
ПР-1	73,61	0,40	16,42	0,52	0,72	0,015	0,53	0,51	1,87	2,91	0,42	2,00	99,93
ПР-2	77,74	0,20	15,02	0,42	0,14	0,008	0,31	0,21	1,29	2,18	0,19	1,83	99,53

Таблица 2. Минеральный состав технологических проб

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

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

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

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

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

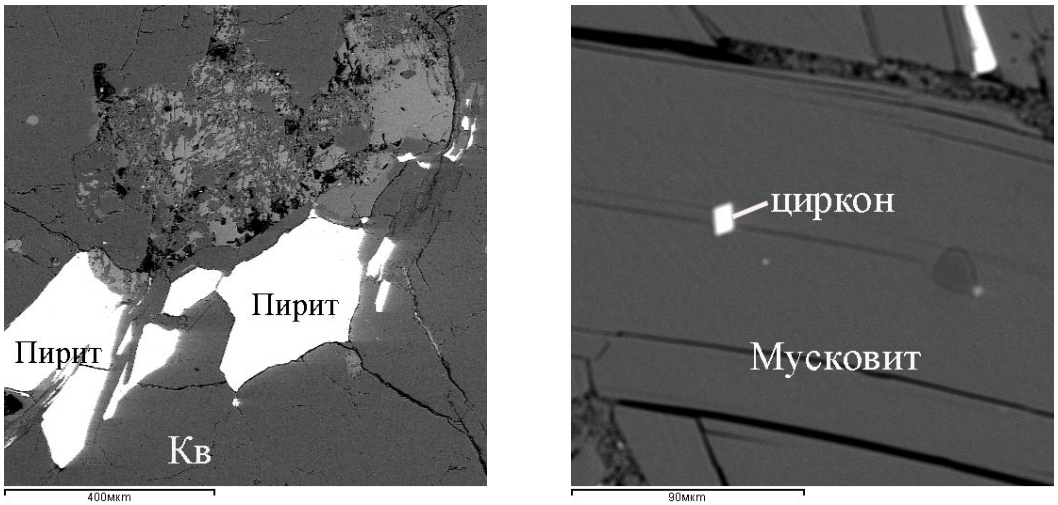


Рис. 6. Включения акцессорных минералов (фото с микроскопа Tescan)

Отработка схемы рудоподготовки

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

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

Таблица 3. Гранулометрический состав измельченных в оптимальном режиме проб

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

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

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

Таблица 4. Режимы гравитационного процесса

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

Показатели цикла выделения мусковита даны в табл. 5.

Таблица 5. Свободный баланс результатов обогащения мусковитового цикла по пробам

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

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

Отработка схемы получения кварцевого концентрата

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

Таблица 6. Гранулометрический состав хвостов обогащения мусковита

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

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

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

№ скв	Значение	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	H_2O	nnn	P_2O_5
4	Минимум	82,34	0,07	5,60	0,02	0,01	0,003	0.05	0,70	0,38	0,18	0,06	0,06	0,06
	Максимум	92,00	0,21	11,09	0,04	0,06	0,007	0,40	1,66	4,03	1,19	1,37	1,35	0,1
	Среднее	86,23	0,11	8,36	0,03	0,03	0,005	0,19	1,21	1,87	0,72	0,49	0,71	0,08
7	Минимум	81,30	0,09	3,41	0,04	0	0,002	0,01	0,21	0,78	0,20	0,01	0,27	0,08
	Максимум	92,42	0,14	13,71	0,17	0,06	0,002	0,15	0,43	1,28	1,60	0,12	1,48	0,17
	Среднее	89,99	0,16	6,73	0,08	0,02	0,002	0,06	0,31	0,97	0,71	0,07	0,58	0,12

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

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

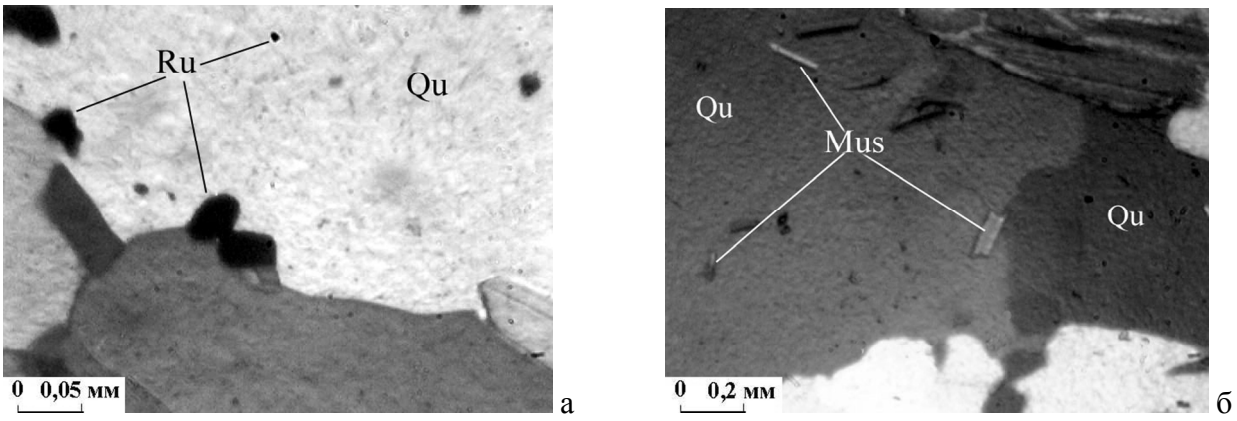


Рис. 7. Включения в зернах кварца: а – рутила, б – мусковита

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

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

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

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

В составе фракции0,315-0,1 мм по пробам кварц не превышает 91,5%. Силикаты представлены плагиоклазом до 4,32% и кианитом – до 4,12%. Темноцветные минералы-примеси представлены турмалином, гематитом, сульфидами и рутилом.

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

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

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

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

Таблица 9. Химический состав кварцевого продукта

Номер пробы	Содержание оксидов, вес.%											
	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	H_2O	Ппп	Σ
ПР-1	93,36	0,08	4,99	0,06	Не опр	0,01	0,10	0,67	0,12	0,05	0,43	99,86
ПР-2	93,80	0,08	3,90	0,10	0,002	0,29	0,22	0,71	0,09	0,06	0,076	100,01

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

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

Таблица 10. Выход продуктов разделения и использованные реагенты

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

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

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

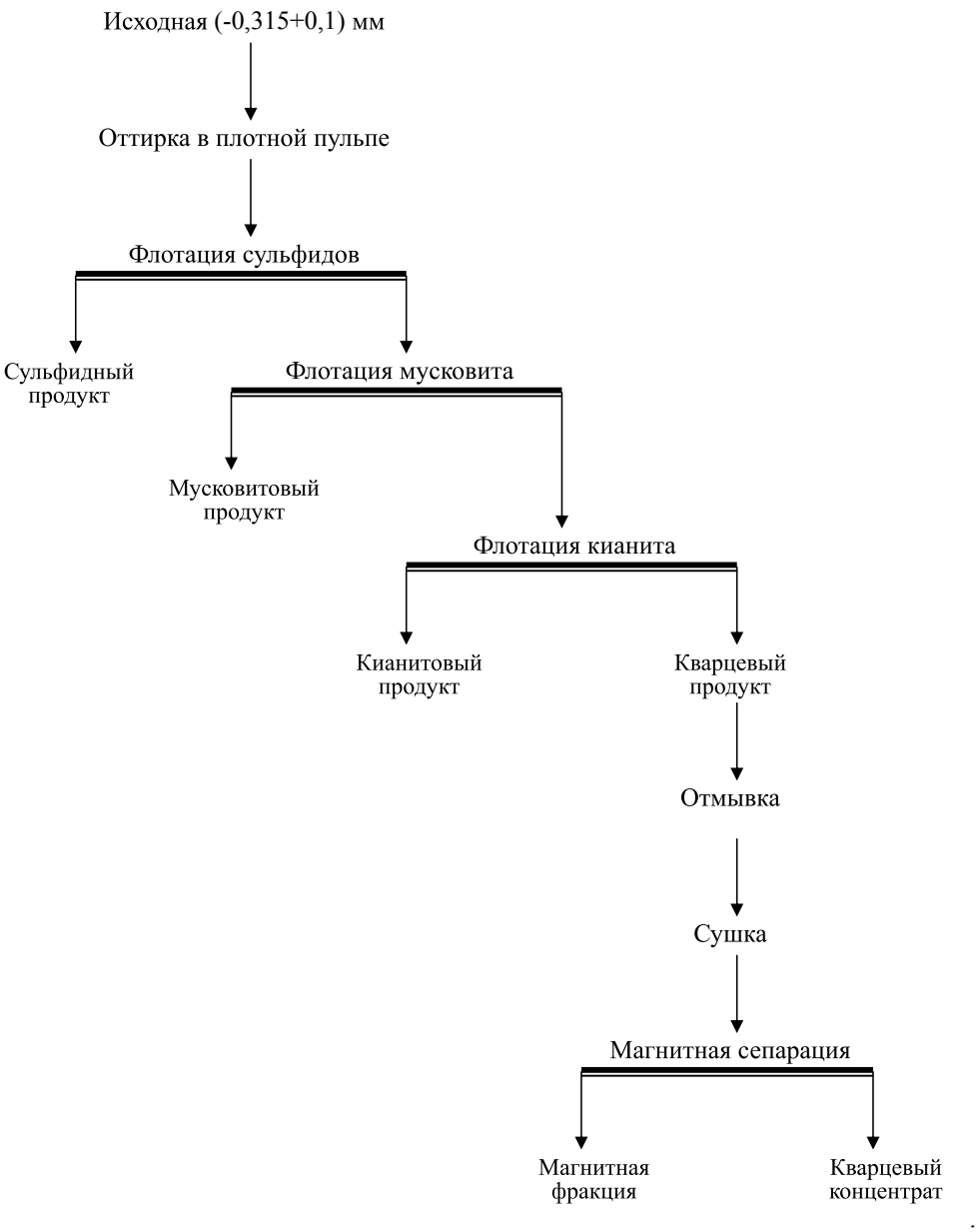


Рис. 8. Технологическая схема получения кварца из хвостов мусковитового цикла

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

Таблица 11. Химический состав кварцевого концентрата пробы ПР-1

Содержание оксидов, вес.%											
SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	H_2O	Ппп	Σ
98,20	0,01	0,26	0,006	0,002	0,15	0,01	0,08	0,08	0,01	0,19	99,77

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

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

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

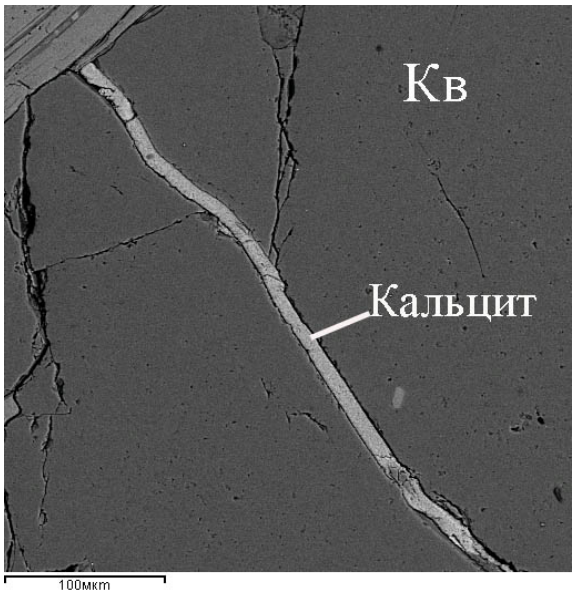


Рис. 9. Прожилок кальцита в кварце (фото с микроскопа Tescan)

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

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

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

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

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

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

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

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

Основная часть потерь приходится на цикл выщелачивания.

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

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

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

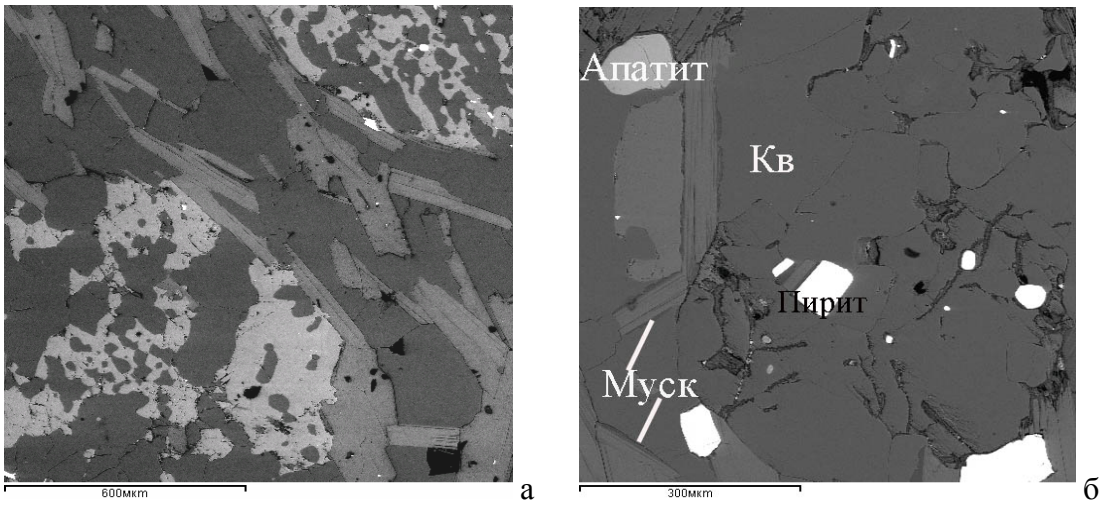


Рис. 10. а – реликтовые зерна плагиоклаза, б – мелкие включения, мусковита, апатита и пирита (фото с микроскопа Tescan)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Работа выполнена при финансовой поддержке фундаментальных исследований по проекту Программы ОНЗ-3.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Щипцов В.В., Скамницкая Л.С., Бубнова Т.П., Данилевская Л.А., Родионов В.С.* Мусковитовые кварциты Карелии – новые промышленный тип слюдяного сырья // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 6. Петрозаводск, 2003. С. 67-78.

2. Минерально-сырьевая база Республики Карелия. Книга 2. Неметаллические полезные ископаемые. Петрозаводск: «Карелия», 2006. 353 с.

3. Отчет о результатах поисковых и оценочных работ по выявлению в районе Чупинской ПОФ маложелезистого чешуйчатого мусковита для производства высокотехнологичных изделий и помола за 2000 – 2001 г.г. / Кравченко А.И., Родионов В.С., Михайлова Т.П. и др. // Северная ПРЭ. пос. Чупа, 2002 г.

СОБЕННОСТИ СОСТАВА И СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДИАТОМИТОВ КАРЕЛО-КОЛЬСКОГО РЕГИОНА

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

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

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

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

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

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

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

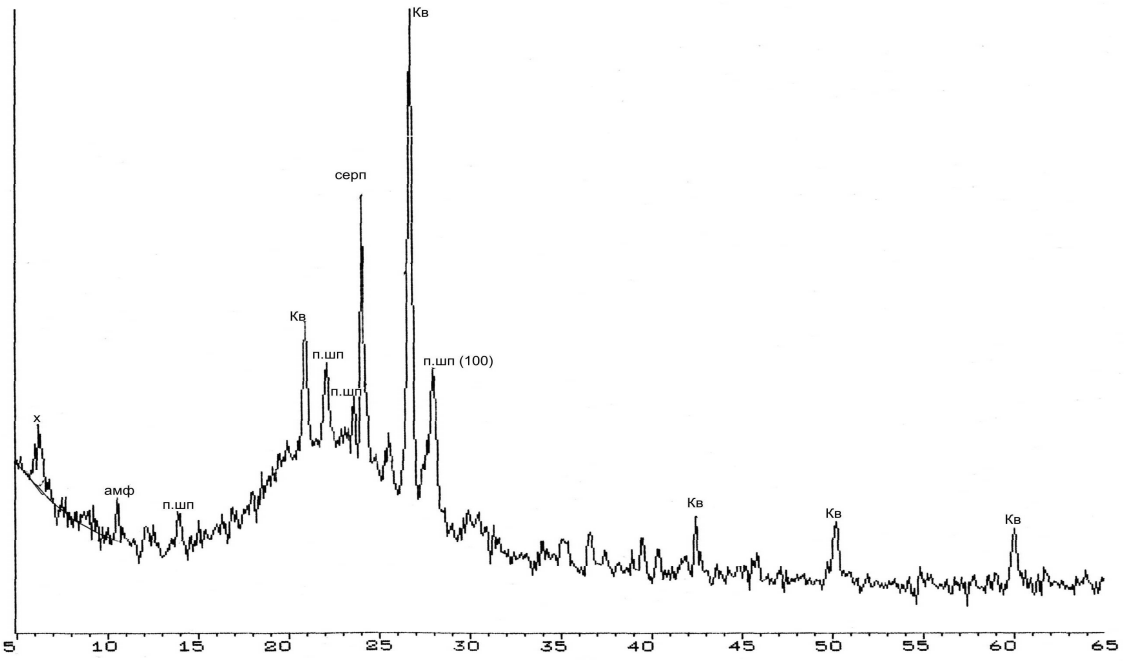


Рис. 1. Минеральный состав высококремнистого донного образования оз. Подарви

По составу породообразующих видов характеристики диатомитов Карелии (рис. 2) аналогичны диатомитам озерных месторождений Кольского полуострова (рис. 3). На микроизображениях, выполненных на сканирующем электронном микроскопе VEGA II LMU, видны как неразрушенные панцири диатомовых водорослей, так и их многочисленные обломки.

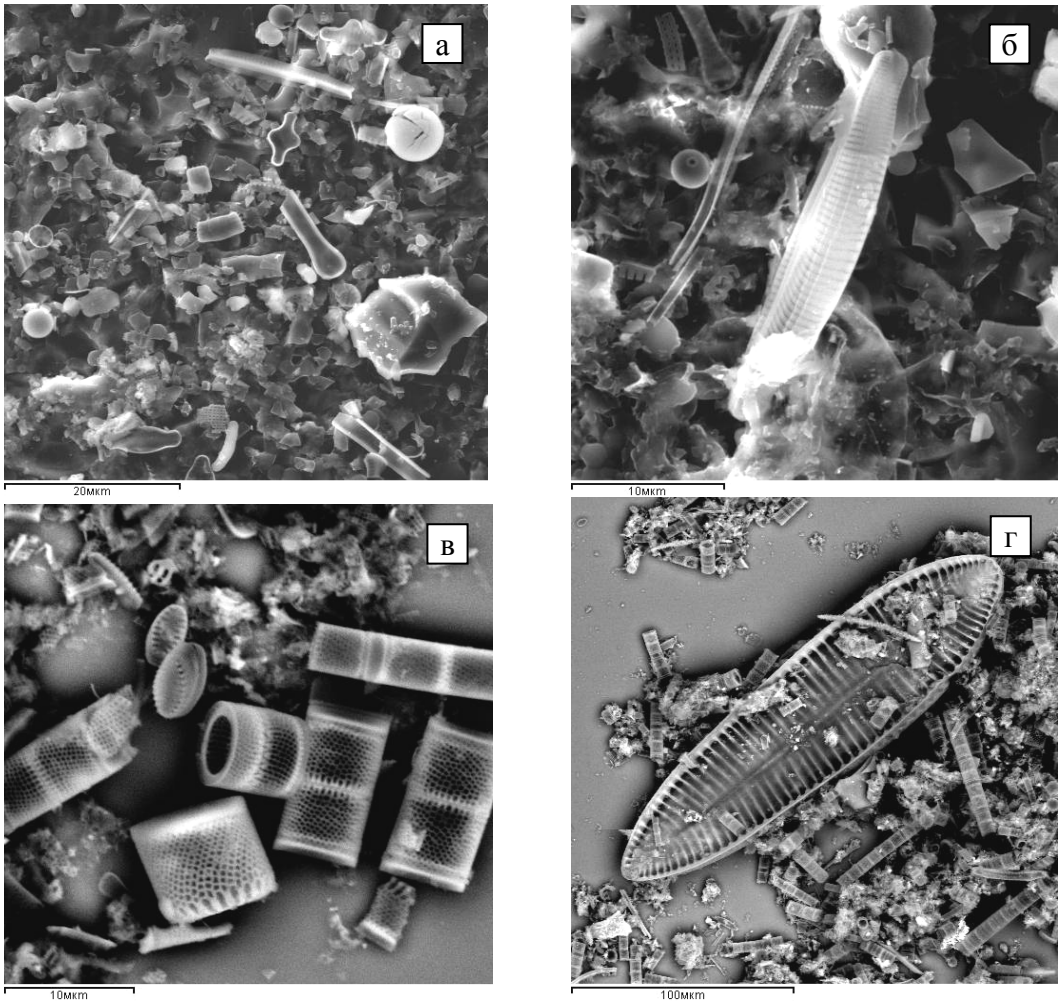


Рис. 2. Микрофотографии образцов диатомитов Карелии: а, б – оз. Ряпукс, в, г – оз. Подарви

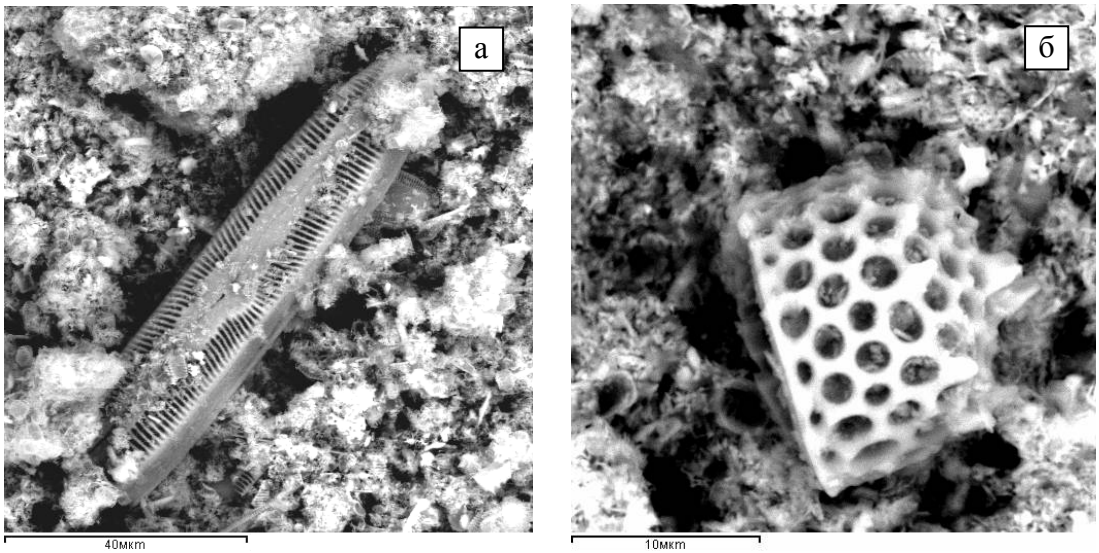


Рис. 3. Микрофотографии образцов диатомитовых проб Кольского полуострова

На микроизображении диатомита оз. Подарви, в отличие от образцов диатомита оз. Ряпукс и Мурманской области, видны преимущественно цельные панцири диатомей, которые, как известно,

обладают развитой поверхностью. Диатомиты оз. Подарви представлены, главным образом, планктонными цилиндрическими створками рода Aulacoseira, размеры которых не превышают 20 мкм [2, 3]. В качестве сопутствующих форм в незначительном количестве представлены и донные формы и обрастатели, некоторые из них достигают более крупных размеров – до 200 и более микрон (рис. 2 г).

Гранулометрический анализ диатомитовых проб выполнен на анализаторе частиц LS 13 320 методом лазерной дифрактометрии в сочетании с технологией PIDS (регистрация дифференциальной интенсивности поляризованного света). Распределение размеров частиц по определенным классам крупности представлено на рис. 4.

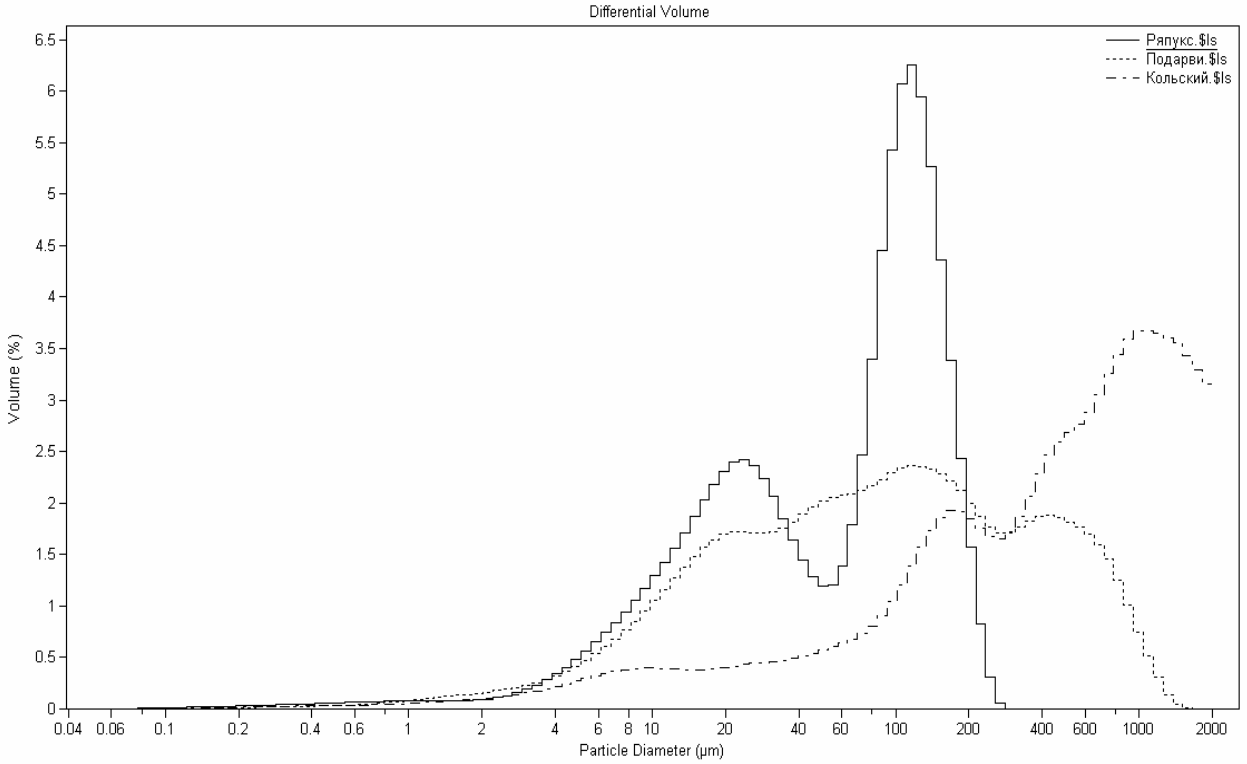


Рис. 4.Гранулометрический состав проб диатомита

Гранулометрический анализ показал наличие нескольких пиков крупности, в пределах которых частицы группируются по размерам: 20, 140-150, 500, 1500 мкм, что подтверждает неоднородность состава породообразующих видов диатомей. Наименьший размер частиц отмечается для пробы оз. Ряпукс – не более 300 мкм.

Кроме того, в образцах отмечаются скопления темного непрозрачного вещества, количество которого существенно больше в образце Дк (рис. 5). Дальнейшие исследования позволили отнести указанную примесь к органическому веществу (ОВ), а именно к гумусовым кислотам.

Исследованные в настоящей работе образцы имеют существенные отличия по количеству примесей ОВ. Если в Дк количество углерода составляет 9.95 мас. %, то в Дм – 0.61%. Столь существенная разница проявляется на кривой ДТА образца Дк наличием интенсивного экзотермического эффекта с максимумом 290ºС, который соответствует окислению ОВ, для образца Дп максимум экзотермического эффекта соответствует 280ºС. На кривой ДТА образца Дм такой эффект также наблюдается, но интенсивность его незначительна.

Удельная поверхность образцов ($S_{уд}$) отличается несущественно и составляет для Дк 6.86 м^2/г, для Дм – 8.75 м^2/г. Отметим, что содержание компонентов, удаляемых в результате прокаливания при температуре 1000ºС, составляет 21.20% (Дк) и 1.48% (Дм). Значения $S_{уд}$ образцов в пересчете на прокаленный остаток практически одинаковы (8.70 м^2/г – Дк, 8.88 м^2/г – Дм). Полученные данные подтверждают схожесть характеристик минеральной составляющей образцов диатомитов Карелии и Кольского полуострова.

Помимо исходных необработанных диатомитов исследован образец, полученный из диатомита оз. Подарви (Дп) прокаливанием при температуре 550ºС. Удельная поверхность Дп $S_{уд}$ = 16.88 м^2/г, ппп (1000ºС) – 1.89%, содержание углерода С – 0.0017%. Большая по сравнению с Дк удельная поверхность образца скорее всего является следствием различия в видовом составе диатомей и количестве минеральных примесей. Изложенные ниже результаты исследований показали существенную роль ОВ в процессе иммобилизации тяжелых металлов (ТМ) образцами диатомитов.

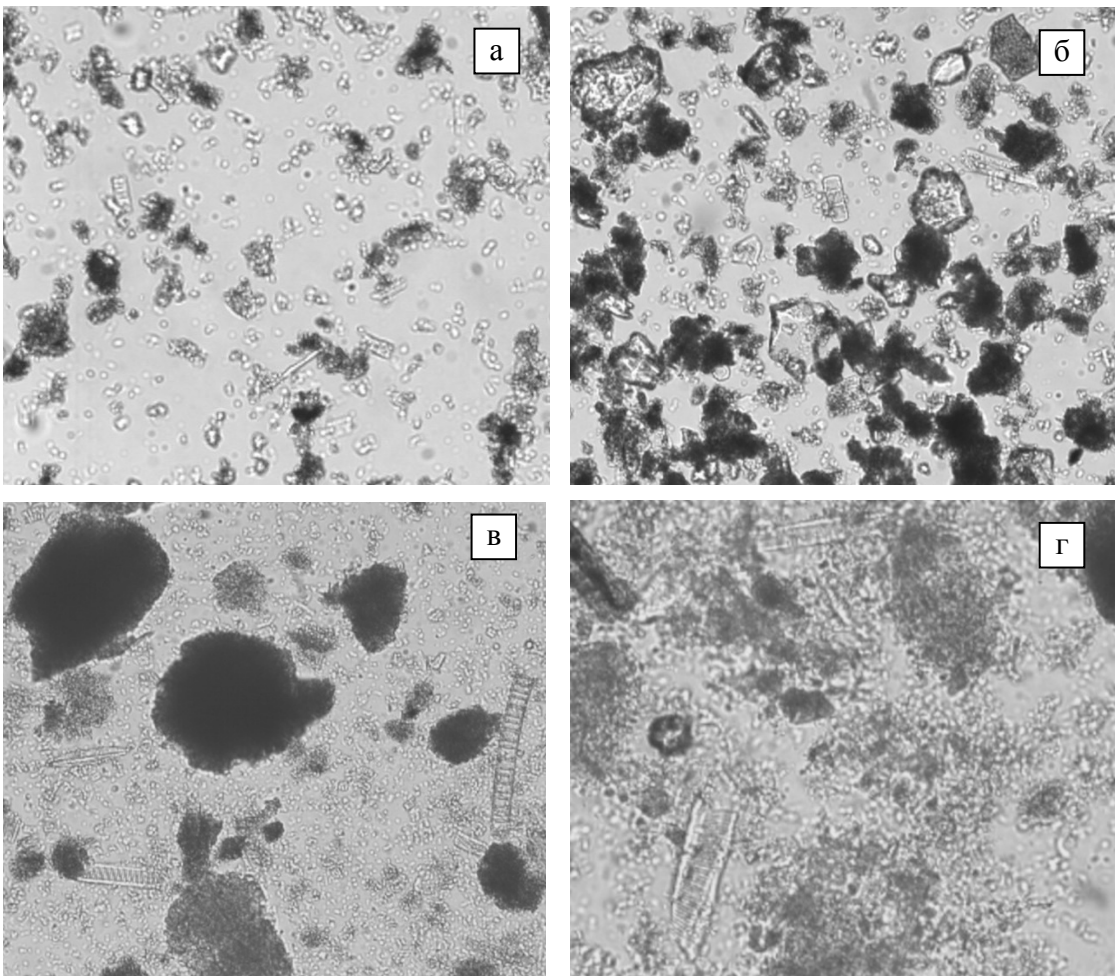


Рис. 5. Микрофотографии образцов диатомита: а, б – оз. Ряпукс, Карелия (ув.х200); в, г – Кольский полуостров (ув.х200)

Экспериментальная часть

Выбор условий проведения экспериментов предполагает обоснование диапазона исходных концентраций, продолжительности взаимодействия, соотношения Т:Ж. Результаты предварительных опытов, которые выполнены с целью уточнения данных параметров, представлены в табл. 1 и 2.

Известно, что равновесие в системах на основе гумусовых веществ и соединений ТМ устанавливается быстро, по одним данным в течение 20 минут [4], по другим – в течение 2–3 часов [5]. В то же время, процессы сорбции с участием активного кремнезема, которые, помимо ионного обмена, могут включать стадию сверхэквивалентной сорбции как результат деполимеризации кремнезема и последующего образования малорастворимых силикатов ТМ, протекают замедленно, равновесие устанавливается в течение нескольких месяцев [6]. Выполнено сравнение эффективности процесса очистки растворов от никеля при продолжительности опытов 21 день и 2,5 месяца (77 дней) (табл. 1).

Из полученных результатов следует, что увеличение продолжительности взаимодействия свыше 21 дня практически не изменяет характеристики процесса очистки. В большинстве случаев наблюдается даже снижение эффективности, что можно объяснить как случайными факторами, например недостаточной гомогенизацией пробы, так и протеканием вторичных процессов высвобождения первоначально сорбированных ТМ.

Диапазон исходных концентраций 0.5–10 мг/л выбран исходя из следующих соображений. В техногенно загрязненных природных водных объектах концентрации ТМ могут достигать 0,5 мг/л. В то же время, сточные воды предприятий, например, цветной металлургии, содержат 25–30 мг/л ТМ. Ввиду небольшого количества материала в пробах диатомитов максимальную концентрацию ТМ ограничили значением 10 мг/л.

Рассмотрим результаты исследования зависимости эффективности процесса очистки от количества вносимого сорбента, т.е. от соотношения Т:Ж. Прежде всего, следует отметить, что показатели очистки раствора сульфата меди выше по сравнению с раствором сульфата никеля (табл. 1, 2). Степень очистки растворов от никеля не превышает 80%, в то время как для растворов сульфата меди этот показатель достигает 95%. Серии опытов с разными ТМ особенно заметно отличаются в наиболее "жестких" условиях проведения процесса – при высокой концентрации ТМ (10 мг/л) и низком значении Т:Ж. (0,1 г/л), когда такие показатели, как сорбционная емкость и степень очистки, в 2–3 раза выше для растворов $CuSO_4$ по сравнению с растворами

$NiSO_4$. При концентрации ТМ 0.5–1 мг/л и Т:Ж 1–2 г/л значения сорбционной емкости, выраженные в мкмолях на грамм диатомита, отличаются незначительно. В то же время значения остаточных концентраций никеля, полученные в указанных условиях, в несколько раз превышают остаточные концентрации меди.

Таблица 1. Результаты экспериментов по взаимодействию диатомитов (образец Дк) с растворами сульфата никеля

Продолж. взаимод., сут.	$C_{исх}$		Т:Ж, г/л	$C_к$		pH_c	A		E, %
	мг/л	мкмоль/л		мг/л	мкмоль/л		мг/г	мкмоль/г	
21	10.0	170	0.1	10.00	170	5.7	0.00	0.00	0
			1	8.25	141	5.5	1.75	29.00	17
			2	7.70	131	5.4	1.15	19.50	23
	1.0	17	0.1	0.85	14	6.0	1.5	30.00	15
			1	0.35	6.0	5.8	0.65	11.00	65
			2	0.24	4.0	5.7	0.38	6.50	76
	0.5	8.5	0.1	0.39	6.6	5.7	1.1	19	22
			1	0.15	2.6	5.7	0.35	5.90	70
			2	0.10	1.7	5.8	0.2	3.40	80
77	10.0	170	0.1	9.90	169	5.8	1.00	10.00	1
			1	9.50	162	5.2	0.50	8.00	5
			2	7.9	134	5.1	1.05	18	21
	1.0	17	0.1	0.82	14	5.8	1.80	30.00	18
			1	0.58	9.9	5.4	0.42	7.10	42
			2	0.45	7.7	5.3	0.27	4.65	55

Таблица 2. Результаты экспериментов по взаимодействию диатомитов (образец Дк), с растворами сульфата меди, продолжительность взаимодействия 21 день

$C_{исх}$		Т:Ж, г/л	$C_к$		pH_c	A		E, %
мг/л	мкмоль/л		мг/л	мкмоль/л		мг/г	мкмоль/г	
10.0	157	0.1	8.9	140	5.1	11	170	11
		1	6.09	96	4.9	3.9	61	40
		2	3.3	52	4.9	3.35	52.5	67
1.0	15.7	0.1	0.56	8.8	5.6	4.4	69	44
		1	0.049	0.8	5.8	0.95	14.9	95
		2	0.056	0.9	5.9	0.472	7.57	94
0.5	7.8	0.1	0.16	2.5	5.8	3.4	53	68
		1	0.03	0.5	5.9	0.44	7.3	94
		2	0.027	0.4	6.0	0.47	3.7	95

Увеличение отношения Т:Ж позволило снизить остаточные концентрации никеля и тем самым повысить степень очистки растворов $NiSO_4$ (табл. 3). Для растворов $CuSO_4$ такого эффекта не наблюдается, значения остаточных концентраций меди незначительно, в пределах погрешности анализа растворов, изменяются по мере увеличения расхода диатомита. Интересен тот факт, что в аналогичных условиях опытов величина сорбции ТМ практически одинакова для меди и никеля, что свидетельствует об идентичности механизма их иммобилизации диатомитом.

Таблица 3. Влияние отношения Т:Ж на эффективность очистки сульфатных растворов меди и никеля образцом Дк

Продолж. взаимод., сут.	Т:Ж, г/л	$NiSO_4$, $C_{исх}$ = 0.5 мг/л			$CuSO_4$, $C_{исх}$ = 0.5 мг/л		
		pH	$C_к$, мг/л	A, мкмоль/г	pH	$C_к$, мг/л	A, мкмоль/г
7	2	6.0	0.095	3.44	6.1	0.051	3.53
	4	6.2	0.062	1.86	6.2	0.030	1.85
	6	6.2	0.053	1.27	6.2	0.034	1.22
	10	6.1	0.040	0.78	6.2	0.027	0.74
	20	6.0	0.050	0.38	6.1	0.029	0.37
30	2	5.8	0.100	3.41	5.9	0.034	3.66
	4	5.9	0.079	1.79	6.0	0.043	1.80
	6	5.9	0.050	1.28	5.9	0.035	1.22
	10	5.9	0.053	0.76	5.9	0.031	0.74
	20	6.0	0.042	0.39	6.0	0.032	0.37

Оптимальный диапазон значений pH для гидробиоценозов установлен в пределах 6.5–8.5 [7]. Характеристики растворов после взаимодействия с Дк не соответствуют нормам для рыбохозяйственных

водоемов не только по pH, остаточные концентрации ТМ также превышают $ПДК_{рбх}$. Добавление щелочного компонента – оксида магния – позволяет повысить pH образующейся системы, однако при этом степень очистки воды образцом Дк практически не изменяется (рис. 6, 7). Значения остаточных концентраций в опытах с продолжительностью взаимодействия 1 месяц остаются в пределах 20–60 мкг/л. Незакономерное изменение во времени концентрации ТМ в растворе после очистки свидетельствует о протекании нескольких параллельных процессов, влияющих на осаждение ТМ.

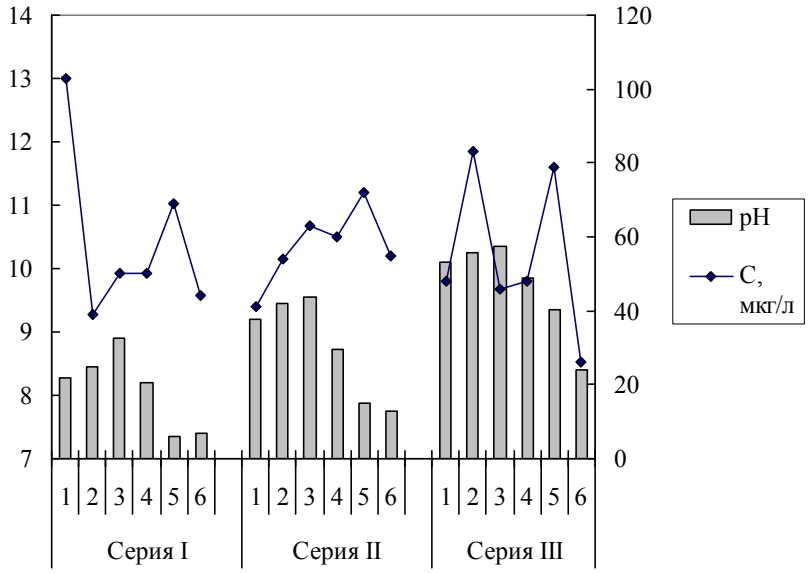


Рис. 6. Взаимодействие диатомита Дк с раствором $NiSO_4$ в присутствии добавки MgO. Концентрация $C_{Ni\ исх}$ = 0.5 мг/л, $m_{Дк}$ = 2 г/л, m_{MgO} в сериях I, II и III – 10, 20 и 100 мг/л, продолжительность взаимодействия 1 ч (1), 6 ч (2), 24 ч (3), 48 ч (4), 7 сут. (5) и 1 мес. (6)

Закономерности сорбции ТМ образцами диатомитов, содержащих примеси ОВ (Дк) и свободных от них (Дм и Дп), имеют существенные отличия. В табл. 4 приведены данные, позволяющие сравнить эффективность процесса извлечения ТМ образцами диатомитов. Остаточные концентраци ТМ после взаимодействия с Дк в несколько раз меньше по сравнению с результатами аналогичных опытов с использованием Дм и Дп, причем осаждение ТМ образцами Дк по сравнению с другими диатомитами протекает в более кислой среде.

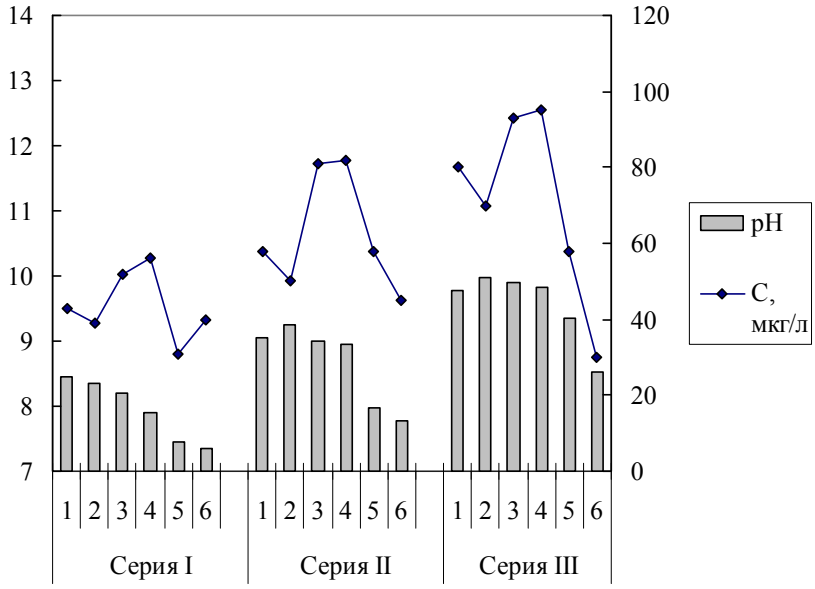


Рис. 7. Взаимодействие диатомита Дк с раствором $NiSO_4$ в присутствии добавки MgO. Концентрация $C_{Ni\ исх}$ = 0.5 мг/л, $m_{Дк}$ = 2 г/л, m_{MgO} в сериях I, II и III – 10, 20 и 100 мг/л, продолжительность взаимодействия 1 ч (1), 6 ч (2), 24 ч (3), 48 ч (4), 7 сут. (5) и 1 мес. (6)

Таблица 4. Извлечение меди и никеля из сульфатных растворов различными образцами диатомитов

Исходный раствор	$C_{исх}$, мг/л	Образец диатомита	pH	$C_к$, мкг/л	A, мкмоль/г
$NiSO_4$	0.4	Дк	5.7	55	5.9
		Дм	6.7	240	2.7
		Дп	6.2	260	2.4
$CuSO_4$	0.4	Дм	6.5	134	4.2
	0.5	Дк	5.9	30	7.4

"Изотермы" сорбции никеля образцами Дк, Дм и Дп также демонстрируют отличие механизма взаимодействия различных видов диатомитов с растворами ТМ (рис. 8). Слово "изотермы" мы употребили в кавычках, поскольку полученные данные не отражают термодинамически равновесное состояние систем. Как показано выше, величина сорбции ТМ образцом Дк зависит от условий проведения эксперимента, а именно от соотношения Т:Ж., поскольку увеличение количества диатомита, вносимого в растворы ТМ (концентрация 0.5 мг/л) в диапазоне 4-20 г/л не влияет на равновесную концентрацию. Для сравнении образцов диатомитов "изотермы" получены в одинаковых условиях при Т:Ж = 1 г/л, концентрации никеля в исходных растворах 0.4–10 мг/л.

Величины сорбции никеля образцами диатомитов, свободных от ОВ, являются близкими и составляют 0.5–0.7 мг/г при концентрациях 7–9 мг/л. Сорбционная способность диатомита с включением ОВ в 2–4 раза больше. Содержание ОВ в образце Дк составляет приблизительно 20%, следовательно, в условиях равновесия с раствором с концентрацией около 7 мг/л сорбция никеля по данным рис. 5 в пересчете на ОВ составляет ориентировочно 10 мг/г.

На рис. 9 приведены данные по сорбции меди образцами Дк и Дм, причем отношение Т:Ж во всех опытах с Дм составляло 1 г/л, а в экспериментах с Дк изменялось от 0.1 до 2 г/л. Приближенная оценка показала, что сорбируемость меди органической составляющей образца Дк составляет 15 мг/г.

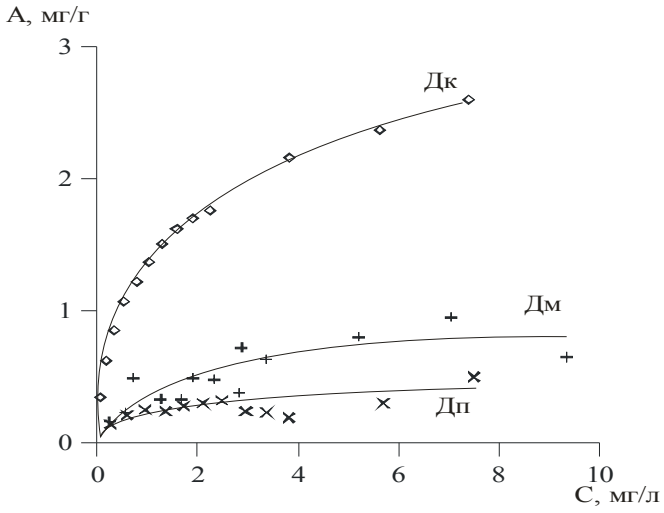


Рис. 8. Зависимость величины сорбции никеля диатомитами от концентрации раствора

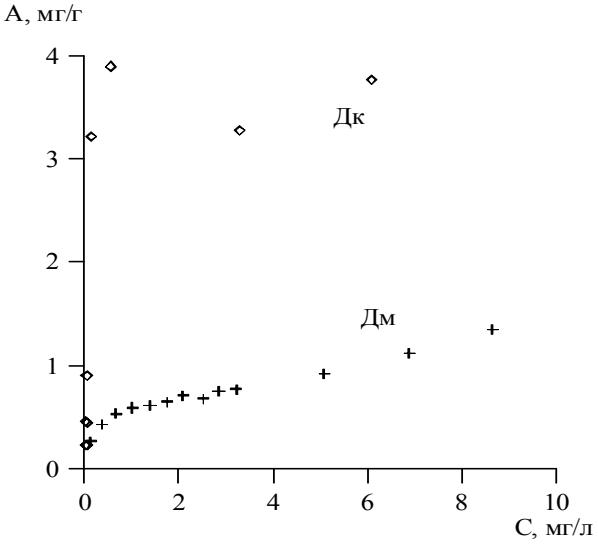


Рис. 9. Зависимость величины сорбции меди диатомитами от концентрации раствора

Обсуждение результатов

Данные по сорбции ТМ диатомитами или близкими к ним по составу материалами относятся преимущественно к системам с высокой концентрацией ТМ. Так, в работе [8, 9] приводятся данные о сорбируемости никеля и меди опал-кристобалитовой породой (опокой) в диапазоне концентраций 15–240 мг/г. При концентрации 15 мг/л, близкой к условиям наших экспериментов, величина сорбции составила 0.5 мг/г, что сопоставимо с результатами, полученными в настоящей работе для диатомитов без примесей ОВ.

Как показали наши исследования, сорбционная способность образца диатомита, содержащего ОВ, в несколько раз превышает величину сорбции ТМ диатомитами без ОВ. Взаимодействию природных ОВ с ТМ посвящены многочисленные исследования. Например, в работе [10] отмечается, что тяжелые металлы аккумулируются гумусовым веществом (в основном гуминовыми кислотами), вследствие чего происходит их детоксикация. Установлено, что действие гуминовых веществ на Cu, Pb, Cr(III) приводит к образованию хелатных соединений и снижению токсичности этих тяжелых металлов. По снижению интенсивности аккумуляции металлы располагаются в следующий ряд: Cu, Cd, Pb, Co, Ni, Zn, Mn.

Результаты настоящей работы коррелируют с представленным выше рядом. Для меди величина сорбции выше, а остаточные концентрации ниже по сравнению с никелем. Сопоставить полученные значения

величин сорбции ТМ органической составляющей диатомита Дк не представляется возможным, поскольку данные о способности гумусовых веществ сорбировать никель нами не обнаружены, а известные из литературных источников значения сорбции меди крайне противоречивы.

Интересен тот факт, что остаточные концентрации ТМ после взаимодействия с Дк сопоставимы с концентрациями ТМ, которые зафиксированы в природной техногенно загрязненной воде в зоне влияния КГМК (г. Мончегорск) [11]. Вероятно, содержание растворенных форм ТМ в водных источниках, испытывающих повышенную техногенную нагрузку, определяются совокупностью процессов трансформации компонентов, образующихся при взаимодействии неорганических соединений ТМ с ОВ.

Из результатов исследования использованных в работе диатомитов следует, что их применение для детоксикации природной воды не приведет к уменьшению содержания ТМ до уровня предельно допустимых концентраций, установленных для рыбохозяйственных водоемов (0.01 мг/л Ni и 0.001 мг/л Cu) [7]. В то же время, диатомиты представляют интерес как материал, предназначенный для регулирования pH очищенных сточных вод либо для предварительного извлечения ТМ из высококонцентрированных растворов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нетрадиционные виды нерудного минерального сырья / Мин-во геол СССР; ВНИИгеолнеруд / Под ред.У.Г. Дистанова, А.С. Филько. М.: Недра,1990. С 34-48
2. *Демидов И.Н., Шелехова Т.С.* Диатомиты Карелии. Петрозаводск, 2006. 88 с.
3. *СкамницкаяЛ.С., Бубнова Т.П.* Результаты технологических исследований диатомитов Карелии / Обогащение руд. №1. 2008. С. 3-7.
4. *Кичигин О.В.* Концентрирование ионов металлов орто-амино-азо-орто-окси-комплексообразующими сорбентами и гумусовыми кислотами. Автореферат на соискание ученой степени докт. химич. наук. Воронеж, 2006. 54 с.
5. *Будаева А.Д., Золтоев Е.В., Хантургаева Г.И., Жамбалова Б.С.* Сорбция меди и цинка из модельных растворов гуминовыми кислотами // Химия в интересах устойчивого развития, Т.16, 2008. С. 143– 46.
6. *Душина А.П., Алесковский В.Б., Алексеева И.П.* Взаимодействие силикагеля с ионами меди (II) / Журнал прикладной химии. Т. 45. Вып. 1. 1972. С. 33-37.
7. Перечень рыбохозяйственных нормативов: предельно допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочно безопасные уровни воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. Введен 28 апреля 1999 г.
8. *Лихарева О.Б., Иванов М.Г., Матерн А.И.* Повышение сорбционной емкости опоки термическим и химическим модифицированием // Химия в интересах устойчивого развития. Т 16. 2008. С. 415–420.
9. *Лихарева О.Б.* Изучение сорбции катионов тяжелых металлов на модифицированной опоке / Материалы докладов XIV Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов-2007» (www.lomonosov-msu.ru/archive/Lomonosov_2007/23/Chemistry/lixareva_ob.doc.pdf), 2007
10. *Холодов В.А., Перминова И.В.* Использование гуминовых веществ в нанобиотехнологиях. Сборник учебно-методических материалов Всероссийской школы-семинара для студентов, аспирантов и молодых ученых "Нанобиотехнологии: проблемы и перспективы" / под ред. Лебедевой О.Е. Белгород: Политерра, 2008. С. 24-27.
11. *Кременецкая И.П., Касиков А.Г., Васильева Т.Н., Корытная О.П.* Геохимическая миграция тяжелых металлов в зоне влияния медно-никелевого комбината // Экология и здоровье человека. Охрана воздушного и водного бассейнов. Утилизация отходов. Сборник научных статей XV Междунар. науч.-практ. конференции в 2-х т. Т. II. Харьков: УкрГНТЦ «Энергосталь», 2007. С. 338-343.

МИНЕРАЛЬНЫЕ И СИНТЕТИЧЕСКИЕ СОРБЕНТЫ В ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ВОДНЫХ СТОКОВ

Герасимова Л.Г., Маслова М.В., Николаев А.И.

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

Сорбционные и, в том числе, ионообменные технологии широко используются для очистки воды и стоков вредных производств гидрометаллургии, в технологиях защиты окружающей среды. Хорошо известно, что их эффективность зависит от многих факторов, главными среди которых являются селективность сорбентов и условия их применения.

Современные комбинированные схемы очистки включают различные операции от предварительной фильтрации с отделением механических примесей, масел до суперочистки с помощью природных и синтетических ионитов (сорбентов). Для этих целей используются как минеральные, так и синтетические сорбенты. Как правило, минеральные сорбенты обладают более низкими сорбционными свойствами, но они

значительно дешевле синтетических материалов. При использовании синтетических сорбентов удаётся получить более стабильные результаты по очистке стоков, и увеличить срок их эксплуатации за счёт возможности их регенерации.

В данной работе рассмотрена возможность использования в сорбционной технологии минеральных титан (магний)-силикатов и гидрофосфатов кальция, а также синтетических сорбционных материалов на основе фосфата титана.

Минеральные сорбенты из концентратов обогащения апатито-нефелиновых и оливинитовых руд

Основные концентраты, получаемые при обогащении апатито-нефелиновых руд – апатит (гидрофосфат кальция) и нефелин (щелочной алюмосиликат), а также титанит (титаносиликат кальция – $CaSiTiO_5$).

Показано, что при измельчении концентратов титанита и апатита в сухом режиме с использованием различных типов измельчителей (мельницы шаровые, струйные, центробежно-ударные, вибрационные) происходит разрушение зёрен исходного материала в различной степени (данные электронной микроскопии). При измельчении повышается дисперсность частиц, наблюдается ионизация и аморфизация поверхности и её активация за счёт увеличения удельной поверхности, а также в результате приобретения электрического заряда. Степень активации зависит от типа измельчителя и располагается в следующем порядке: струйная> вибрационная > центробежная> шаровая. Максимальное увеличение удельной поверхности сфена достигается при измельчении на струйной мельнице с 1 $м^2/г$ до 35-40 $м^2/г$. Совмещение процессов измельчения сфенового концентрата и его модифицирование в присутствии фосфорной кислоты или фосфатных соединений алюминия позволило получить на поверхности частиц титанофосфатную оболочку и, тем самым, повысить его сорбционную способность (табл. 1).

Таблица 1. Сорбционная ёмкость минеральных сорбентов (мг-экв/г)

Характеристика сорбента	S, $м^2/г$	Cs^+	Sr^{+2}	Co^{+2}	Ni^{+2}
Сфен измельчён (фракция до 200 мкм)	1.2	0.05	0.09	0.18	0.24
Сфен измельчён (фракция до 20 мкм)	37.8	0.43	0.67	0.80	0.95
Сфен измельчён и модифицирован	40.5	0.55	0.75	1.10	1.12
Апатит измельчён (фракция до 10 мкм)	27.9	-	-	0.75	0.90

S – удельная поверхность

При обогащении «хабозёрских» оливинитовых руд выделяется сунгулитовый концентрат, содержащий минерал, отвечающий формуле ($Mg_3Si_2O_5(OH)_4$). При прокаливании продукта обнаружены магниевые силикаты – форстерит (Mg_2SiO_4) и энстатит ($Mg_2[Si_2O_6]$). Исследована сорбционная способность сунгулита и продукта его термолиза (650^oC) – табл. 2.

Таблица 2. Извлечение катионов из раствора (%) с помощью сунгулита

Сортат	Сунгулит	Прокаленный сунгулит	Антигорит	Оливинит
	Степень извлечения, %			
Fe (III)	99.5	>99.5	99.5	99,2
Fe (II)	93,2	>99.5	99.3	81,4
Cu	89.6	>99.5	99.0	64,9
Ni	62.7	>99.5	80.5	46,4
Co	58.3	98.5	76.7	34,2
Zn	78.0	99.2	90.4	60,0
Al	68.0	97.5	93	46,5
Sr	67.8	-	80.6	-
Cs	11.8	-	53.5	-

Синтетические сорбенты (ионообменники) из концентратов обогащения апатито-нефелиновых руд (АНР)

К синтетическим ионообменным материалам, обладающим высокой сорбционной ёмкостью относится фосфат титана с общей формулой – $TiOHPO_4 \cdot xH_2O$, который может быть использован для очистки жидких отходов от радионуклидов, цветных и тяжёлых металлов. Способы получения титанофосфатного сорбента и его свойства достаточно подробно описаны в литературе. Как правило, синтез фосфатов титана осуществляется методом осаждения при введении фосфорной кислоты в растворы солей титана [1-4] или обработкой свежеосаждённого гидроксида титана фосфорной кислотой [5]. Реже синтез проводят из разбавленных кислых титановых растворов и разбавленной кислоты (золь-гель метод) [6].

В данной работе представлены материалы, характеризующие основные параметры получения композиционных сорбентов на титанофосфатной основе и результаты исследований по изучению их состава и свойств. В качестве исходного сырья при получении этих материалов использовались минеральные концентраты титанита (титаносиликат кальция – $CaTiSiO_5$), нефелина и апатита.

Технологическая схема получения титанофосфатных сорбентов может реализоваться по двум вариантам. По первому варианту получается сорбент–I, который представляет собой гидратированный фосфат титанила в водородной или солевой формах с мольным отношением TiO_2:P_2O_5=1:1, Сорбент – II (второй вариант схемы) по представляет собой синтетическую композицию, в которой гидратированный кремнезём равномерно распределён в титанофосфатной матрице. Мольное отношение компонентов TiO_2:P_2O_5:SiO_2=1:1:0.25-0.4. [7,8]. Специфика строения таких сорбентов проявляется в процессе сорбции, которая протекает по механизму, включающему «нейтрализацию» избыточного отрицательного поверхностного заряда и замещение протона (ионит кислотный) или одновалентного катиона (ионит основной) в фосфатной функциональной группе на другой катион [9]. Кроме того, сорбция катионов переходных металлов происходит за счёт дополнительной координационной связи сорбируемых ионов с атомами кислорода, входящими в структуру сорбента [10]. Исходя из этого, можно констатировать, что синтезированные сорбенты проявляют универсальные свойства, что очень важно для расширения областей их применения (очистка ЖРО, стоков медно-никелевого, гальванического, кожевенного и других производств, а также для глубокой очистки технической воды).

Одной из важных операций технологии, оказывающей первостепенное значение на структуру материала и соответственно на его сорбционную способность, является термообработка титанофосфатного прекурсора (табл. 3). Температуру сушки изменяли от 20 до 100^0C. Степень сорбции в условиях статики (α) определяли путем введения сорбента в раствор, содержащий 100 мг/л Cs (сорбат), из расчёта Т:Ж=1:200. Продолжительность контактирования смеси в условиях перемешивания – 6 ч. Затем жидкую фазу отделяли фильтрованием и определяли в нём остаточную концентрацию Cs. Степень сорбции определяли по формуле: $\alpha = (C_0-C_1)\cdot 100/C_0$, где C_0 и C_1– начальная и конечная концентрация Cs в растворе, мг/л.

Таблица 3. Влияние температуры на свойства сорбента

Сорбент	Степень сорбции катиона Cs, %			
	20^0C	40^0C	60^0C	100^0C
Сорбент –I	92.2	96.3	96.5	92.0
Сорбент -II	70.2	90.4	94.5	89.3

«Воздушносухие» сорбенты (t – 20^0C) и особенно композиционный сорбент при длительном пребывании в водной среде подвергается разрушению и обводнению из-за присутствия в нём кремнегеля, что снижает сорбционные свойства и ухудшает условия отделения очищенного раствора от сорбента. Повышение температуры сушки приводит к повышению сорбционных свойств за счёт структурирования частиц сорбента. Наиболее благоприятные условия для структурирования сорбента при сохранении высокой сорбционной ёмкости его складываются при температуре сушки 60-70^{0}C.

Исследования эффективности использования композиционных сорбентов проводились на нескольких объектах.

Использование ионообменников для очистки растворов ЖРО

Солевые растворы – дезактивирующие растворы (фон NaCl).

Малосолевые растворы – воды бассейнов хранения отработанного ядерного топлива.

Сорбент композиционный титанофосфатный в виде гранул размером 0.2-0.4 мм. Режим динамический, скорость пропускания – 3-5 колоночных объёма (КО) за один час. Содержание Cs определяли гаммаспектрометрическим методом на анализаторе с полупроводниковым детектором, а Sr – радиохимическим определением с радиометрическим окончанием анализа (табл. 4).

Таблица 4. Состав растворов и средний кот очистки

Показатели	Солевые растворы			Малосолевые растворы		
Сухой остаток,г/л	3.4			0.4-0.5		
Оксалат ион, г/л	0.1			-		
Трилон Б, мг/л	80			-		
ПАВ (анионактивные),мг/л	4.5			-		
pH	8.3-8.8			8.4		
Изотопный состав:		КО	$K_{ср}$		КО	$K_{ср}$
Cs^{137}, кБк/кг	12	1500	60	11	1500	60
Sr^{90}, кБк/кг	4	10000	60	4	11000	80

В процессе сорбционной очистки отмечена десорбция Cs137 через 1000 колоночных объемов. В процессе эксплуатации сорбента не отмечено его видимого разрушения и повышения гидравлического сопротивления.

Проведены также исследования сорбционной емкости фосфата титана по отношению к Cs137, Eu152, Th254, U238. Измерение активности фильтрата после сорбции проводились гамма-спектроскопическим методом, основанным на измерении гамма излучения радиоактивных изотопов с помощью гамма-спектрометра с полупроводниковым германиевым детектором излучения типа EG15-200-R.

В качестве радиоактивных меток использовались образцовые радиоактивные растворы Cs137, Eu152, Th254, U238. Коэффициент сорбции определялся путем сравнения интенсивности фотопиков в спектрах до введения раствора в колонку и после нее. Вычисление площадей фотопиков гамма-спектров выполнялось с помощью специализированной программы «Gamma Vision». Расчет коэффициента сорбции проводился по формуле:

$C = Sn/ Sd\ 100;$ (%)

где: Sn – площадь фотопика в спектре после прохождения раствора в колонке Sd – площадь фотопика в спектре до введения раствора в колонку.

В процессе экспериментов была определена сорбционная емкость в зависимости от исходной насыпной плотности сорбента и числа повторов пропускания раствора через колонку. Основные результаты экспериментов приведены в табл. 5.

Таблица 5. Результаты экспериментов (гранулы сорбента диаметром 1-3 мм)

Изотоп	Число повторов	Сорбционная емкость (%) при насыпной плотности 1,1 г/см^3	Сорбционная емкость (%) при насыпной плотности 0,9 г/см^3	Сорбционная емкость (%) при насыпной плотности 0,4 г/см^3
Cs^{137}	1	34,7	30	61,6
	2	39,9	32	64,3
	3	41,4	34,9	62,6
Th^{254}	1	92,2	87,4	99,2
	2	95,8	88,8	94,3
	3	97,1	92	99,6
Co^{60}	1	18,2	13,2	31,3
	2	19,8	14,4	23,4
	3	22,8	16,2	30.7
Eu^{152}	1	43,6	34,7	61,6
	2	51,4	34,9	63
	3	54,4	47,5	66,7
U^{238}	1	27,7	33,1	91,1
	2	28,8	20,3	76,6
	3	29,57	24,2	77,5

Результаты экспериментов показали, что наиболее эффективно сорбент работает при насыпной плотности 0,4 г/см^{3}г. Уже при однократном пропускании радиоактивного раствора через сорбционную колонку более 50% изотопа (за исключением Co^{60}) поглощается сорбентом.

Использование ионообменника при очистке водных растворов от железа и тяжёлых цветных металлов

Такими объектами являются стоки гальванических производств, а также производств цветных металлов.

Ниже приведена объёмная ёмкость (СОЕ) сорбента по отношению к железу и тяжёлым цветным металлам

Катион	Fe^{+2}	Fe^{+3}	Cu	Ni	Co	Cr
СОЕ (мг-экв/г)	1.95	2.17	1,72	1.58	1.47	1.20

Использование композиционного сорбента для очистки технической воды

Представляет интерес использования композиционного сорбента в системах водоочистки и водоподготовки. Отмечена высокая емкость нового сорбента при доочистке стоков гальванического производства, содержащих катионы железа, никеля и хрома с общей концентрацией до 3 мг/л. Ионообменная колонка, заполненная сорбентом, работает в общей схеме очистки, как фильтр-гарантёр. Исследования по длительному использованию сорбента при очистке водопроводной воды показали, что титанофосфатный сорбент позволяет очистить воду до содержания железа значительно ниже требований ПДК без вторичного загрязнения очищаемого объекта (концентрация железа в водопроводной воде не должна превышать 0.3 мг/л).

Результаты исследований представлены на рис.1.

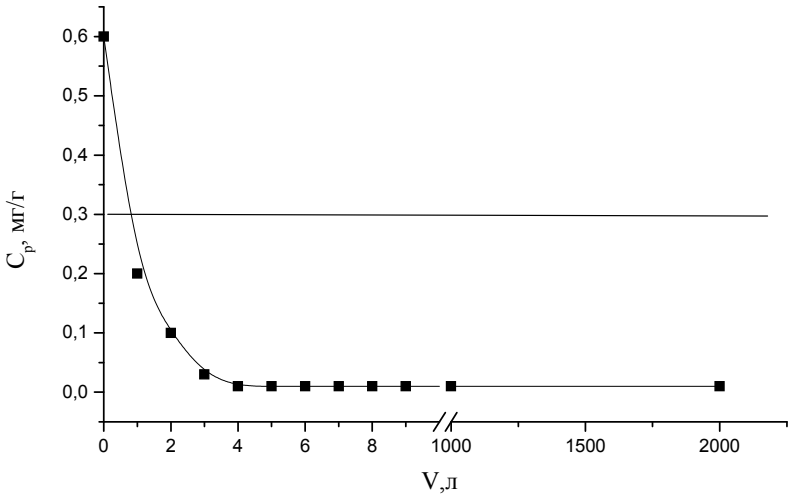


Рис. 1. Изменение концентрации ионов железа в фильтрате (1) и нормативный показатель качества воды по иону железа (2) от объема пропущенной водопроводной воды. Количество сорбента 1 л.

Испытания его на различных объектах показали, что он пригоден для очистки жидких стоков от катионов тяжелых цветных металлов, включая катионы железа, а также от радионуклидов. Сорбент отличается высокой химической инертностью и радио-термоустойчивостью. Этот факт гарантирует его длительную эксплуатацию без разрушения и повторного загрязнения очищаемых объектов. Разработаны условия его регенерации или утилизации с получением качественной продукции строительного назначения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы №5 ОХНМ РАН (2009г)

ЛТЕРАТУРА

1. *Митченко Т.Е., Беляков В.Н., Ройтенберг А.М.* и др. ЖПХ. 1986. №7. С.1440-1443.
2. *Дранщина Н.В., Егоров Ю.В., Фоминых Е.В.* Неорганические материалы.1970. №12. С.2178-2182.
3. *Bortun A., Jaimez E., Llavona R.*, at al. Materials Research Bulletin. 1995. V.30. N.4. P.413-420.
4. *Bereznitski Y., Jaroniec M., Bortun A.*, at al. J. Colloid and Interface Science. 1997. V.191. P.442-448.
5. *Локшин Э.П., Иваненко В.И., Удалова И.А.* и др. Радиохимия. 2003. Т.45. №4. С.357-361.
6. *Егорькова О.В., Орлова А.И., Петьков В.И.* и др. Радиохимия. 1996. Т.38. №6. С.481-483.
7. *Tuel A., Taarit Y.B.* Zeolites. 1993. V.13. P.357-364.
8. *Clearfield A., Bortun L., Bortun A*. Reactive and Functional Polymers. 2000. V.43.P.85-95.
9. *Матерова Е.А.* В сб. Неорганические ионообменные материалы под ред. Никольского Б.П. 1974. Вып.1. С. 56-65.
10. *Андреев С.Н., Смирнова М.Ф.* ЖОХ. 1968. Т.38. С. 1434-1439.

ОЦЕНКА МЕТОДАМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ МИНЕРАЛОГИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГЛАУКОНИТСОДЕРЖАЩИХ ПЕСКОВ

Левченко М.Л.[1], Губайдулина А.М.[2]

[1]ФГУП «ИМГРЭ», г. Москва, [2]ФГУП «ЦНИИгеолнеруд», г. Казань

Исследовались пробы исходных, промежуточных и конечных продуктов стадий технологического передела глауконитовых песков месторождения Бондарское, которые можно рассматривать как перспективное сырье с широким спектром направлений использования – в качестве пигмента, сорбента и минерального удобрения.

Методы анализа

Исследуемые пробы различаются как общим химическим и фазовым составами, так и составом, структурными особенностями и степенью дисперсности собственно глауконитов, а также наличием в них элементов-примесей.

Для выявления структурных и кристаллохимических особенностей глауконитов был использован комплекс различных методов анализа.

Выбор рационального комплекса аналитических методов для получения полной и достоверной информации о химическом и минеральном разнообразии, структурных и морфологических вариациях изучаемых глауконитов основывался на сопоставительной оценке возможностей методов и установления связей: состав – структура – свойства.

Был определен оптимальный комплекс, включающий в себя следующие виды исследований: гранулометрический и химический анализы, оптическая и электронная микроскопия, рентгенографический фазовый анализ (качественный и количественный), термический анализ (ДТА-ДТГ, ТГ-ДСК), дифференциальный термомагнитный метод (ДТМА), электронный парамагнитный анализ (ЭПР), низкотемпературный метод адсорбции азота.

Химический анализ. Содержания элементов определялись на спектрометре «Optima 2000 DV» с индукционно связанной плазмой при температуре 100000 К.

Катионный обмен. Определение содержания ионов K, Na, Ca, Mg проведено на спектрометре «Optima 2000 DV». Процесс заключается в вытеснении обменных катионов раствором хлористого алюминия.

Распределение частиц по размерам определяли на лазерных микроанализаторах «Analizette-22» (фирма Fritzsch, Германия), Camsizer (Германия), Horiba (Франция). Технология, применяемая в лазерном определителе частиц, основанная на принципе анализа дифракционной картины, позволяет определить распределение размеров частиц от 0,1 мкм до 500 мкм.

Оптическая микроскопия. Оптико-минералогический количественный анализ выполняется весовым методом или «методом подсчета зерен» минералов во фракциях (обычно 1000 или 500 зерен), полуколичественный анализ – «визуальной оценкой содержаний» зерен минералов во фракциях под бинокулярным микроскопом (классы –2+0,2 мм) или микроскопом типа Полам и иммерсионных препаратах (классы -0,2 мм). Большой диапазон возможностей, простота, быстрота и дешевизна минералогических определений по сравнению с другими видами анализа обусловили их широкое применение. При правильной подготовке проб и выборе методики анализа с учетом специфики материала точность минералогических анализов может достигать, а иногда и превосходить точность химических определений.

Аналитическая электронная микроскопия. Оценка микро-морфологических особенностей и качественная оценка элементного состава исходных образцов и продуктов переработки была выполнена тремя методами: растровая электронная микроскопия (РЭМ), сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) и просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ).

Растровая электронная микроскопия (РЭМ) выполнена на электронном микроскопе «Tesla–301B» (Словакия), позволяющем исследовать поверхность твердого тела методом вторичной электронной эмиссии (увеличение 20-200000 крат).

Просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ) проведена на электронном микроскопе «Technai 12B» (Голландия), предназначенном для визуального и фотографического исследования фазового состава и кристаллической структуры объектов.

Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) выполнена на электронном микроскопе Geol (Голландия). РЭМ, СЭМ и ПЭМ позволяют изучить топографию и морфологию поверхности, особенности микрогеометрии частиц, слагающих пробу, фазового состава и кристаллической структуры объекта.

Термический анализ (ДТА-ДТГ, ТГ-ДСК). Исследования термического поведения проводились на синхронном термоанализаторе STA 409 PC (фирма NETZSCH, Германия) ТГ-ДТГ и ДСК методами термического анализа. Из литературных данных, посвященных термическому изучению глауконита, известно, что для них при нагреве характерны термические превращения тремя эндотермическими эффектами: 120-190, 300-600 и 880-980ºС. Эти эффекты обусловлены: выделением адсорбированной воды – I эффект; выделением кристаллизационной воды – II эффект; разрушением кристаллической решетки – III эффект. После третьего эндотермического эффекта иногда проявляется экзотермический эффект незначительной величины, вызванный кристаллизацией новой минеральной фазы: магнезиоферрита, алюминиевой или железистой шпинели и, в случае большого содержания монтмориллонитового компонента, в смешаннослойной фазе – кристобалита. Температура второго эндотермического эффекта меняется в зависимости от содержания в глауконите калия и разбухающей смешаннослойной фазы.

Рентгенографический (качественный и количественный) фазовый анализ выполнен методом порошка на дифрактометре D8 ADVANCE (фирма Bruker). Данный вид анализа необходим для идентификации присутствующих в исследуемых объектах кристаллических и квазикристаллических веществ, оценки их концентраций, изменения их состояния и структурных характеристик в результате технологической переработки [1]. Анализы проведены с использованием монохроматизированного CuKα-излучения в режиме шагового сканирования (шаг 0,05o2Θ, время экспозиции в точке 1 и 3 сек). Расчет значений межплоскостных расстояний и интенсивностей дифракционных рефлексов производился с использованием программы EVA, входящей в комплект математического обеспечения дифрактометра. Идентификация кристаллических фаз осуществлялась путем сопоставления экспериментальных значений межплоскостных расстояний и относительных интенсивностей дифракционных рефлексов с эталонными значениями, приведенной в международной базе порошковых данных.

Дифференциальный термомагнитный анализ по индуцированной намагниченности выполнялся на авторегистрирующих крутильных магнитных весах, основанных на методе Фарадея. Сущность метода ДТМА заключается в изучении зависимости индуктивной намагниченности или намагниченности насыщения от температуры.

Исследования методом электронного парамагнитного резонанса проведены на радиоспектрометре электронного парамагнитного резонанса типа РЭ-1306, на частоте 9370 МГц, при температуре 300 К.

Исследование текстурных характеристик образцов выполнено адсорбционным методом на объемной вакуумной статической установке ASAP-2002 ДМ «Mikromertics», оснащенной тремя высокочувствительными датчиками давления для получения изотерм высокого разрешения адсорбции-десорбции азота при 77,4 К. Диапазон равновесных относительных давлений составлял от 10-7 до 0,996 P/Ps [3]. Изотермы сорбции и десорбции характеризуют количество адсорбированной воды при разных p/ps и отражают особенности микро– и мезоструктуры глауконитов.

Определение маслоемкости. Данный параметр определяли по затрачиванию минимального количества льняного масла, необходимого для перевода 5 г сухого пигмента в однородную массу, которая не должна растекаться.

На основании приведенных выше методов была получена детальная характеристика состава и свойств образцов природных минеральных пород, выявлены особенности структурных, текстурных и физико-механических параметров. Для продуктов технологического передела исходных песков, в зависимости от направления их использования, определены соответствующие параметры и характеристики и установлены механизмы и/или закономерности, происходящие при различных вариантах активации минеральных сорбентов.

Особенности вещественного состава глауконитсодержащих песков, определяющие эффективность их переработки

Гранулярный состав природных глауконитсодержащих песков в сочетании с распределением глауконита по классам крупности является важным фактором, определяющим их технологические свойства и потерю полезных компонентов на разных стадиях переработки. Результаты рассева проб глауконитсодержащих песков на классы показали, что исходный материал представляет собой легко или средне разрушаемые агрегаты размером до 150 мм с наличием небольшого количества гранитной щебенки (табл. 1).

Таблица 1. Результаты рассева проб природных глауконитсодержащих песков на классы

	Выход класса, %					
	+20 мм	-20+10 мм	-10 мм	-10+2,5 мм	-2,5+0,56 мм	-0,56 мм
Минимум	3,58	11,54	41,91	10,67	6,86	3,58
Максимум	36,62	27,47	84,88	16,85	46,02	36,62
Среднее	**23,59**	**18,57**	**20,94**	**13,66**	**23,24**	**23,59**

Результаты минералогического анализа классов крупности природных глауконитсодержащих песков показали, что основной компонент (глауконит) равномерно распределен в виде агрегатов и агломератов по всем классам. После дезинтеграции в воде навески усредненной пробы выполнен гранулометрический анализ по классам: +1 мм, -1+0,5мм, -0,5+0,25 мм, – 0,25+0,1 мм, – 0,1+0,044 мм, – 0,044 мм на различных приборах и аппаратах отечественного и зарубежного производства: Camsizer (Германия) – сухой метод рассева, «Ротап» (Россия) и Horiba (Франция) – рассев с водой. Полученные результаты показывают, что основная масса песков (около 70%) распределена в класс -0,25+0,044 мм и около 30% – в класс -0,044 мм (рис. 1).

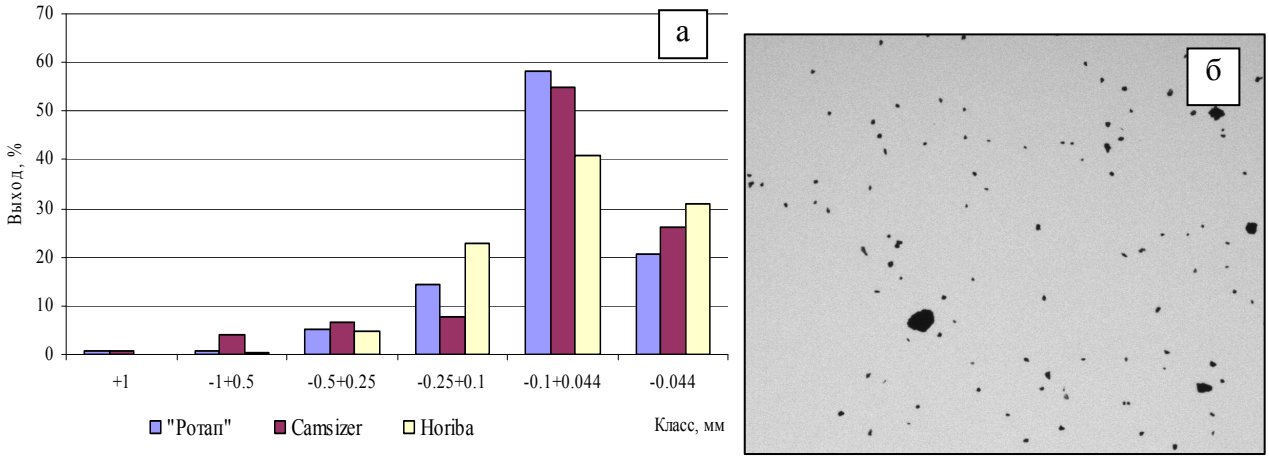


Рис.1. Гистограмма распределения по классам (а) природных глауконитсодержащих песков и их разнозернистость (фото с Camsizer) (б)

Методами электронной микроскопии (СЭМ, РЭМ и ПЭМ) изучались отдельные зерна глауконитов продуктивных фракций. В результате этих исследований были выявлены два основных типа зерен: глобулярные (неизмененные) и корродированные (измененные) неправильных форм. На поверхности зерен второго типа, особенно после проведения химической и термической активации, были выявлены разнообразные структуры химического разрушения, которые сопровождались выносом железа, по сравнению со свежими сколами зерен. Определение элементного состава глобулярных (неизмененных) и корродированных (измененных) глауконитовых зерен показывает, что в первом случае элементный состав является более выдержанным, по сравнению с элементным составом измененных зерен глауконита, когда дисперсия содержаний элементов значительно возрастает.

Характерную особенность изученных глауконитов составляет широкое развитие деструктивных процессов, сопровождавшихся окатыванием, деструкцией их поверхности и химической коррозией зерен с образованием разнообразных структур травления и выносом железа (рис. 2б), так и новообразованием минеральных фаз, обрастающих зерна глауконита глобулярного и смешанно-слоистого строения. Эти новообразования имеют характер точечных высыпаний, наростов или сплошных скоплений, покрывающих поверхность зерен, иногда по всей ее площади, а также сосредоточенных на участках срастания отдельных глобул и по трещинам (рис. 2 а,б). При бóльших увеличениях видно, что часть этих новообразований представлена скоплениями микрокристаллов призматической и пластинчатой формы (рис. 2в). Установлено, что в составе новообразованных минеральных фаз резко возрастает содержание Ca, P, S, Cl в локальных точках, что указывает на присутствие в их составе солей морского происхождения (гр. карналлита и ангидрида).

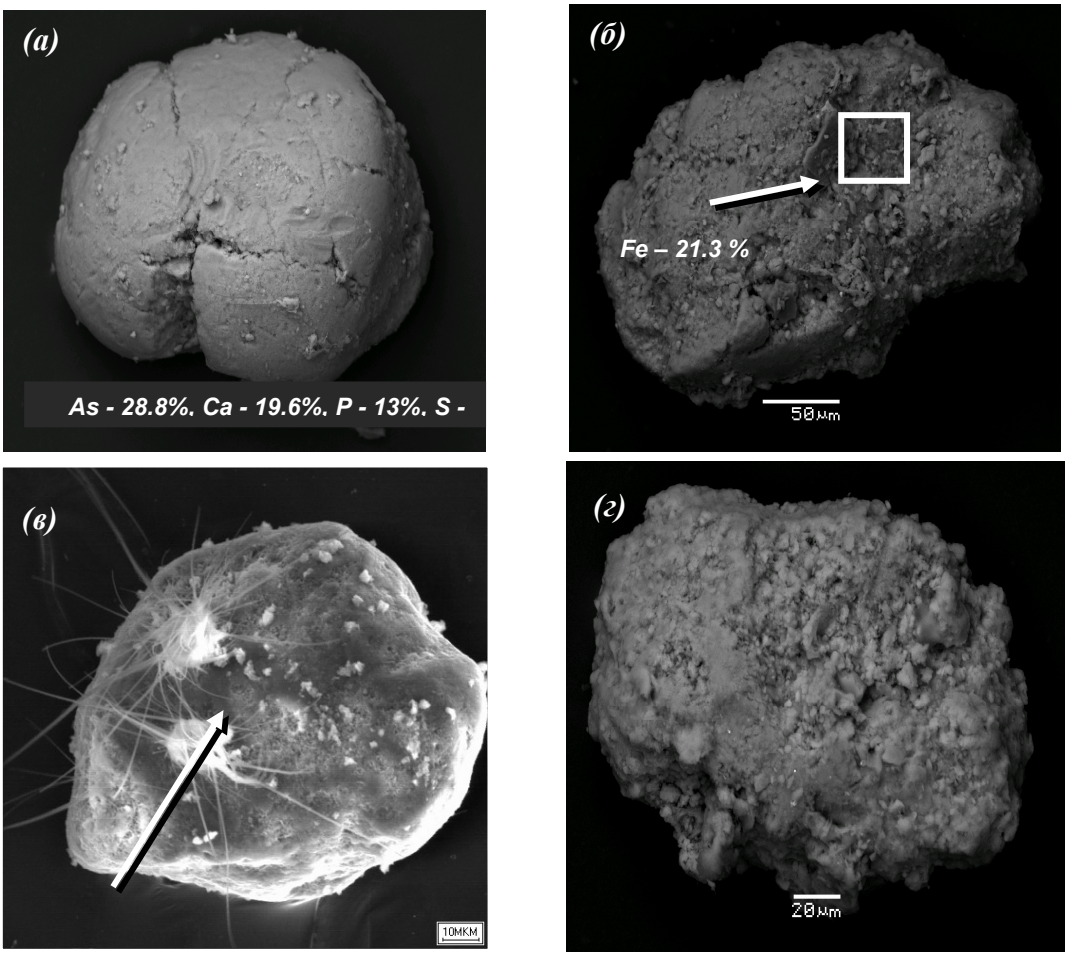


Рис. 2. Поверхностное строение глауконитов Бондарского месторождения (по данным СЭМ): *а* – зерно аутигенного глауконита глобулярного строения; *б* – зерно глауконита, подвергшееся in situ значительной химической коррозии, которая сопровождается выносом железа; *в* – зерно глауконита покрытое «сыпью» новообразованных минеральных фаз, в составе которых присутствуют Ca, S, Cl, P, а также As, Ti, г – зерно глауконита после термической, обработки.

Высокая сорбционная способность глауконитов *in situ* проявляется в их природном обогащении рядом примесей, лимитирующих области использования. Особого внимания заслуживает постоянная примесь мышьяка, рядовые содержания которого колеблются в пределах 2-15%, увеличиваясь до 25-45% в отдельных новообразованиях и до 60-72% в локальных точках. Повышенные содержания мышьяка характерны также для

скелетов микрофоссилий на поверхности зерен глауконита [5]. Вопрос об источниках мышьяка пока остается неизученным.

После проведения термической обработки (600^{o}C, 1 час) материал изменяет свои минералого-технологические свойства: кварц-глауконитовые агломераты распадаются с освобождением кварцевых зерен, в результате чего меняются гранулометрические характеристики концентрата; свободные глауконитовые зерна меняют свой химический состав (в процессе прокаливания происходит концентрация тяжелых металлов, ранее распыленных по объему глауконитового зерна). Кроме того, меняется характер поверхности глауконитовых зерен, они становятся более гладкими (как бы оплавленными), в районах развития локальных зон концентрации металлов (рис. 2г).

Электронно-микроскопические исследования способствуют выбору оптимальной схемы переработки с учетом морфологических особенностей зерен глауконитов и наличия тех или иных элементов-примесей в глауконитах. Полученные данные позволяют обосновать наличие тех или иных примесей в глауконитовых продуктах. Широкое развитие деструктивных процессов несомненно скажется на прочности агрегатов и при дезинтеграции материала приведет к их разрушению; наличие эмульсионных (точечных) «высыпаний» и плотность сплошных корочек (скоплений), которые невозможно убрать физическими методами, может негативно повлиять на магнитные свойства глауконита, плоская, полуокатанная и окатанная форма агрегатов глауконита будет влиять на эффективность грохочения песков.

Термический и рентгенографический анализы позволили определить значительную примесь монтмориллонита и тонкодисперсной органики, что улучшает агрономические и сорбционные свойства глауконитов [2].

Важным моментом является подбор эффективного режима переработки глауконитсодержащих песков методом магнитной сепарации для последовательного выделения тех или иных продуктивных фракций. Исследования природных глауконитов методом дифференциального термомагнитного анализа показали, что чем больше в его структуре суммарного железа, тем выше парамагнитные свойства и, следовательно, тем меньшие магнитные поля требуются для извлечения основного компонента.

При гипергенном изменении зерен глауконита происходит вынос железа из решетки, что приводит к снижению величины его парамагнитной намагниченности. Соответственно, чем в большей степени глауконит претерпел изменения, тем большие магнитные поля необходимы для его извлечения. Исходное сырье представляет собой смесь в различной степени измененных зерен глауконита. Используя ступенчатую магнитную сепарацию при различной индукции магнитного поля, удается получать качественно различную продукцию – концентраты, различающиеся как по содержанию основного компонента, так и по степени сохранности его зерен, и добиваться максимально возможного выхода полезного компонента.

Для всех изученных проб наблюдаются широкие вариации в химическом составе. Особенно сильно меняется концентрация элементов, влияющих на окраску глауконитов и его магнитные свойства [6]. Цвет глауконитов является одним из наиболее характерных свойств. Кроме содержания элементов–хромофоров на цвет глауконитовых зерен влияет степень окисления железа и соотношение между Fe 3+ ↔ Fe 2+. Наиболее интенсивная окраска наблюдается для глауконитовых фракций, прошедших стадию магнитной сепарации и характеризующихся повышенными содержаниями титана, кобальта, никеля, хрома, марганца, меди и свинца (рис. 3).

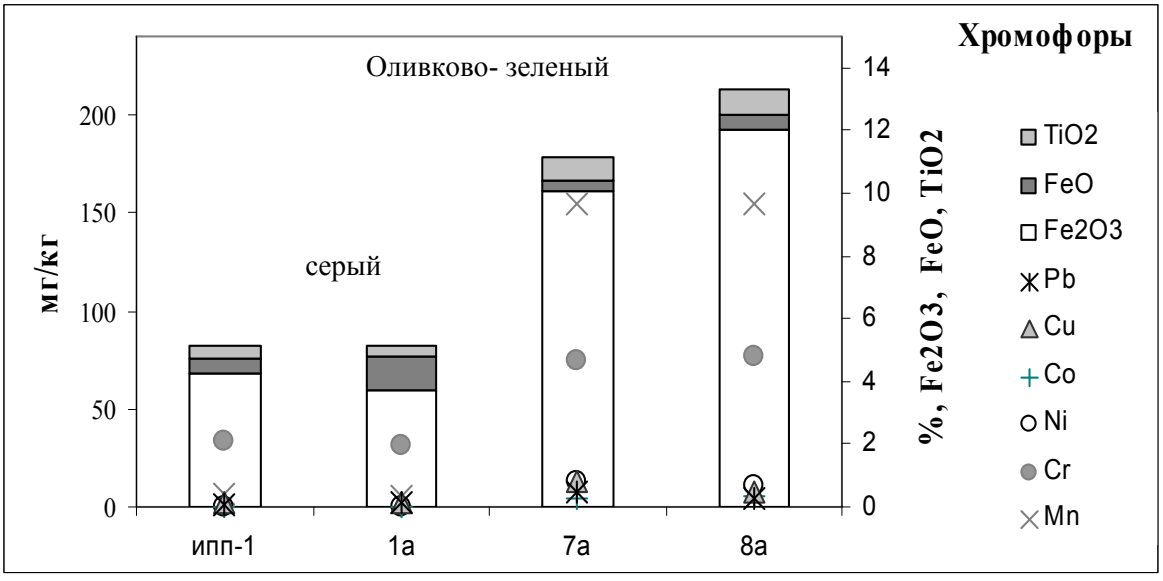


Рис. 3. Взаимосвязь содержания элементов-хромофоров с цветовой гаммой природных глауконитов и продуктов обогащения

Соотношение Fe3+/Fe2+ меняется от 8,8 для природных глауконитсодержащих песков и немагнитной фракции 1а (строительные пески) до 17,2 для продуктов, прошедших стадию магнитной переработки и кислотной активации и обжига.

Как известно, природный глауконит в структурном отношении является слоистым алюмосиликатом. Причем слои, как правило, неоднородны и могут чередоваться в произвольном порядке и разном численном соотношении, т.е. глаукониты являются типичными смешанно-слойными образованиями. Таким образом, структура глауконита сложена неразбухающими слюдяными и разбухающими монтмориллонитовыми слоями. Наличие разбухающих слоев, т.е. способных поглощать жидкие и газообразные вещества из окружающей среды и удерживать их в межслоевом пространстве, определяют сорбционные свойства глауконита.

Глинистая фракция исследуемых природных глауконитов состоит из двух компонент (рис. 4):
а) смешаннослойная с преобладанием неразбухающих слюдяных слоев и содержанием до 20% разбухающих монтмориллонитовых слоев;

б) смешаннослойная с преобладанием разбухающих монтмориллонитовых слоев и содержанием до 25-30% неразбухающих слюдяных слоев.

При этом, разные по области применения пробы характеризуются разным соотношением слоев. Так, пигменты (8а, К-1) и удобрение (7а) отличаются высоким содержанием глауконита (90%) с соотношением разбухающих/неразбухающих слоев около 1/2. Для продуктов переработки глауконитсодержащих песков, используемых в качестве сорбентов (пробы Р-2/2 и ПЦ-1) наблюдается обратное соотношение, т.е. преобладание разбухающих слоев, при содержании основного компонента 28-35%. Стоит отметить, что высокое содержание (20%) цеолита в пыли с циклона (проба ПЦ-1) также улучшает сорбционные характеристики [4].

Текстурные характеристики являются важным показателем для оценки сорбционных свойств материалов. В связи с этим, была проведена оценка текстурных параметров (удельная поверхность, объемы и диаметры пор, распределение пор по размерам) продуктов технологической переработки природных глауконитов, используемых в качестве сорбентов (пр. Р-2/2, ПЦ-1). Обобщение полученных данных о текстурных характеристиках сорбента, определенных из анализа изотерм адсорбции – десорбции азота, говорит о том, что образец обладает средними для сорбентов значениями удельной поверхности и пористости.

Таким образом, пробы природных глауконитсодержащих песков и все продукты их переработки были изучены достаточным по своей информативности и дополняющим друг друга комплексом физико-химических методов. Полученные результаты позволяют разработать систему критериев оценки качества промышленных концентратов для производства пигментов, сорбентов и удобрений, приведенную в виде табл. 2.

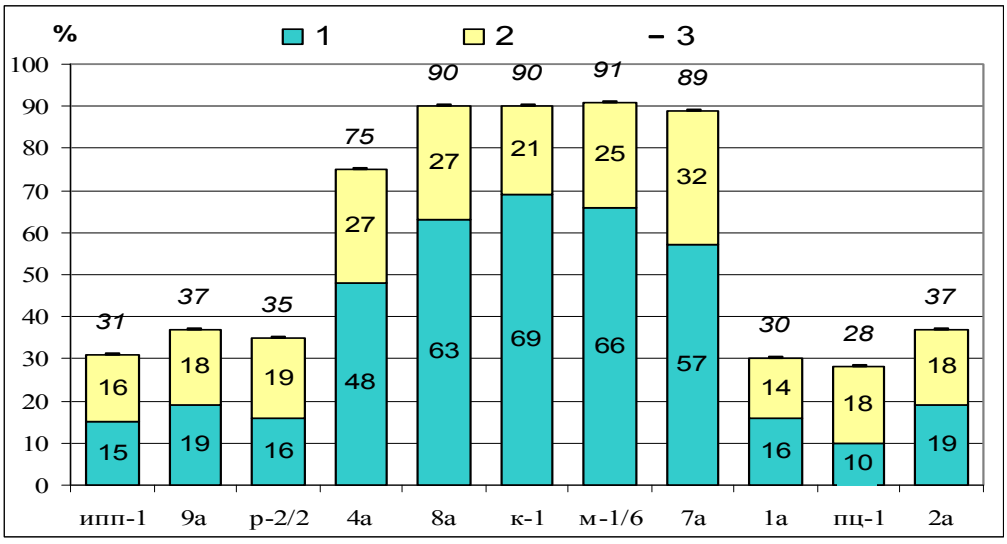


Рис. 4. Соотношение разбухающих и неразбухающих компонентов природных глауконитов и продуктов обогащения: 1 – преобладают неразбухающие слои; 2 – преобладают разбухающие слои; 3 – суммарное содержание глауконита

Таблица 2. Критерии, определяющие технологические свойства продуктов, полученных из природных глауконитсодержащих песков

Критерии	Продукты переработки	
	Пигменты	Сорбенты
Фазовые	1. Суммарное содержание слоистых железосодержащих алюмосиликатов не менее 90% (РКФА) 2. Соотношение разбухающих/неразбухающих слоев ~ 1/2 (РКФА). 3. Потеря массы при нагреве более 9%мас (ДТА) 4. Индуктивная намагниченность Ji в постоянном магнитном поле H=160кА/м (B=200mT) не менее 0,04 мА*m^2/norm.div (ДТМА)	1. Суммарное содержание слоистых железосодержащих алюмосиликатов не менее 35% (РКФА) 2. Соотношение разбухающих /неразбухающих слоев ~ 2/1 (РКФА) 3. Содержание цеолита в пыли с циклонов (сорбент для разливов нефти на поверхности) не менее 20% (РКФА) 4. Потеря массы при нагреве менее 5%мас (ДТА) 5. Индуктивная намагниченность Ji в постоянном магнитном поле H=160кА/м (B=200mT) не менее 0,02 мА*m^2/norm.div (ДТМА)
Морфологические	1. Преобладание неизмененных глобулярных зерен (ПЭМ, РЭМ) 2. Выдержанность элементного состава глобул (СЭМ)	1. Преобладание измененных монтмориллонизированных зерен с поверхностью типа шагрени (ПЭМ, РЭМ)) 2. Значительная дисперсия содержаний элементов на поверхности зерен (СЭМ)
Химические	1. Повышенное содержание элементов-хромофоров Fe^{3+}, Fe^{2+}, Ti, Co, Ni, Cr, Mn, Cu, 2. Соотношение Fe^{3+}/ Fe^{2+} не менее 17 (хим. анализ). Преобладание Fe^{3+}, находящегося в транс-позиции в структуре алюмосиликата 3. Значительное искажение симметрии решетки координационных полиэдров, наличие d-d переходов и переноса заряда $O^{2-} \rightarrow Fe^{3+}$	1. Соотношение Fe^{3+}/ Fe^{2+} не более 8 (химический анализ)
Технологические	1. Остаток на сите с сеткой 0,050 мм, % не более 0,1 2. Маслоемкость, не более 35 г/100г 3. Укрывистость, не более 170 г/$м^2$ 4. Цвет – оливково-зеленый	1. Фракционный состав, содержание частиц менее 1мм не менее 100% 2. Текстурные характеристики методом БЭТ по адсорбции азота: – удельная поверхность по БЭТ, не менее 20,56 $м^2$/г – суммарный объем пор, не менее 0,033 $см^3$/г – пористость, не менее 8,1% 3. Обменные катионы, мг-экв, (не менее) Ca – 10, Na – 2, Mg – 6, K – 1 4. Сорбционная емкость по нефтепродуктам не менее 1кг на 1 кг адсорбента: а) бензин – 5,0 б) дизельное топливо – 4,0 в) машинное масло -2,7 5. Очистка питьевой воды активированным глауконитом: сорбционная ёмкость по Fe -72,4 мг/$дм^3$ 6. Очистка сточных вод, поглотительная способность, мг-экв./г: а) по Cu – 781,2 б) по Ni – 342,4

С целью улучшения сорбционных свойств и цветности продуктов технологической переработки природных глауконитсодержащих песков проводилась их химическая и термическая активация.

Активация глауконитовых песков, состоящих в основном из глинистых минералов неорганическими кислотами, является одним из способов получения высококачественных активированных сорбентов для различных областей народного хозяйства.

Основной целью активации является увеличение числа дефектов в кристаллической структуре глауконита, приводящие к повышению удельной поверхности и пористости. В результате этого в глауконите возникают новые активные центры, с которыми связаны его высокие адсорбционные свойства в процессах очистки воды и почвы.

Для определения условий активации использовались математические методы планирования эксперимента и статистической обработки экспериментальных данных: удельной поверхности, суммарного объема пор, истинной плотности, статической влагоемкости.

На основании проведенных испытаний по матрице планирования эксперимента были выбраны условия активации глауконита: концентрация H_2SO_4 16%; время активации 3 часа; соотношение Т : Ж = 1 : 2.

Были проведены эксперименты по определению сорбционной емкости естественных и активированных 16% H_2SO_4 глауконитов к нефтепродуктам: бензину, дизельному топливу; машинному маслу, которые показали, что кислотная активация приводит к повышению сорбционной емкости приблизительно на 30%

Перспективы использования глауконита в качестве удобрений определяются как химическим составом, так и его структурно-текстурными особенностями. Определяющим моментом является достаточно высокое содержание такого важного питательного элемента как калий (не менее 3%), причем положение его в структуре таково, что при склонности зерен глауконита к деструкции, калий переводится в легко усвояемую форму. То, что скорость разрушения зерен глауконита в естественных условиях довольно низкая, делает глауконiты удобрением пролонгированного действия.

Немаловажно присутствие в глауконите тонко рассеянного фосфатного вещества, а учитывая наличие ряда микроэлементов – меди, марганца, бора, молибдена, кобальта, магния, кальция – можно отнести его к безхлорному комплексному удобрению.

Заключение

Технологические свойства природных глауконитсодержащих песков обусловлены их минеральным составом (высоким содержанием основного компонента и присутствием в подчиненном количестве других породообразующих минеральных фаз), гранулометрическим составом исходных песков, крупностью зерен глауконита и морфометрическими характеристиками.

Контрастность физических свойств основного компонента и породообразующих минералов (плотность, удельная магнитная восприимчивость) позволяет разработать эффективную технологическую схему их переработки.

Благодаря своим специфическим свойствам (наличию красящих оксидов, активных катионов калия, слоистой структуре, наличию в природе в виде не набухающих в воде и других жидких средах механически прочных округлых зерен) глауконiты представляют собой ценное промышленное сырье различного назначения.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Дриц В.А., Сахаров Б.А.* Рентгеноструктурный анализ смешаннослоистых минералов. Тр.ГИН АН СССР, в.295. М.: Наука, 1976. 256 с.

2. *Канцельсон Ю.А., Ныркова А.А., Якушев В.В.* Связь технологических свойств глауконит содержащих микроконкреций с особенностями их состава и структуры // Рентгенография минерального сырья и строение минералов. М, 1981. С.116-128.

3. *Каменева М.Ю., Ковалева Л.Т., Николаева И.В., Логвиненко В.А.* Структурные изменения минералов группы глауконита при нагревании в квазиизотермических условиях. Тр. Ин-та геологии и геофизики АН СССР. Сиб. отд-ние. 1985. Вып. 610. С. 111-113.

4. *Левченко М.Л., Губайдуллина А.М. Лыгина Т.З.* Структурно – текстурные характеристики природных и активированных алюмосиликатов. //Казань. Вестник Казанского технологического университета. 2009. № 4. С. 58-61.

5. *Левченко М.Л. Дубинчук В.Т.* Использование методов прикладной минералогии при изучении особенностей вещественного состава глауконитсодержащих песков центральных районов России: Сб. тезисов VII конгресса обогатителей стран СНГ. М**.:** МИСиС, 2009. CD-версия.

6. *Николаева И.В.* Минералы группы глауконита и эволюция их химического состава. В кн.: Проблемы общей и региональной геологии. Новосибирск, 1971. С. 320-336.

ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ УЧАСТКА «ЗЕЛЕНАЯ ГОРКА» МЕСТОРОЖДЕНИЯ ТАЛЬКОВОГО КАМНЯ «ОЗЕРКИ» (СЕВЕРО-ЗАПАДНАЯ КАРЕЛИЯ)

Гаранжа А.В.

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

Месторождение талькового камня «Озерки», расположенное в пределах территории административно подчиненной г. Костомукши (северо-западная Карелия), было открыто в результате поисково-оценочных работ сотрудниками Института геологии КарНЦ РАН совместно с коллегами из Геологической службы Финляндии. По конкурсу лицензию на проведение поисково-оценочных работ получила российская компания ЗАО «ИНКОД».

Рекогносцировочные и частично поисковые работы в пределах юго-западной части Костомукшской зеленокаменной структуры проводились по проекту КОССТОУН (KOSSTONE PROJECT – Model of stone industry co-operation in the region of Euregio Karelia) в 2004-2005 г.г. Рекогносцировочными маршрутами было установлено

рудное поле «Озерки» с перспективными участками для поисково-оценочных работ на тальковый камень. В пределах участков «Озерки-1» и «Зеленая горка» по договору с фирмой-лицензиатом ЗАО «ИНКОД» сотрудники Института геологии в 2005-2008 провели оценочные работы. В 2010 г. был защищен отчет и утверждены запасы блочного камня. На участке «Зеленая горка» запасы составляют по кат. C_1 — 790,4 тыс. $м^3$, по кат. C_2 — 244,0 тыс. $м^3$, [5]. В настоящее время участок «Зеленая горка» подготовлен к опытно-промышленному освоению.

Краткие сведения о геологическом строении района

Костомукшский зеленокаменный пояс расположен в центральной части Костомукшского блока Западно-Карельского домена, в строении которого преобладают высокометаморфизованные гранито-гнейсовые комплексы с сохраненными реликтовыми синформами, сложенными лопийскими (мезоархейскими) породами (рис. 1). В связи с тем, что здесь обнаружено крупное железорудное месторождение, в разные годы проводились геолого-тематические исследования, история которых подробно рассмотрена в работе В.Н. Кожевникова [2]. В последние десятилетия важные результаты по особенностям стратиграфии, структуры и метаморфизма территории Костомукшского рудного поля были получены группой исследователей института (Ю.И. Лазарев, В.Н. Кожевников, В.Я. Горьковец, М.Б. Раевская, О.И. Володичев и др.).

В работах С.Б. Лобач-Жученко и др [3] и В.Н. Кожевникова [2] детально проанализированы различные представления относительно стратиграфического разреза и геотектонической природы Костомукшского зеленокаменного пояса.

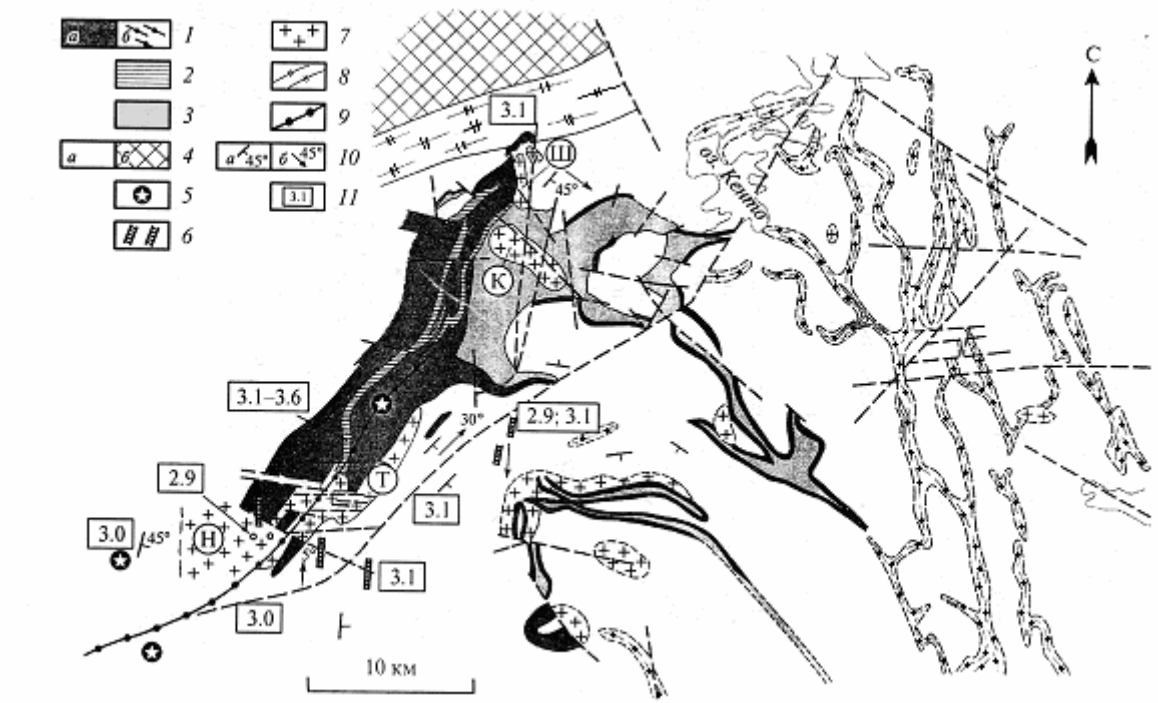


Рис. 1. Схема геологического строения центральной части Костомукшского блока [4].
1 – коматииты и базальты (а), амфиболиты (б); 2 – кислые вулканиты; 3 – парапороды гимольской серии; 4 – породы ТТГ-серии, нерасчлененные по возрасту; 4 – ТТГ (а), эндербиты (б); субщелочной комплекс: 5 – кварцевые монцодиориты, тоналиты, сиениты; 6 – лампрофиры; 7 – массивы гранитов: Ш – Шурловаарский, К – Корпангский, Т – Таловейс, Н – Ниемиярвинский; 8 – трондьемиты; 9 – shear-зона; 10 – плоскостные (сланцеватость, полосчатость) элементы структуры (а), направление погружения шарниров складок (б); 11 – Sm-Nd модельный возраст (TDM) [4].

Данная структура характеризуется двумя сериями: нижняя - существенно вулканогенная (контокская) и верхняя - осадочная (гимольская). Вулканогенная часть разреза сложена породами мафической ассоциации - коматиитами и базальтами, относящейся к рувинваарской свите с возрастом 2843 млн. лет (Sm-Nd, WR). Более молодые кислые вулканиты имеют возраст 2795 млн. лет (Sm-Nd, WR), [4]. Нижняя часть осадочно-вулканогенной серии сложена метагравакками с прослоями железистых кварцитов и углеродистых сланцев, верхняя - ритмично-слоистыми слюдистыми сланцами. Породы вулканогенной и осадочно-вулканогенной серий разделены полимиктовыми конгломератами суккозерской свиты. Верхняя граница пород гимольской серии определяется возрастом прорывающих их плагиопорфиров с возрастом, равным 2707 млн. лет (U-Pb, циркон), [4].

К наиболее изученным гранитным массивам, расположенным в северной части блока, относятся Шурлавааарская и Корпангская интрузии. В западной части Костомукшской структуры расположены небольшие массивы гранитов Таловейс и Ниемиярвинский, также пространственно связанные с супракрустальными породами главной Костомукшской структуры. Ниемиярвинские граниты расположены между двумя полосами основных-

ультрасновных вулканитов и имеют возраст 2720 млн. лет. Гранитный массив Таловейс размещен вдоль юго-восточного контакта метавулканитов (рис. 1). Его возраст соответствует 2700 млн. лет (U-Pb, циркон) [4].

По данным В.Н. Кожевникова [2], формирование современной структуры Костомукшского зеленокаменного пояса происходило в течение ряда деформационных этапов с образованием складчатости, надвигов, shear-зон, зон скалывания и разломов. Эти процессы сопровождались метаморфизмом от амфиболитовой до зеленосланцевой фаций, а также интенсивным метасоматозом.

Более древние метабазальты и коматииты контокской серии, среди которых существенную роль играют ультраосновные вулканиты, имеют наиболее широкое распространение в юго-западной части структуры, (рис. 2). Ультраосновная толща, к которой приурочены тела тальк–карбонатного состава, прослеживается изогнутой прерывистой полосой протяженностью более 12 км, при ширине до 1,5 км. Для нее характерно положительное, сильно дифференцированное магнитное поле интенсивностью 500-2000 нТл на фоне спокойного поля (0-500 нТл), создаваемого вмещающими базальтами. Высокомагнезиальные породы имеют вытянутые линзовидные формы с субвертикальным падением, неоднократно повторяющиеся на дневной поверхности. Такое положение продуктивных тел можно рассматривать как пачку лавовых потоков, смятую в крупные складки и срезанную эрозией. Тела талькового камня с низкой твердостью занимают в пространстве, как правило, отрицательные формы рельефа, а их коренные выходы встречаются крайне редко. Протяженность тел варьирует от первых десятков метров до 500 м, мощность от 10 до 150 м.

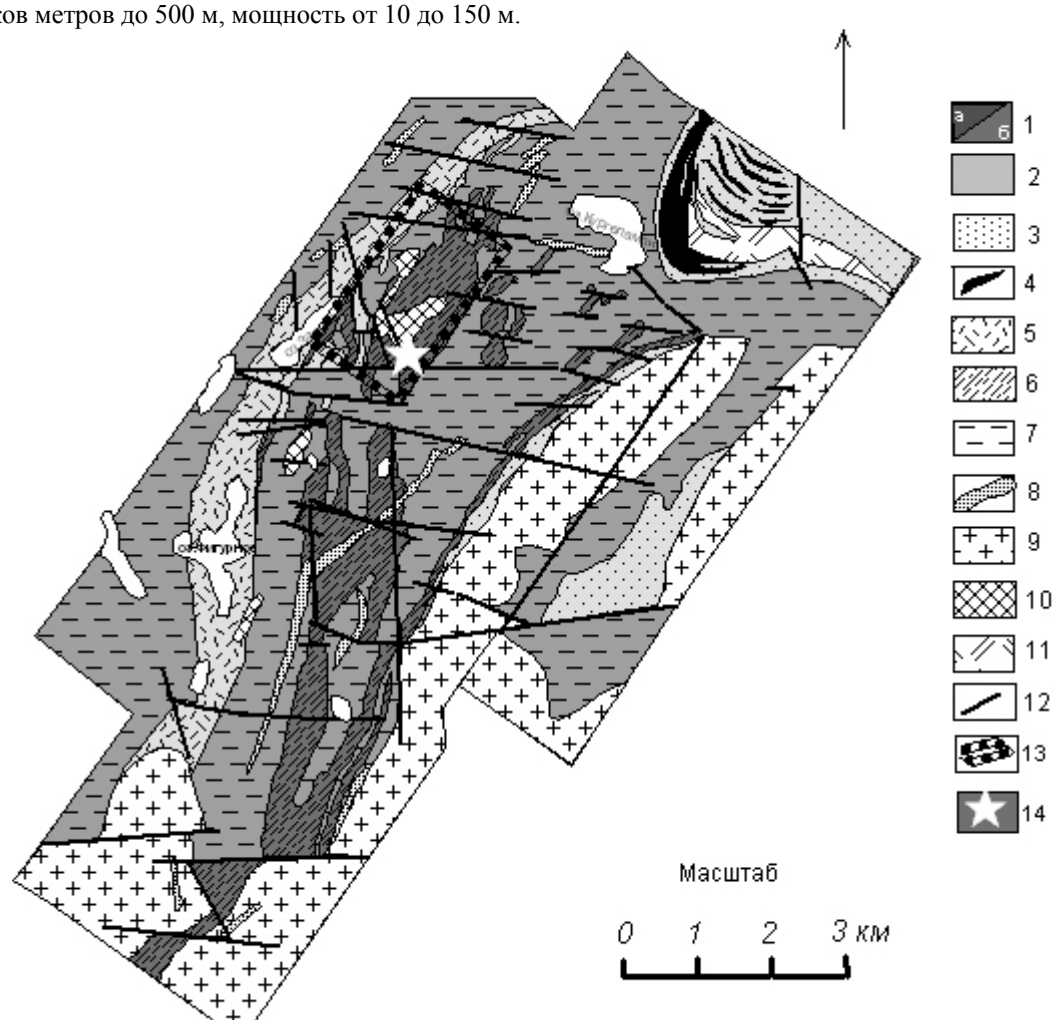


Рис. 2.Схематическая геологическая карта юго-западной части Костомукшской зеленокаменной структуры [5]

Условные обозначения: 1 – контокская серия (а – ультраосновная, б – базальтовая толща); 2 – гимольская серия (железисто-кремнистая сланцевая толща); 3 – нерасчлененные породы по хемогенным осадкам: преимущественно магнетитсодержащие кварц-биотит-амфиболовые сланцы с пластами железистых кварцитов, реже углеродистых сланцев, колчеданных руд; 4 – железистые кварциты (Центральный участок Костомукшского месторождения); 5 – нерасчлененные вулканиты и субвулканические образования кислого состава (кварцевые плагиопорфиры); 6 – нерасчлененные ультрамафиты: преимущественно хлорит-тремолитовые породы по коматиитам; 7 – амфиболиты по базальтам;8 – дайки габбродиабазов и габбро-амфиболитов; 9 – массив («внешний») гранитов Таловейс; 10 – массивы («внутренние») диорит-гранодиоритового состава; 11 – геллефлинты и плагиопорфиры; 12 – разрывные нарушения; 13 – площадь исследований «Озерки»; 14 – участок «Зеленая горка».

Геологическое строение участка «Зеленая горка»

Участок, площадью около 15 га, представляет собой возвышенный юго-восточный склон высоты 263.0 с пологим рельефом, через центральную часть которого проходит лесовозная дорога. Четвертичные образования представлены ледниковыми отложениями в виде супесей, содержащих валунно-галично-гравийный материал примерно до 30%. Обнаженность участка слабая, коренные выходы, в основном, представлены метабазальтами.

Наибольшую площадь поверхности территории (около 75%) занимает морена, покрытая смешанным лесом, не менее 15% - болотные отложения. Болотные образования представлены разновидностями сфагнового торфа. Их мощность достигает 4 м, средняя около 1,5 м. Ложе торфа, как правило, представляет морена. Элювий физико-химического типа состоит из смеси суглинисто-глинистого материала с разноразмерными неокатанными обломками подстилающих пород, нередко талькового камня. Этот факт лежит в основе валунного поиска на данный вид сырья. Обломки мягкой породы (талькового камня), согласно опыту финских геологов, редко можно обнаружить далее чем за две, три сотни метров от их коренных выходов.

В геологическом строении данного объекта принимают участие вулканогенные комплексы пород (базальтовая и ультраосновная толщи), представляющие на уровне денудационного среза фрагмент линейно-вытянутой полосы северо-восточного простирания. Стратиграфически данные образования относятся к верхней толще рувинваарской свиты контокской серии, представленные мафитами (рис. 3).

Вулканогенные образования включают в себя вулканиты основного состава (метабазальты и дифференцированные коматииты), среди которых, по данным бурения, отмечаются небольшие вытянутые дайкообразные тела метагаббро. В северо-восточной части участка расположено относительно крупное (примерно 300 х 400 $м^2$) секущее вулканиты тело амфиболизированного метагаббро, относимое к раннепротерозойскому корпангскому габбронорит-габбровому комплексу.

В результате неоднократных деформаций в юго-западной части Костомукшского пояса (надвиговые процессы, сдвиговые деформации, разрывная тектоника) субвертикально залегающая ультрамафитовая толща разбита на тектонические блоки. Азимут простирания пород в пределах участка имеет северо-восточное направление при субвертикальном падении. Разрывные нарушения отражаются геомофологическими формами рельефа.

Метабазальты

Метабазальты представляют собой мелкозернистые рассланцованные темно-серые сланцы, перемежающиеся с массивными породами (мощностью до 10 метров) с неясно выраженной реликтовой текстурой шаровых лав. Эти породы, ограниченно распространенные в пределах площади месторождения, претерпели метаморфизм эпидот-амфиболитовой, амфиболитовой фаций [1], и были превращены в полевошпат-роговобманковые сланцы. Породообразующими минералами являются роговая обманка (60-75%), плагиоклаз (20-30%), эпидот (до 10%). Из рудных минералов встречается магнетит, хромит, ильменит (1-5%). К акцессорным минералам относятся сфен, апатит и рутил (ед. зерна). Коренные выходы метабазальтов образуют собой гряды до 2-3 м высоты, ограничивающие толщу лавовых потоков переменного ультраосновного состава с С-З и Ю-В сторон и ориентированы согласно основной структуре.

Метакоматииты

Вулканиты с массивной текстурой и спинифекс-структурой, слагающие западную полосу в пределах вулканогенной контокской серии или мафической пластины, относятся к перидотитовым коматиитам [4]. Находки в отдельных обнажениях, а также в керне коматиитов структурно-текстурных особенностей (контракционные, массивные, спинифекс-структуры, автобрекчии), указывают на дифференциацию в потоках от нижней части к верхам.

В пределах распространения коматиитовых лавовых потоков выделены три отличные друг от друга по содержанию породообразующих минералов и текстурно-структурным особенностям разновидности тальксодержащих пород, имеющие условные границы. В табл. 1 представлен химический состав коматиитов.

Таблица 1. Химический состав коматиитов участка «Зеленая горка»

№	Содержание оксидов, %													
пробы	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	H_2O	nnn	P_2O_5	сумма
кл-58	41.6	0.29	4.63	2.26	5.6	0.092	28.96	2.16	0.02	0.005	0.19	13.43	0.13	99.87
кл-56	43.88	0.38	5.83	2.82	6.32	0.14	26.18	3.89	0.14	0.02	0.45	9.31	0.05	99.9
кл-45	42.47	0.23	3.35	2.1	4.88	0.11	26.87	5.04	0.02	0.002	0.22	13.92	0.17	99.82
кл-50	44.38	0.4	6.57	2.27	7.18	0.087	27.34	1.44	0.05	0.003	0.21	9.37	0.05	99.92
кл-48	40.4	0.16	4.89	1.5	4.74	0.103	28.17	4.9	0.02	0.002	0.15	14.53	0.04	99.99

Анализы выполнены в химической лаборатории ИГ КарНЦ РАН

Примечание: кл-58, кл-50, кл-48-соответствуют породам из кумулятивной части потока; кл-56, кл-45 - соответствуют коматиитам кровельной части потока со спинифекс-структурой.

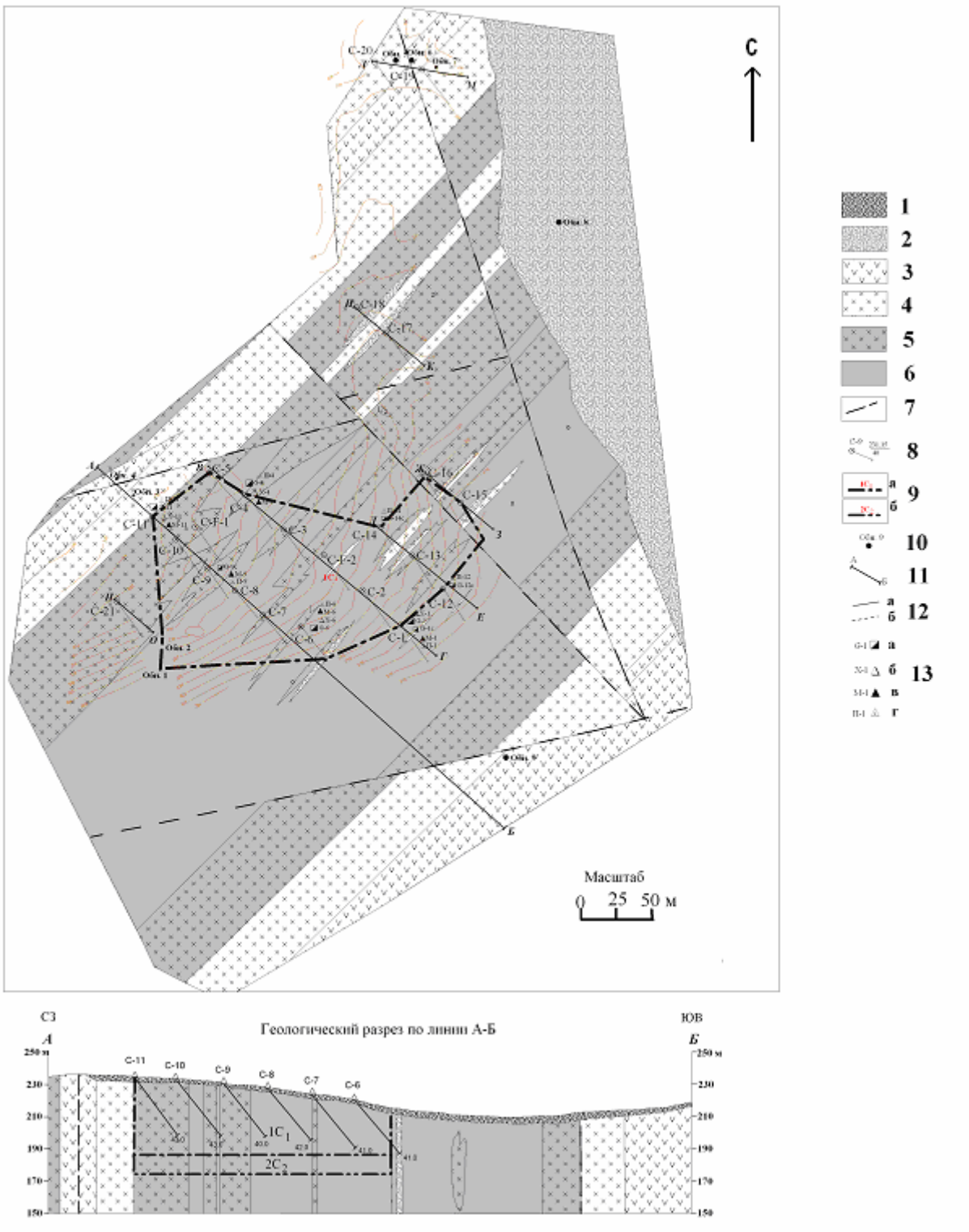


Рис. 3. Геологическая карта участка «Зеленая горка», составитель Гаранжа А.В. (2009 г), [6].
1 - морена (на разрезе); 2 - метагаббро (палеопротерозой). 3-6 - вулканогенный комплекс (мезо-неоархей), контокская серия рувинваарской свиты, включающий метабазальты (3) и дифференцированные потоки коматиитов (4 - тальк-хлорит-амфиболовые, хлорит-карбонат-амфиболовые, хлорит-амфиболовые породы; 5 - карбонат-амфибол-тальк-хлоритовые, амфибол-карбонат-тальк-хлоритовые породы; 6 - карбонат-хлорит-тальковые, хлорит-карбонат-тальковые породы); 7 - тектонические нарушения; 8 - скважина бурения, проекция на дневную поверхность; 9 - контур подсчета запасов категории C_1 (а), запасов категории C_2 (б, на разрезе); 10 - номера обнажения; 11 - линия геологического разреза; 12 - геологические границы установленные (а), предполагаемые (б); 13 - точки отбора проб: для физико-механических испытаний (а), на химический анализ (б), на минералогические исследования (в), на петрографические исследования (г).

1). Хлорит-тремолитовые сланцы с серпентином и карбонатом, характеризуются малым содержанием талька. Структура пород порфиробластовая, нематолепидобластовая, лепидонематобластовая. Текстура сланцеватая. Фиксируются спинифекс-структуры, в которых первичные минералы (оливин, пироксен) замещены серпентином, тремолитом хлоритом и тальком. Ориентированные пакеты псевдоморфоз в виде темных и светлых полос по границам сопровождаются цепочками мелких кристаллов магнетита. Основные породообразующие минералы: амфибол (тремолит-актинолит) до 50%, хлорит до 30%, карбонат до 30%. Второстепенные: серпентин до 10%, тальк до 10%, рудные минералы, в основном магнетит - до 10%. Карбонатные минералы представлены кальцитом, доломитом, реже магнезитом.

2). Хлорит-тремолит-карбонат-тальковая породы имеют переменные соотношения основных породообразующих минералов, но суммарное содержание талька и карбоната значительно выше, чем в хлорит-амфиболовых сланцах и составляет более 50%. В этом типе пород также встречаются спинифекс-структуры в виде веерообразные и параллельно пакетных форм. Текстура преимущественно сланцеватая, реже массивная. Содержание основных породообразующих минералов: хлорит – 10%, тальк – 30-40%, тремолит-актинолит в среднем 15-20%, карбонат 20-30%. Рудные минералы магнетит, реже ильменит, хромит - до 10%. Существенная часть карбонатов в основной ткани относится к магнезиту, а доломит и кальцит отмечаются лишь в карбонатных зонах и прожилках.

3). Хлорит-карбонат-тальковая порода (тальковый камень), варьирующая по содержанию основных породообразующих минералов и размеру зерен, является преобладающей на месторождении. Структурно-текстурные особенности довольно выдержанные. Структура порфиробластовая (за счет крупных зерен магнезита), структура основной ткани – лепидобластовая, лепидогранобластовая. Текстура – массивная, сланцеватая. Содержание основных породообразующих минералов: тальк – от 25% до 60%, карбонат (магнезит) – от 20 до 50-60%, хлорит – от 5-15 %. Рудные минералы представлены в основном пылевидным магнетитом, реже хромитом и ильменитом.

Изменения состава первичной породы происходили за счет метаморфических и метасоматических процессов под воздействием растворов с SiO_2 или CO_2, поступающих, вероятно, из ближайшей гранитной интрузии Таловейс и по проницаемым зонам связанными с глубинными разломами. Краевые участки структуры, примыкающие к базальтам и представленные хлорит-амфиболовыми, низкомагнезиальными сланцами, вероятно, образовались по лавам коматиитовых базальтов.

Зоны со структурами спинифекс, содержащие веерообразные и параллельно пакетные формы, приурочены к хлорит-карбонат-тальк-тремолитовым сланцам, и имеют небольшую мощность - до 1 метра. Такие особенности породы характерны для верхних, кровельных частей лавовых потоков, которые, в пределах участка, отмечены с С-З стороны толщи.

Минералого-петрографический анализ материала по керну позволяет рассматривать площадь месторождения как серию дифференцированных лавовых потоков, в характере которых отражается зональное строение. Продуктивная толща, внутри потоков, массивной карбонат-тальковой породы, с наиболее высоким удельным весом и более высоким содержанием MgO, составляет их кумулятивные зоны. Данные бурения показали, что мощность потоков от краевых (базальтовых) частей к центру существенно возрастает. Также увеличивается мощность наиболее продуктивных зон талькового камня, составляющих от 30 до 50 м.

В процессе бурения по отдельным скважинам среди коматиитов фиксируются зоны талькитовых сланцев мощностью до 1 метра, образование которых предположительно связано с более поздними метасоматическими процессами, формирующими локальную зональность. Более детальный анализ даст возможность оценить запасы и качество талькитов, а селективный подход в процессе добычи талькового камня позволит попутно получать дополнительный вид сырья.

Заключение

Рассматривая область месторождения с позиций вещественных составов пород и их объемов в разрезе, можно предположить, что порционные выбросы дифференцированных лавовых потоков различных составов имели закономерно повторяющийся порядок. Это привело к формированию определенной зональности, которая на уровне современного среза представляет собой нарастающие по мощности коматиитовые потоки от краевых зон к центральной части, окаймленные по периферии вулканитами более основного состава (коматиитовые базальты и базальты).

ЛИТЕРАТУРА

1. Горьковец В.Я., Раевская М.Б. Костомукшский неоархейский зеленокаменный пояс // Гранит-зеленокаменные системы архея и поздние их аналоги: Материалы научной конференции и путеводитель экскурсий. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2009.

2. Кожевников В.Н. Архейские зеленокаменные пояса Карельского кратона как аккреционные орогены. Петрозаводск: КНЦ РАН, 2000. 223 с.

3. Лобач-Жученко С.Б., Арестова Н.А., Милькевич Р.И., Левченков О.А., Сергеев С.А. Стратиграфический разрез Костомукшской структуры Карелии (верхний архей), реконструкция на основе геохронологических, геохимических и изотопных данных // Стратиграфия. Геологические корреляции. 2000а. Т. 8, № 4. С.3-10.

4. Ранний докембрий Балтийского щита. СПб.: Наука, 2005. 711 с.

ФОНДОВАЯ ЛИТЕРАТУРА

5. Фурман В.Н. Отчет о результатах поисковых работ на золото, проведенных в южной части Костомукшской зеленокаменной структуры в 1988-2001 г.г. 2002, Фонды Кар ТФГИ.

6. Шеков В.А. и др. Отчет о результатах поисково-оценочных работ на месторождении талькового камня «Озерки» (Облицовочный камень), проведенных на территории административного подчинения города Костомукша Республики Карелия в 2005—2008 гг. 2010, Фонды Кар ТФГИ.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТАЛЬКОВОГО КАМНЯ УЧАСТКА ОЗЕРКИ-1 КОСТОМУКШСКОЙ ЗЕЛЕНОКАМЕННОЙ СТРУКТУРЫ КАК СЫРЬЯ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ КЕРАМИКИ

Ильина В.П., Лебедева Г.А., Климовская Е.Е., Инина И.С.

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

В пределах юго-западной части Костомукшской зеленокаменной структуры в результате поисково-оценочных работ сотрудниками Института геологии КарНЦ РАН совместно с коллегами из Геологической службы Финляндии было открыто месторождение талькового камня «Озерки», в пределах которого выделены участки: «Озерки-1» и «Зеленая горка». На этих участках по договору с фирмой-лицензиатом ЗАО «ИНКОД» сотрудники Института геологии в 2005-2008 провели оценочные работы, в 2010 г. утверждены запасы блочного камня (см ст.А.В. Гаранжи в наст. сборнике).

Костомукшская зеленокаменная структура сложена мезо-неоархейскими супракрустальными образованиями: преимущественно вулканитами в «западной» полосе и осадочными породами в восточной дугообразной ветви. Выявленные в данной структуре проявления талькового камня Озерки-1 и Зеленая горка приурочены к коматиитам рувинваарской свиты контокской серии. По данным бурения тальковый камень сформировался по переслаивающимся маломощным дифференцированным лавовым потокам коматиитов со спинифекс структурой.

Залежи представляют собой дифференцированные крутопадающие пластообразные тела северо-восточного простирания размером 130×300 м и 350×450 м соответственно, согласно залегающие среди толеитовых метабазальтов.

Тела талькового камня участка Озерки-1 преимущественно сложены породами хлорит-карбонат-талькового и карбонат-тремолит-хлорит-талькового состава с подчиненным развитием тремолит-хлоритовых разностей. Тремолит-*хлоритовые* породы образуют небольшие по мощности (от 2 до 20 м) линзообразные и пластовые тела в толще тальксодержащих пород и, вероятно, являются останцами, не затронутыми тальк-карбонатными изменениями. *Карбонат-тремолит-хлорит-тальковые* породы являются переходными разностями, в значительной степени оталькованными и карбонатизированными. Отмечается отчетливое замещение амфибола тальком и карбонатом. *Карбонат-хлорит-тальковые* породы являются наиболее измененными мелко– и тонкозернистыми разновидностями массивной и сланцеватой текстуры.

Широкие возможности применения талькового камня, в т.ч. карьерных отвалов, имеет промышленность строительных материалов и, в частности, производство строительной керамики. Керамическая промышленность России потребляет 20-30 млн. тонн минерального сырья в год [1]. По результатам патентных исследований добавки тальковых концентратов [2], тальковых сланцев [3] и отходов тальковых карьеров [4] в плиточные массы способствовали повышению механической прочности, термостойкости, увеличению интервала обжига и снижению усадки. Добавка талько-хлоритовых сланцев в кирпичные массы значительно повышает морозостойкость и снижает усадку кирпича [5]. Умеренные добавки талька в керамические массы для облицовочных плиток способствуют повышению термостойкости изделий и предупреждают образование трещин в глазурном слое, а также устраняют изменение объема черепка во влажной среде [6].

С целью исследования возможности применения в строительной керамике как основных разновидностей тальксодержащих пород месторождения «Озерки», так и отходов (при добыче блоков не менее 50% горной массы будет скапливаться в отвалах) от добычи блочного камня нами были отобраны пробы разного минерального состава из керна скважин участка «Озерки – 1». Химические составы проб приведены в табл. 1.

Минеральный состав пород определен с использованием оптической микроскопии, рентгенофазового анализа (рис. 1), дериватографии (рис. 2), а также с помощью электронного микроскопа VEGA 2 LSH с приставкой для микроанализа при увеличении, главным образом, в пределах 150–1200 раз, реже до 2000–4000 раз (рис.4). Рентгенофазовый анализ проведен на автоматическом дифрактометре ДРОН – 3М, на медном излучении с никелевым фильтром, в области углов 2θ = 6-70. Дифференциально-термический анализ (ДТА) выполнен на дериватографе марки Q – 1500 D в области температур 20-900^{o}C. Химические анализы пород выполнены в ИГ КарНЦ РАН (аналитики: Г.К. Пунка, Н.В. Питкя).

Таблица 1. Химические составы проб талькового камня участка Озерки

Оксиды	Пробы талькового камня (№ скважины, глубина отбора пробы)			
	1	2	3	4
	OZ-010, (гл. 6,95 м.)	OZ-005 (гл. 13,06-13,38 м.)	OZ-008 (гл. 11,25 м.)	OZ-010 (гл. 37,2-37,39 м.)
SiO_2	44,76	40,04	39,43	39,06
TiO_2	0,32	0,39	0,25	0,55
Al_2O_3	4,77	7,00	4,37	8,29
Fe_2O_3	1,82	2,51	2,45	5,25
FeO	6,32	7,18	5,63	9,34
MnO	0,108	0,137	0,132	0,142
MgO	28,16	27,04	26,40	24,50
CaO	3,38	4,60	6,37	4,39
Na_2O	0,04	0,05	0,02	0,18
K_2O	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
H_2O	0,32	0,24	0,02	0,49
P_2O_5	0,08	0,09	0,12	0,14
CO_2	4,47	4,56	9,7	-
П.п.п.	9,72	10,77	14,54	7,50

При определении количественного минерального состава исследованных пород традиционными методами подсчета под микроскопом возникают трудности, связанные с неоднородным распределением минералов в породах, а также тонкочешуйчатой структурой и сростками минералов. Поэтому данные минералогического анализа корректировались с помощью пересчета химических анализов проб на минеральный состав. Химические составы минералов, которые использовались при расчетах, определены по данным микроанализа как среднее нескольких определений. Количественный минеральный состав исследованных тальковых пород представлен в табл. 2.

Таблица 2. Количественный минеральный состав проб

№ проб	Содержание, %					
	Скважина, глубина	Карбонаты	Хлорит	Тремолит	Тальк	Рудные
1	OZ-010, (гл. 6,95 м)	9	34	7	47	3
2	OZ-005 (гл. 13,06-13,38 м)	10	53	15	18	4
3	OZ-008 (гл. 11,25 м)	21	33	-	42	4
4	OZ-010 (гл. 37,2-37,39 м)	< 1	55	33	5	7

Методом микроанализа установлено, что карбонатные минералы представлены, главным образом, доломитом, кроме того, в пробе 3 в незначительном количестве присутствуют кальцит и брейнерит. Рудные минералы состоят, главным образом, из магнетита и ильменита. Различия в минеральном составе пород четко отражаются на рентгенограммах (рис. 1).

Для определения влияния минерального состава пород на свойства и структуру керамики были исследованы двухкомпонентные керамические массы, содержащие в качестве наполнителя 30% породы, а в качестве пластифицирующего компонента 70% местной полиминеральной глины Ивинского месторождения (уч. Ладвинский). Химический состав глины: SiO_2 – 61,44; TiO_2 – 0,85; Al_2O_3 – 17,12; F_2O_3 – 4,25; FeO – 1,18; MnO – 0,093; MgO – 2,44; CaO – 1,23; Na_2O – 1,82; K_2O – 3,01; P_2O_5 – 0,23; П.п.п. – 6б,01 (Аналитик Г.К. Пунка). Глины состоят в основном из гидрослюд, кварца, полевых шпатов (альбит – олигоклаз, калиевый полевой шпат), второстепенные минералы – хлорит и амфибол.

Количество наполнителя (30%) в керамической массе было установлено ранее как оптимальное для хорошего спекания масс на основе кембрийской глины Чекаловского месторождения и тальковых пород Сегозеро [7].

Исследование опытных масс осуществлялось по общепринятой технологии. Подготовка шихты включала: сушку, измельчение, просеивание, взвешивание и перемешивание компонентов в лабораторной шаровой мельнице до остатка на сите 0,063–1,5%. После суточного вылеживания рабочая влажность масс составляла 18–20%. Из масс формовались плитки размером 50 × 50 × 8 мм.

Плитки подвергались предварительной сушке при 105^{o}C, а затем обжигались в лабораторной силитовой печи КО–14 при 950–1050^{o}C, (в соответствие с температурой обжига при производстве керамического кирпича – 950 и облицовочной плитки – 1050^{o}C в производстве). Средняя скорость подъема температуры составляла 2-3 град/мин., выдержка образцов в печи при достижении необходимой температуры – 40 мин. Образцы охлаждались вместе с печью. Физико-механические свойства образцов определялись в соответствии с ГОСТ 6141-91 «Плитки керамические облицовочные для внутренней облицовки стен» и ГОСТ 530-95 «Кирпич и камни керамические».

По данным ДТА в температурном интервале до 900^0С во всех пробах отмечаются эндоэффекты (при 603^0–620^0 и 863^0-869^oС), обусловленные дегидратацией хлоритов и экзоэффекты (при 886^0, 889^0, 891^0, 894^0), связанные с его перекристаллизацией. В пробах 1-3 эндоэффекты (795^0, 809^0,810^0, 826^oС), обусловлены разложением карбонатов с выделением CO_2 (рис. 2).

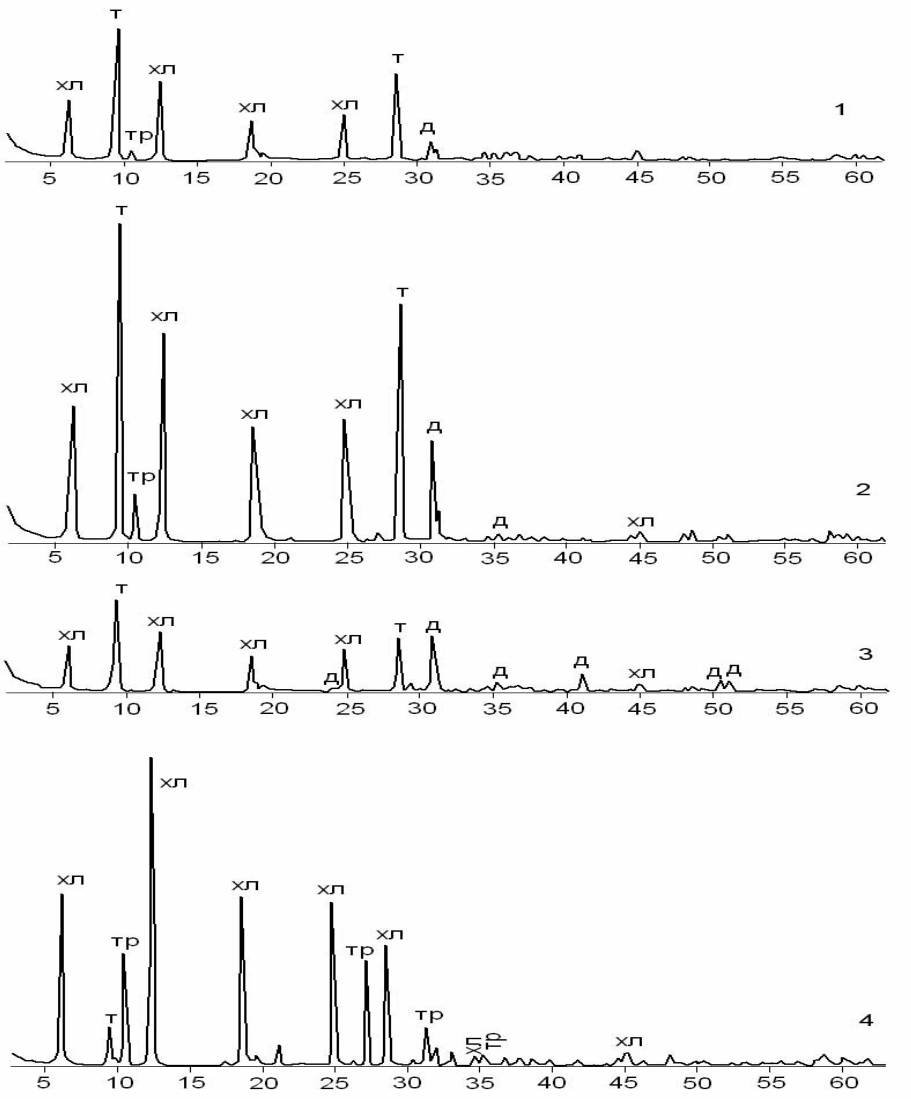


Рис.1. Дифрактограммы исходных проб (1-4) тальксодержащих пород участка «Озерки-1»

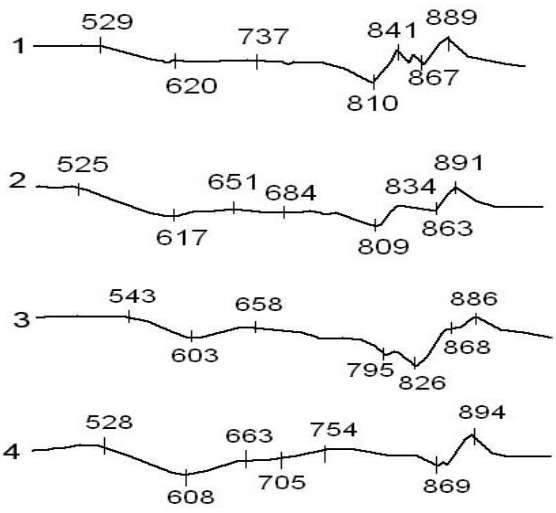


Рис.2. Дериватограммы проб (1-4) тальксодержащих пород участка «Озерки-1»

Согласно данным А.И. Августиника [8] дегидратация талька с образованием энстатита и кристобалита происходит при 960°С; тремолит распадается в интервале температур 930–980°С с потерей воды и образованием субкальциевого авгита ряда диопсид-клиноэнстатит и кремнезема [9].

В соответствии с этими данными на рентгенограммах керамики, полученной при 950°С, отсутствуют линии хлорита и карбонатов; в образцах, содержащих пробы 1, 2, 4 (табл.2), отмечаются линии талька и тремолита в образце с пробой 3 – талька. Кроме того, во всех образцах присутствуют линии минералов, содержащихся в исходной глине: кварц, слюда, полевые шпаты. После обжига при 1050°С: в образцах с пробами 1-3 кроме кварца и полевых шпатов присутствует клиноэнстатит, образовавшийся за счет распада талька; в керамике с пробой 4 – авгит (рис. 3), образовавшийся при разложении тремолита. В образцах 1, 2, 4 отмечаются также линии гематита, который является продуктом окисления магнетита.

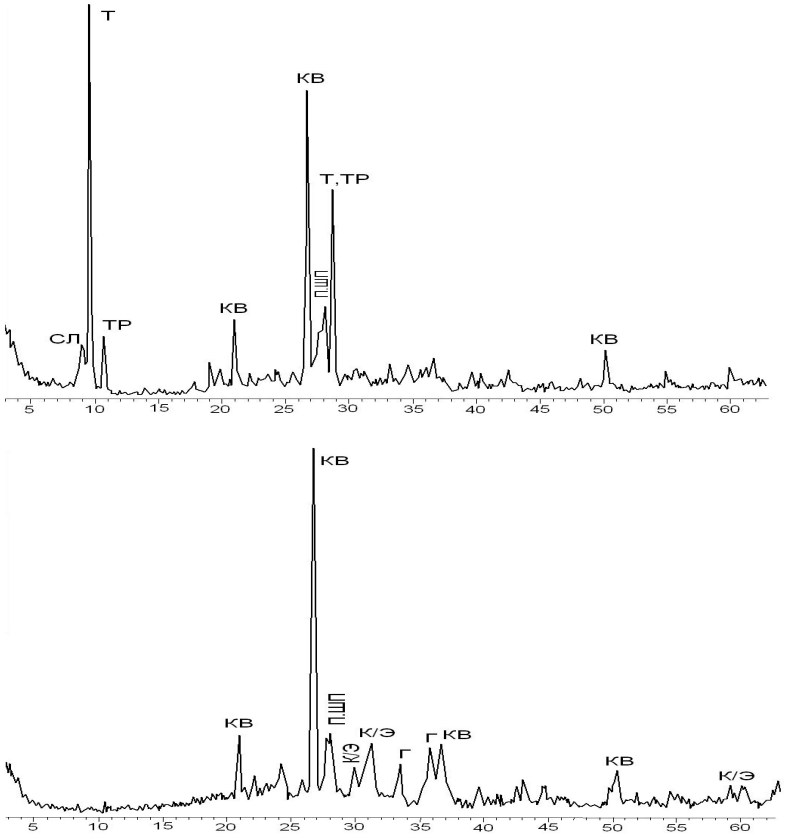
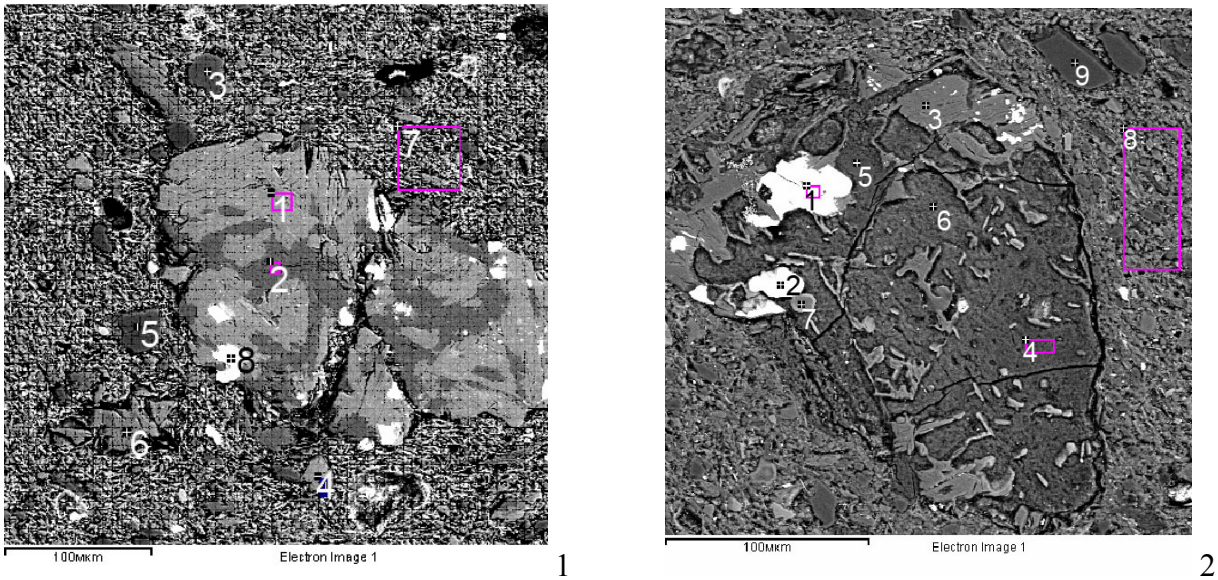


Рис. 3. Дифрактограммы керамики с пробой 4 после обжига при 950 и 1050°С

По данным электронной микроскопии с увеличением от 500 до 2000 раз образцы керамики имеют неравномернозернистую структуру, состоят из тонкозернистой связующей массы с размером зерен <10 мкм и вкрапленных в нее более крупных зерен от 10 до 300 мкм. В образцах, обожженных при 1050°С тонкодисперсная масса остеклована. Присутствие стеклофазы в керамике (составы 1-4) при 1050°С подтверждает гало на дифрактограммах (рис. 5).

Крупные зерна, присутствующие в глинистом сырье и наполнителе у всех образцов состоят из кварца, полевых шпатов, талька, измененного хлорита, тремолита, рудных минералов (рис.4).

Очевидно в керамике после обжига при 1050°С процессы распада минералов (хлорита, талька, тремолита, магнетита), установленные по данным ДТА и РФА, относятся к тонкодисперсным (менее 0,005 мм) фракциям, а крупные зерна этих минералов остаются практически мало измененными.



1 2

Рис. 4. Микроструктура керамики с пробой 2: 1 – обжиг при 950 (1-тремолит, 2– тальк, 3,5 – альбит, 4– калиевый полевой шпат, 6– хлорит, 7– мелкозернистая связующая масса, 8 – магнетит), 2 – при 1050°С (1– магнетит, 2– титаномагнетит, 3– хлорит, 4,6 – доломит, 5– тальк, 7– измененный хлорит, 8– аморфная фаза, 9 – кварц)

Основная связующая масса в керамике, по данным электронной микроскопии, имеет сложный алюмосиликатный состав, включающий (масс.,%): SiO_2 46,4-57,5; TiO_2 0,5-1,36; $Al_2O_3$18,0-18,8; $FeO+Fe_2O_3$ 5,2-7,4; CaO 1,2-1,9; MgO 4,3-7,4; Na_2O 1,2-2,0; K_2O 2,3-3,5. По сравнению с составом исходной глины связующая масса содержит больше MgO и меньше SiO_2 вследствие присутствия в мелких фракциях магнезиальных силикатов и продуктов их распада. Свойства образцов керамики с исследованными наполнителями представлены в табл. 3.

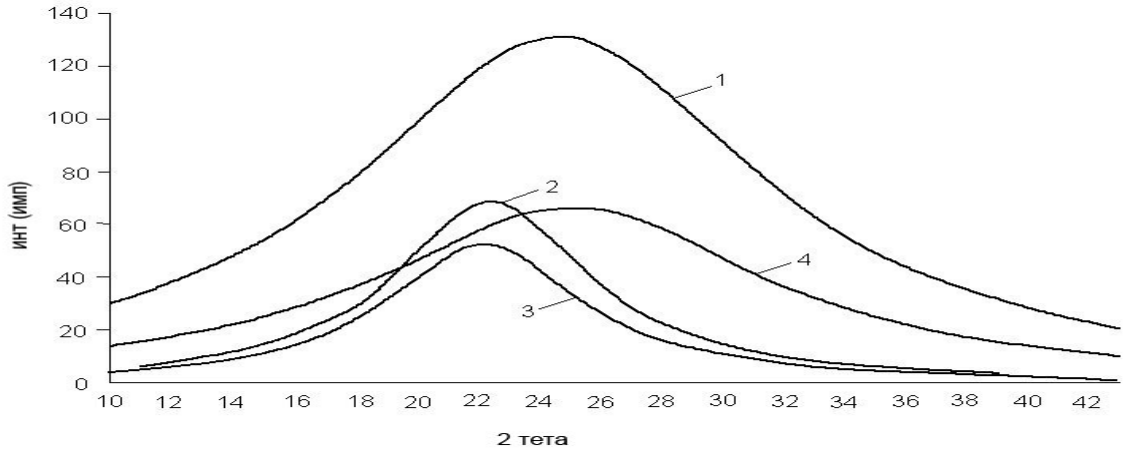


Рис. 5. Дифрактограммы стеклофазы керамики, с пробами талькового камня № 1-4 после обжига при 1050°С

Таблица 3. Свойства керамики с исследованными наполнителями месторождения «Озерки-1»

№ Образца	Обжиг при 950°С				Обжиг при 1050°С			
	Усадка, %	Объемный Вес, г/см^3	Прочность, МПа	Водопоглощение, %	Усадка, %	Объемный Вес, г/см^3	Прочность, МПа	Водопоглощение, %
1	8,31	2,71	21,89	16,85	12,28	2,73	40,08	13,62
2	9,34	2,72	21,36	16,16	11,70	2,74	33,91	12,72
3	9,89	2,71	23,69	16,70	11,64	2,73	37,25	13,26
4	10,13	2,72	26,89	15,81	11,03	2,74	39,68	13,79
5	11,80	2,68	18,44	13,81	12,99	2,73	30,37	9,91

При добавке наполнителя в глину водопоглощение керамики повышается на 2-3% (табл. 3), но при этом значительно увеличивается их механическая прочность. Повышение водопоглощения происходит за счет увеличения пористости черепка в результате разложения минералов, главным образом карбонатов и хлоритов, содержащих летучие компоненты CO_2 и H_2O. В результате термообработки при 950°С повышению прочности способствует образование аморфной фазы, за счет разложения хлорита, улучшающей спекание керамики, а также присутствие зерен тремолита не подвергшихся распаду при низких температурах. Как видно на рис. 6 наибольшую прочность имеет образец 4 с наиболее высоким содержанием хлорита и тремолита. Упрочнение черепка после обжига при 1050°С происходит за счет стеклофазы, образовавшейся в результате эвтектических реакций глинистой составляющей с мелкими фракциями магнезиальных минералов и продуктов их распада. Кроме того, увеличению прочности при 1050°С способствует присутствие в черепке мелких зерен пироксенов: клиноэнстатита (в пробах 1-3, табл. 3) и субкальциевого авгита (в пробе 4), образующихся при перекристаллизации талька и тремолита. Очевидно, клиноэнстатит и субкальциевый авгит, имеющие высокую твердость, армируют стеклофазу.

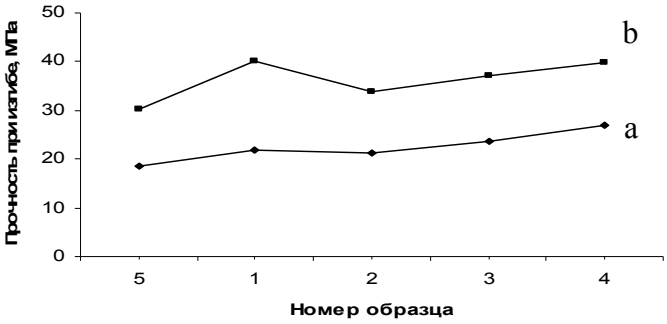


Рис. 6. Зависимость изменения прочности от состава наполнителя: a – 950°С, b – 1050°С, номера образцов соответствуют табл. 3

По основным эксплуатационным характеристикам (водопоглощению и прочности) керамика с тальксодержащими и тремолит хлоритовыми наполнителями, обожженная при 950°С соответствует ГОСТ 530-95 на рядовой кирпич, а обожженная при 1050°С соответствует ГОСТ 6141-91 на облицовочную плитку.

Выводы

В результате исследования фазовых изменений и свойств керамических материалов на основе Ивинской глины (Ладвинский участок, Карелия) с наполнителями из основных разновидностей талькового камня и сопутствующих им тремолит-хлоритовых пород Костомукшской зеленокаменной структуры (на примере участка Озерки-1) установлено:

1. Фазовые превращения в керамике с наполнителями характеризуются тем, что при обжиге в интервале температур 950 – 1050°С происходит дегидратация (талька, тремолита, хлорита), декарбонатизация (доломита, кальцита, брейнерита) и образование новых кристаллических фаз (клиноэнстатита, субкальциевого авгита) вследствие распада талька и тремолита. Эти процессы затрагивают главным образом тонкодисперсные фракции шихты (<0,005 мм).

2. При взаимодействии дисперсных фракций железисто-магнезиальных минералов и продуктов их распада с минералами глины происходят низкотемпературные эвтектические реакции, способствующие процессам спекания и стеклообразования в керамике.

3. Изменения фазового состава при обжиге керамики с исследованными наполнителями обуславливают возрастание механической прочности по сравнению с керамикой без наполнителя. Упрочнению керамики при 1050°С способствует присутствие в черепке мелких зерен пироксенов: клиноэнстатита и субкальциевого авгита, армирующих стеклофазу. Все исследованные наполнители способствуют повышению прочности керамики. При этом наиболее высокую прочность имеет керамика с наполнителями, содержащими большое количество талька (масса 1), либо тремолита (масса 4) (рис. 6).

5. По основным свойствам (водопоглощению, прочности) керамика с наполнителями, как из тальксодержащих пород, так и из тремолит-хлоритовых пород соответствует требованиям ГОСТ на рядовой кирпич и облицовочную плитку.

Проведенные исследования, на примере участка Озерки-1, показали, что основные разновидности тальксодержащих пород и сопутствующие им тремолит-хлоритовые сланцы Костомукшской зеленокаменной структуры являются перспективными видами сырья для строительной керамики.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Буткевич Г.Р.* Возможности расширения минеральной базы и прогнозирование развития подотраслей промышленности строительных материалов. Строительные материалы. № 2. 2007. С.10-11.

2. А.с. 457680 СССР. МКИ. С04В 27/04. Керамическая масса / И.Ф. Проскура, Н.П., Вакарчук // Открытия. Изобретения. 1975. № 3. С.54.

3. А.с. 924010 СССР. МКИ. С04В 33/00; С04В 35/16. Шихта для изготовления химически стойких изделий. / Т.В. Басалкевич, Л.П. Черняк // Открытия. Изобретения. 1982. № 16. С. 106.

4. А.с.1211241. СССР. МКИ. С04В 33/00. Керамическая масса для изготовления облицовочных плиток /Ф.М. Оруджев, М.А. Исмайлов, Э.В. Авалова, Т.М. Мамедов, М.Э. Эфендиев, Ф.М. Лисов // Открытия. Изобретения. 1986. № 6. С. 116.

5. *Соколов В.И.* Талько-хлоритовые сланцы Карелии и пути их комплексного использования. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 1995. 126 с.

6. Химическая технология керамики. Под ред. Проф. И.Я. Гузмана. ООО РИФ «Стройматериалы», 2003. 496 с.

7. *Ильина В.П., Лебедева Г.А., Озерова Г.П., Инина И.С.* Использование техногенного минерального сырья Карелии для получения керамической плитки. Строительные материалы. 2006. С.47-49.

8. *Августиник А.И.* Керамика. Л.: Строиздат, 1975. 590 с.

9. *Дир У.А., Хауи Р.А., Зусман Дж.* Породообразующие минералы. Т. 2. Цепочечные силикаты. М., «Мир», 1965. 406 с.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ МИНЕРАЛОГИИ СРЕДСТВАМИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОПТИКО-ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Нурканов Е.Ю., Петров М.С., Козерчук А.Л., Кадушников Р.М.

УГТУ-УПИ, ООО "СИАМС", г. Екатеринбург

Оптико-геометрический анализ является одним из инструментов технологической минералогии и обычно реализуется двумя способами: ручным или автоматизированным с помощью аппаратных и программных средств.

При ручном способе минералог обычно использует микроскоп с окулярной сеткой и/или с окулярной линейкой (окуляр-микрометром). Соответственно применяется точечный метод Глаголева для подсчета доли минералов, и проводятся измерения линейных размеров зерен. При этом для получения статистически достоверных данных необходимо вручную выполнить измерение сотен и тысяч зерен и агрегатов с помощью окуляр-микрометра (рис. 1).

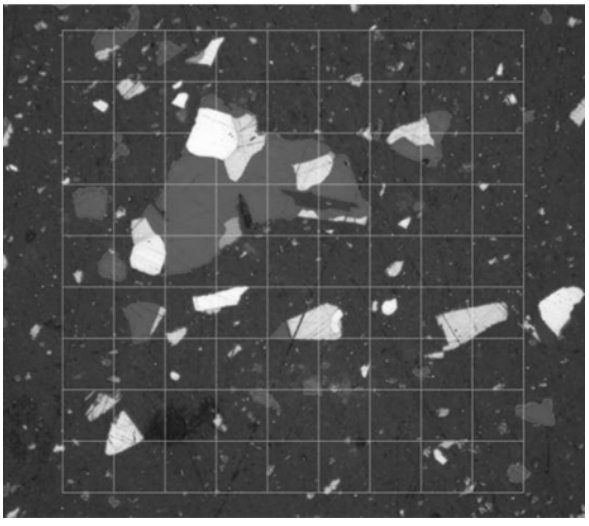


Рис. 1. Узлы сетки окуляр-микрометра.

Трудоемкость ручного метода оптико-геометрического анализа можно показать на следующем примере. Для окуляр-микрометра 10х10 количество узлов сетки составляет 100. При заполнении 10-25% поверхности аншлифа зернами минералов количество узлов сетки, пришедшихся на зерна, будет составлять от 10 до 25. При общем количестве измерений не менее 1000 для получения статистически достоверных результатов необходимо просмотреть от 40 (1000 измерений / 25 узлов сетки) до 100 (1000 измерений /10 узлов сетки) полей зрения на одном аншлифе. Кроме того, на каждом поле зрения

необходимо дополнительно провести измерение размеров зерен и классификацию сростков и их составляющих. Таким образом, при ручном методе оптико-геометрического анализа технически очень сложно за приемлемое время получить структурные, структурно-технологические и режимно-технологические характеристики [1], такие как, например, доля свободных границ зерен, доли границ срастаний одного вида минерала с другими минералами, массовые доли минералов в сростках, соотношения минералов в сростках и т.д.

При автоматизации оптико-геометрического анализа с помощью аппаратных и программных средств встречаются разные подходы. Наиболее простой подход заключается в том, что на цифровом изображении аншлифа на отдельные выбранные зерна оператором вручную накладываются измерительные отрезки-линии «максимального размера» (рис. 2) или же контур зерна обводится вручную. Промежуточные данные наблюдений и измерений записываются в таблицы или в подготовленные заранее листы-шаблоны, после завершения измерений выполняется пересчет данных в готовые результаты.

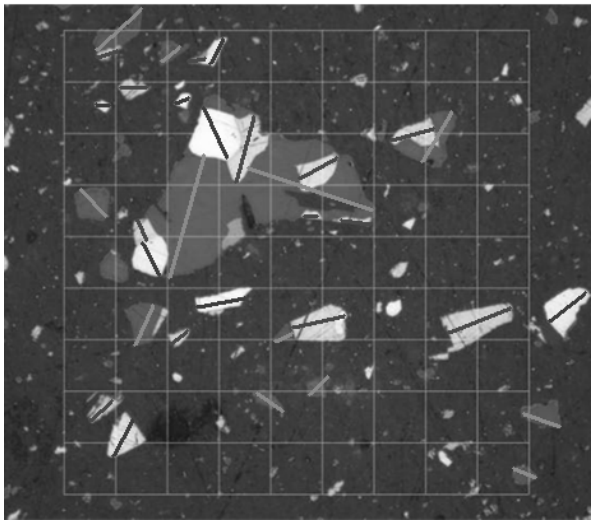


Рис. 2. Ручная обработка цифрового изображения аншлифа: линии «максимального размера» (хорды) на зерна минералов наносятся оператором вручную.

Ограничения такого подхода рассмотрим на следующем примере: оператором на нескольких изображениях вручную наносятся линии "максимального размера" для свободных зерен сначала одного минерала (№ 1), затем другого (№ 2) и далее (№ 3 – N, где N – количество присутствующих минералов). Затем таким же образом указываются зерна минералов в сростках. Количество вариантов сочетаний минералов в сростках есть сумма числа сочетаний из N по k, $2 \le k \le (N-1)$ плюс один сросток из N минералов: $\sum_{k=2}^{N-1} \frac{N!}{k!(N-k)!} + 1$. При N=3 количество возможных вариантов сростков составляет 2·3/2 + 1= 4, при N=4 количество возможных вариантов сростков 11, при N=5 вариантов сростков становится 26. При измерении зерен в сростках отдельный номер-индекс присваивается зерну в сростке – например, при количестве минералов N=3 в сростке минералов № 1+№ 2 зерно минерала № 1 будет иметь номер-индекс 4, зерно минерала №2 будет иметь номер-индекс 5. Таким образом, количество номеров-индексов зерен разных минералов в сростках составляет: $\sum_{k=2}^{N-1} k \cdot \frac{N!}{k!(N-k)!} + N$. При количестве минералов N=3 оператору требуется запомнить номера-индексы 9 вариантов сростков (2·2·3/2 + 3= 9), при N=4 необходимо помнить индексы 28 вариантов, при N=5 – 75 вариантов. Очевидно, что в пробах с 4-мя минералами минералогу придется помнить номера-индексы 28-ми вариантов зерен-в-сростках и правильно записать результаты измерения в 28 столбцов таблицы (технологической карты). Такая задача не только трудоемка, но и становится источником существенных погрешностей следующего содержания:

1. выбор измеряемых зерен осуществляется минералогом – погрешность репрезентативности выборки;
2. неточное указание зёрен – линия на зерне проводится "на глаз";
3. при расчёте массовой доли минералов неизбежна ошибка, связанная с неучитываемой формой зерна – если зерно круглое, то объём считается по одной формуле, а если (практически всегда) имеет другую форму?
4. как следствия предыдущей ошибки – ошибки в вычислении степени раскрытия минерала (доли по массе свободных зерен к массе всех зерен), распределения по классам крупности, качеству сростков.

Кроме того, описанный выше метод не позволяет оперативно получить востребованные структурные, структурно-технологические и режимно-технологические характеристики [1] исходного рудного сырья и технологических продуктов.

Описанные выше проблемы реализации оптико-геометрического анализа и сопутствующие погрешности характерны для массовых универсальных систем анализа изображений, которыми комплектуются оптические микроскопы мировых производителей Carl Zeiss (Axiovision 4.0), Olympus (AnalySiS), Nikon (NIS-Elements, CL-Quant), Leica (QWin). Указанные системы не проектировались для решения задач минералогического анализа и технологической минералогии, поэтому все вопросы по их адаптации полностью зависят от системных функциональных возможностей программного обеспечения.

Для того чтобы оценить адекватность и применимость системы анализа изображений для оптико-геометрического анализа и технологической минералогии, требуется проверка соответствия функциональных возможностей программного обеспечения регламенту минералогического анализа и требуемым показателям. Программное обеспечение (ПО) можно назвать специализированным для задач оптико-геометрического минералогического анализа в том случае, если оно без дополнительной доработки со стороны производителя и пользователя обеспечивает следующие возможности:

1. Анализ представительной выборки технологического продукта; однотипная обработка неограниченного количества полей зрения для набора требуемой статистики по зернам, сросткам и включениям.
2. Анализ во всем диапазоне минерального состава технологического продукта; ПО самостоятельно автоматически диагностирует произвольное количество минеральных фаз.
3. Вмешательство и корректирующие воздействия эксперта могут быть позволены ПО на любой стадии.
4. ПО автоматически рассчитывает показатели и формирует отчеты с результатами оптико-геометрического анализа, в которых содержится:
   4.1. Для каждого минерала: массовая доля, степень раскрытия, доля свободной поверхности, доли поверхностей срастаний с другими минералами, распределение зерен по классам крупности, факторы формы зерен.
   4.2. Для каждого вида сростков (для всех возможных сочетаний минералов в сростках): массовая доля, распределение по классам крупности, массовые доли минералов, составляющих сросток, размеры зерен минералов, составляющих сросток, богатство/качество сростка по отношению к определенному "полезному" минералу.
5. Дополнительные измеряемые и вычисляемые характеристики могут быть добавлены при необходимости.

Из отечественных систем анализа изображений специалисты выделяют две системы, которые специализируются исключительно на задачах оптико-геометрического минералогического анализа и предоставляют указанный перечень возможностей: Видео-Мастер (ООО "НВП Центр-ЭСТАгео") и Минерал С7 (ООО «СИАМС»).

Адекватность и применимость системы анализа изображений для оптико-геометрического анализа и технологической минералогии предлагается рассмотреть на примере функциональных возможностей ПО Анализатора фрагментов микроструктуры твердых тел «Минерал С7»:

1. Анализ представительной выборки и однотипная обработка неограниченного количества полей зрения для набора требуемой статистики обеспечивается технологией электронных таблиц (рис. 3). В ячейки электронной таблицы ПО Минерал С7 автоматически записывается неограниченное количество полей зрения с одного или нескольких аншлифов, которые затем анализируются единообразно, одновременно и автоматически.
2. Анализ производится во всем диапазоне минерального состава технологического продукта. Минеральный состав определяется с помощью методов кластерного анализа по совокупности оптических характеристик, образующих для каждого минерала характеристический кластер. Характеристические кластера запоминаются и записываются ПО Минерал С7 в обучаемый справочник-классификатор минералов (рис. 4), с помощью которого производится автоматическая диагностика минерального состава.
3. Вмешательство и корректирующие воздействия эксперта могут быть позволены ПО Минерал С7 на любой стадии путем двойного клика на ячейке электронной таблицы и автоматического вызова ручного редактора (рис. 5).
4. ПО Минерал С7 автоматически рассчитывает показатели по результатам автоматической классификации и кодирования свободных зерен и сростков. Отдельно выделяется связующая компонента (смола заливки, шеллак и т.д.) и вычитается фон. Далее производится анализ каждого выделенного зерна на предмет сложности его минерального состава, оценивается связность границ каждой минеральной фазы внутри зерна, контакты фаз внутри зерна и т.д. В результате автоматических операций формируется карта свободных зерен и сростков с цветовой маской минерального состава (рис. 6).
   4.1. Карта зерен и минерального состава используется ПО Минерал С7 для автоматического расчета массовой доли минералов, степени раскрытия, доли свободной поверхности, доли поверхностей срастаний с другими минералами, распределение зерен по классам крупности, размеров и факторов формы зерен и т.д. (табл. 1).

4.2. Карта сростков используется ПО Минерал С7 для автоматического расчета распределения зерен в сростках по классам крупности, массовых долей минералов, составляющих сросток, размеров зерен минералов, составляющих сросток, богатство/качество сростка по отношению к определенному "полезному" минералу и т.д. (табл. 2)

5. ПО Минерал С7 позволяет показать в результатах измерений и в итоговом отчете любой структурный, структурно-технологический и режимно-технологический параметр рудного сырья.

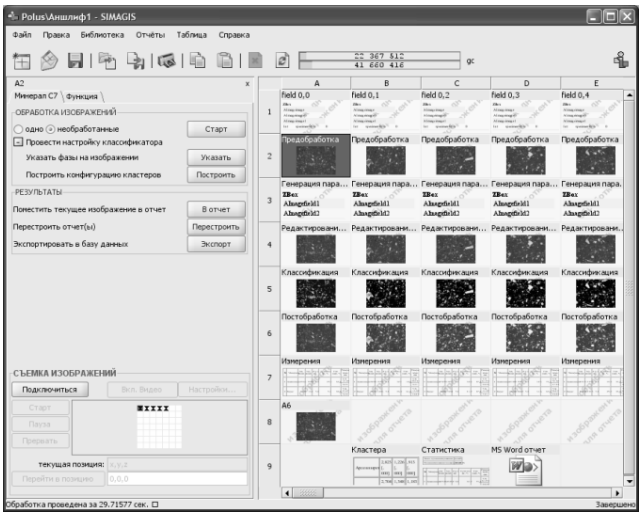


Рис. 3. Интерфейс электронных таблиц ПО Анализатора «Минерал С7»

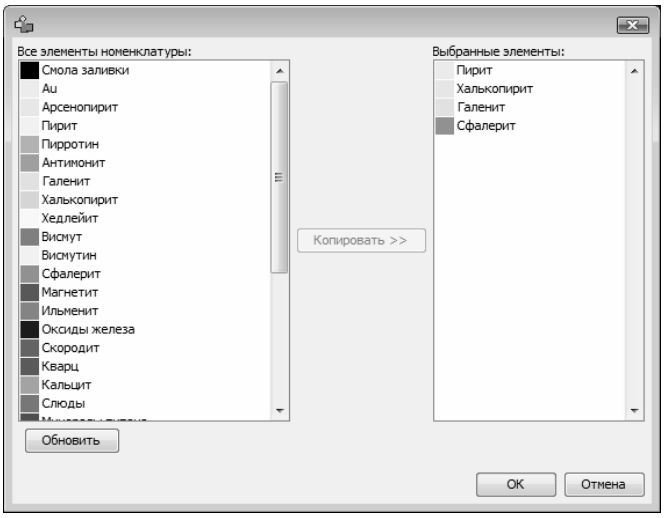


Рис. 4. Обучаемый справочник-классификатор минералов

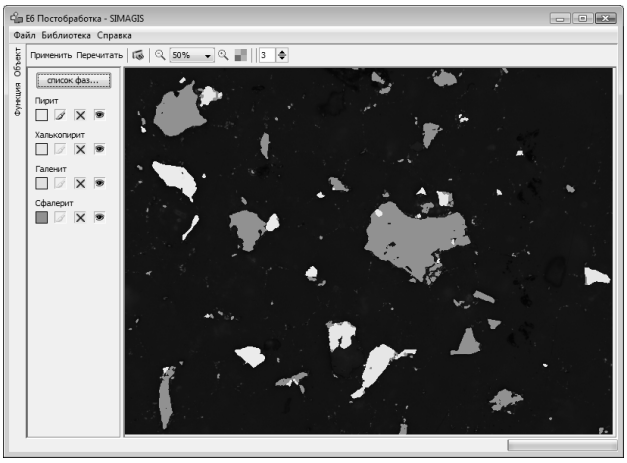


Рис. 5. Ручной редактор минерального состава, связанный с обучаемым справочником-классификатором минералов

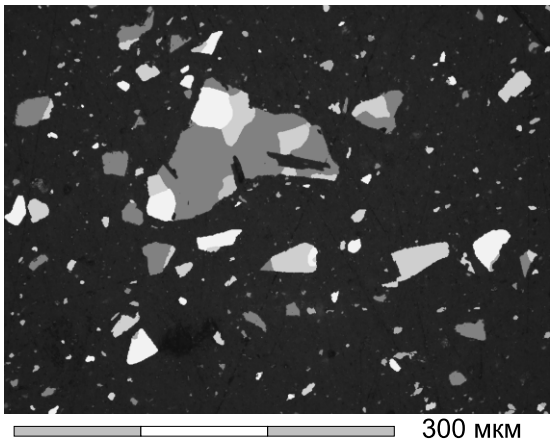


Рис. 6. Карта свободных зерен и сростков с цветовой маской минерального состава

Таблица 1. Пример результатов расчета ПО Минерал С7 минерального состава и показателей раскрытия минералов в рудном сырье

Минерал	Масс. доля, %	Раскрытие, %	Все зёрна		Свободные зёрна	
			Кол-во	Размеры, мкм	Кол-во	Размеры, мкм
Пирит	19,2	47,4	1137	1x1 – 41x87, *45-60=30,5%, 30-45=26,7%, 60-90=23,0%, 20-30=13,2%, 10-20=6,2%, 3-10=0,5%, 0-3=0,0%*	634	1x1 – 41x87, *45-60=29,0%, 30-45=25,5%, 60-90=19,8%, 20-30=16,5%, 10-20=8,5%, 3-10=0,7%, 0-3=0,0%*
Галенит	13,4	43,7	2402	1x1 – 25x66, 1 *0-20=28,8%, 20-30=25,8%, 30-45=18,5%, 60-90=11,2%, 3-10=10,4%, 45-60=5,4%, 0-3=0,0%*	1249	1x1 – 41x63 *10-20=40,6%, 20-30=19,4%, 3-10=18,1%, 30-45=11,3%, 60-90=10,6%, 0-3=0,0%*
Халько-пирит	25,3	34,8	6416	1x1 – 62x181 *90-∞=25,0%, 60-90=23,0%, 45-60=16,5%, 30-45=15,7%, 20-30=9,7%, 10-20=7,0%, 3-10=3,2%, 0-3=0,0%*	4059	1x1 – 87x134 *90-∞=23,6%, 60-90=16,1%, 10-20=14,1%, 20-30=13,8%, 45-60=11,7%, 30-45=11,7%, 3-10=9,0%, 0-3=0,0%*
Сфале-рит	42,1	60,8	14201	1x1 – 32x131 *30-45=28,0%, 45-60=23,1%, 60-90=16,1%, 20-30=14,9%, 10-20=8,3%, 90-∞=7,0%, 3-10=2,5%, 0-3=0,1%*	11615	1x1 – 32x131 *30-45=27,9%, 45-60=20,2%, 20-30=17,4%, 10-20=11,7%, 90-∞=9,7%, 60-90=9,1%, 3-10=3,7%, 0-3=0,2%*

Таблица 2. Пример результатов расчета ПО Минерал С7 характеристик сростков в рудном сырье

Состав сростков	Масс. доля %	Сростки		Составляющие			
		Кол-во	Размеры, мкм	Минерал	%	Кол-во	Размеры, мкм
Галенит + Сфалерит	2,9	162	6x6 – 39x98 *30-45=33,1%, 20-30=18,9%, 10-20=17,7%, 45-60=14,8%, 90-∞=9,6%, 60-90=4,4%, 3-10=1,3%*	Галенит	41,2	170	4x5 – 30x37 *10-20=34,9%, 20-30=32,0%, 30-45=23,9%, 3-10=9,2%*
				Сфалерит	58,8	183	1x1 – 39x98 *45-60=29,3%, 90-∞=24,6%, 30-45=23,5%, 20-30=12,5%, 60-90=6,4%, 10-20=3,1%, 3-10=0,6%, 0-3=0,0%*
Галенит + Халькопирит	3,6	194	6x6 – 62x181 *45-60=22,8%, 20-30=20,6%, 10-20=18,5%, 30-45=15,9%, 90-∞=9,7%, 60-90=8,3%, 3-10=4,3%*	Галенит	55,2	209	3x4 – 37x66 *20-30=29,6%, 45-60=24,1%, 60-90=17,0%, 30-45=14,3%, 10-20=10,9%, 3-10=4,2%*
				Халько-пирит	44.8	221	1x1 – 62x181 *90-∞=57,3%, 45-60=19,3%, 60-90=12,5%, 30-45=8,2%, 10-20=1,2%, 20-30=0,9%, 3-10=0,6%, 0-3=0,0%*

ЛИТЕРАТУРА

1. Технологические аспекты рационального недропользования: роль технологической оценки в развитии и управлении минерально-сырьевой базой страны // Т.В.Башлыкова, Г.А, Пахомова, Б.С.Лагов и др. Под науч. Ред. Ю.С. Карабасова. М.:МИСИС, 2005. 576 стр.

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

КИАНИТОВЫЕ РУДЫ КЕЙВ – ПЕРСПЕКТИВНАЯ СЫРЬЕВАЯ БАЗА РОССИИ

Войтеховский Ю.Л. [1]***, Гришин Н.Н.*** [2]***, Нерадовский Ю.Н.*** [1]***, Касиков А.Г.*** [2]

[1] Учреждение Российской академии наук Геологический институт Кольского научного центра РАН, г. Апатиты
[2] Учреждение Российской академии наук Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья Кольского научного чентра РАН, г. Апатиты

В восточной части Кольского п-ова расположены крупнейшие в мире Кейвские месторождения высокоглиноземистого сырья – кианитовых руд, которые используются во многих отраслях промышленности: в черной и цветной металлургии, машиностроении, керамическом, абразивном и стекольном производстве. С различной степенью детальности в Кейвах разведано 29 месторождений кианита, из которых 6 с запасами около 3.4 млрд. т. Ресурсы кианитовых руд Кейвских месторождений до глубины 100 м по прогнозу составляют около 11.7 млрд. т [1, 2]. Среднее содержание кианита в рудах 31.9 %. Разработанная институтом "Механобр" и КФ АН СССР и проверенная в опытно-промышленных условиях на заводе "Сибэлектросталь" гравитационно-флотационно-магнитная схема обогащения крупноконкреционной кианитовой руды месторождения Новая Шуурурта обеспечивает получение кианитовых концентратов с содержанием 56-57% Al_2O_3, около 40% SiO_2 и 0.6% оксидов железа [3]. Концентрат такого качества удовлетворяет характеристикам первого и высшего сортов коммерческой продукции. Кейвские месторождения имеют высокие экономические предпосылки для освоения [4], но их разработка сдерживается удаленностью и отсутствием инфраструктуры.

В настоящее время в Российской Федерации работают 11 алюминиевых заводов, но собственным сырьём они обеспечены на 35-40%. Основное сырьё – глинозем, сибирские алюминиевые заводы покупают в Австралии и перевозят его морским, а далее железнодорожным транспортом на 4-4.5 тыс. км. Это сопоставимо с перевозками из Мурманской области. Кейвские кианиты являются альтернативным видом сырья для создания крупномасштабного производства алюминия в России без привлечения бокситов и глинозема.

Разведанные запасы кианитовых руд в других странах составляют 450 млн. т. Производители концентратов: ЮАР, США, Индия, Франция, Бразилия, Швеция, Испания, Украина. В сумме они получают 700-750 тыс. т продукции в год. Большие запасы руды в кианитовых кварцитах с содержанием кианита 10-30% находятся в США, они же являются основным производителем кианита. Из стран бывшего СССР небольшое производство кианит-силлиманитового порошка есть на Украине.

Россия обладает уникальными запасами кианита, но промышленно освоенные месторождения и производство кианита отсутствуют. Вместе с тем, сохраняется дефицит огнеупорных материалов для различных отраслей промышленности. Перспективным направлением является использование кианита как заменителя дорогостоящего и дефицитного электрокорунда в технологиях производства противопригарных материалов для точного литья в авиационной промышленности. Российские потребители применяют дорогостоящие огнеупоры отечественного производства с использованием электрокорунда, карбида кремния и циркона [5].

По химическому составу кианит является самым высокоглиноземистым сырьем после бокситов, содержание Al_2O_3 в нем составляет 63.2%, что почти в 2 раза выше, чем в используемых нефелине и алуните. Но его использование ограничивается в основном огнеупорной промышленностью (около 90%), в незначительных количествах он потребляется в стекле, санитарной и технической керамике, противопригарных красках и пастах. Это обусловлено способностью кианита к муллитообразованию при нагревании. В перспективе потребление кианита в производстве огнеупоров ежегодно будет расти. Ожидается, что при этом 40% кианита будет использоваться в производстве железа и стали, 30% – в металлургии других металлов, 20% – в стекольной и керамической промышленности 10% – в прочих отраслях. Современные технологии позволяют сделать кианит основным сырьем для производства алюминия. Одним из важнейших направлений использования кианита считается получение высокоглиноземистых материалов и металлического алюминия электротермическими методами.

В 1980-90 гг. исследована переработка минерального и технического сырья карботермическим восстановлением каолиновых глин и кианита для разделения Al_2O_3 и SiO_2 [6, 7], обобщены результаты исследований по получению различных материалов, в том числе Al_2O_3, в карботермическом процессе восстановления. С учетом имеющихся сведений по условиям протекания процесса, авторами продолжено изучение карботермического восстановления кианита для разделения Al_2O_3 и SiO_2. Работа проводилась с кианитовым концентратом Хизоваарского месторождения (масс. %: Al_2O_3 51.97; SiO_2 40.94; Fe_2O_3 2.58), изученным ранее как огнеупорное сырьё [8]. Полученные данные согласуются

с предложенной ранее реакцией карботермического восстановления кианита, включающей предварительное образование из него муллита в процессе высокотемпературной обработки [9]:

$3Al_2O_3SiO_2$(тв) = $3Al_2O_32SiO_2$(тв) + SiO_2(тв)
$3Al_2O_32SiO_2$(тв) + SiO_2(тв) + 3C(тв) = $3Al_2O_3$(тв) + 3SiO(г) + 3CO(г)
Рентгенофазовым анализом подтверждено образование четырех фаз (табл. 1).

Таблица 1. Минеральный состав проб после восстановительного обжига и прокаливания по данным рентгенофазового анализа

Пробы	Содержание фаз, %			
	Корунд	Муллит	Кристобалит	Полевой шпат
1	60	25	10	5
2	50	35	8	5
3	70	18	7	5
4	67	20	8	5

В результате восстановительного обжига получен материал, который по содержанию Al_2O_3 и SiO_2 отвечает требованиям к высокоглиноземистым компонентам для производства огнеупоров марки МКП-72. Продукты проб 3 и 4 близки по химическому составу к высококремнистым маложелезистым бокситам и могут использоваться для дальнейшего получения металлургического глинозема [10]. Гранулометрический анализ материала (проба 3) позволил установить, что глинозем и окись кремния сосредоточены на 70% в частицах менее 50 мкм. Дальнейшие опыты разделения частиц в гидравлическом классификаторе и методом мокрой магнитной сепарации показали, что второй метод более эффективен для отделения примеси Fe и Si. В результате удалось повысить содержание Al_2O_3 на 2%. Таким образом, результаты карботермического восстановления кианитового концентрата невысокого качества показали, что может быть получен основной сырьевой компонент для получения высокоглиноземистых огнеупоров марки МКП-72 или прекурсор для получения металлургического глинозема.

Опыты в других условиях (иная скорость роста температуры при обжиге, продолжительность выдержки при наивысшей температуре, величина добавки углеродистого восстановителя, вид разрыхляющей добавки) дали следующие результаты: из сырого кианитового концентрата получен материал с содержанием Al_2O_3 81-83%, SiO_2 6-8%; из обожжённого кианитового концентрата – Al_2O_3 84-86%, SiO_2 6% и Al_2O_3 94-95%, SiO_2 0.5-1.5%. Последний продукт можно рассматривать как прекурсор для получения металлического алюминия. В настоящее время авторами разработана схема получения силумина на основе восстановительного обжига кианитового концентрата в плазмотроне. Это позволяет эффективно и быстро переводить систему в состояние оптимальной реакционной способности и удалять примеси через газовую фазу. В качестве попутного сырья при добыче кианита могут извлекаться: сульфидный концентрат, рутил и ильменит, кварц, абразивные гранаты [11]. Большое значение может иметь ставролит [12], а также графит.

Учитывая изложенное, представляется целесообразным поставить вопрос о комплексном использовании кейвских сланцев как базового месторождения для крупномасштабного производства алюминия в России и крупного рудного объекта на золото, никель, кобальт, селен, а ставролитовых сланцев Кейв – как нового вида алюминиевого сырья.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бельков И.В., Истомин А.В., Матвеев Б.А.* Экономические предпосылки разаработки открытым способом кианитовых руд месторождения Нова Шуурурта // Теория и практика работы карьеров Заполярья. Апатиты: Изд-во КФ АН СССР, 1974. С. 14-18.
2. Недра северо-запада Российской Федерации / Коровкин В.А., Турылева Л.В., Руденко Д.Г., Журавлева В.А., Ключникова Г.Н. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2003. 500 с.
3. *Алексеев В.С.* Обогащение кианитовых руд // Освоение минеральных богатств Кольского полуострова. Мурманск: Мурманское кн. изд-во, 1974. С. 191-211.
4. *Федосеев В.А., Истомин А.В.* Экономические предпосылки освоения новых месторождений и создания перерабатывающих производств на Кольском полуострове // Освоение минеральных богатств Кольского полуострова. Мурманск: Мурманское кн. изд-во, 1974. С. 225-256.
5. *Каменева Е.Е., Скамницкая Л.С.* Обогащение минерального сырья Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2003. 230 с.
6. *Швейкин Г.П., Переляев В.С.* Переработка минерального и техногенного сырья карботермическим восстановлением // Изв. АН. Сер. хим. 1997. № 2. С. 233-245.
7. *Голдин Б.А., Грасс В.Э., Рябков Ю.И.* Вакуумная карботермическая переработка маложелезистых бокситов // Стекло и керамика. 1998. № 10. С. 25-27.

8. *Кононов М.Е.* Огнеупоры из минерального сырья Карело-Кольского региона. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1994. 180 с.

9. *Bechtold B.C., Culter I.B.* Reaction of clay and carbon to form and separate Al_2O_3 and SiC // J. Am. Ceram. Soc. 1980. N 5-6. P 71-275.

10. Глиноземный завод // Экономическая энциклопедия. Промышленность и строительство. М.: Изд-во Энциклопедия, 1962. С. 299-306.

11. *Бельков И.В.* Кианитовые сланцы свиты Кейв. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1963. 321с.

12. *Войтеховский Ю.Л., Нерадовский Ю.Н.* Кианитовые сланцы кейвской свиты – уникальные комплексные руды (Кольский п-ов) // Тр. III Межд. конф. «Проблемы рационального использования природного и техногенного сырья Баренцева региона в технологии строительных и технических материалов». Сыктывкар, 25-27 сент. 2007 г. Сыктывкар: Геопринт, 2007.

МИКРОТВЕРДОСТЬ ГРАНАТА

Бубнова Т.П.

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

Широко распространено определение твердости минералов с использованием десятибальной шкалы Мооса. Этот метод позволяет проводить быструю диагностику минералов, но при этом твердость имеет относительные значения. Одной из величин, характеризующих количественную оценку твердости минерала, является микротвердость, определяемая методом Виккерса [1]. В отличие от показателя твердости по шкале Мооса (где относительная твердость определяется путем царапания эталоном поверхности испытываемого объекта), микротвердость, отражает способность того или иного материала сопротивляться постоянно вдавливаемой нагрузке. Сущность метода заключается во вдавливании в испытуемый материал правильной четырехгранной пирамиды (с углом 136 град. между противоположными гранями) на определенное время и измерении оставленного отпечатка. Микротвердость по Виккерсу вычисляется по формуле:

$$H = \frac{1.8544 \cdot 9.81 \cdot P}{d^2}, \text{ кгс/мм}^2$$

где: P – нагрузка, кгс;

d^2 – площадь поверхности полученного пирамидального отпечатка, мм^2

Немаловажно, что метод Виккерса позволяет также проводить диагностику различных минералов, детальные исследования свойств отдельных монокристаллов (анизотропия твердости, хрупкость, микрозональность). Одним из минералов, для которого проведен анализ показателей микротвердости с целью дальнейшего определения корреляции с физико-механическими показателями, является гранат. Массовые замеры микротвердости зерен граната на плоскополированных аншлифах выполнены по стандартной методике на приборе ПТМ-3.

Обобщающие результаты по замерам микротвердости граната ряда месторождений и проявлений гранатовых руд Карелии представлены в табл. 1. С целью статистического анализа значений микротвердости проведено вычисление математических характеристик, отражающих меру рассеяния значений случайной величины около среднего значения.

Разброс данных невелик, что отражает коэффициент вариации (V), имеющий значения в пределах 0,10-0,16. Показатели асимметрии (A) и эксцесса (E), находятся в пределах диапазона от -2 до +2, что указывает на незначительные отклонения от нормального распределения данных. То есть можно говорить об определенной достоверности выборки данных и вероятности попадания случайной величины в заданном интервале.

Таблица 3. Результаты исследования микротвёрдости гранатов различных объектов Карелии

Месторождение, проявление	Образец	Порода	Статистические характеристики микротвердости			
			Разброс значений Среднее, кгс/мм^2 (кол-во замеров)	Коэффициент вариации, V	Асимметрия, A	Эксцесс, E
Шуерецкое (Тербеостров)	Шу	гранат-мусковитовая порода	1098 – 1716 1456 (19)	0.11	-0.269	0.723
Западная Плотина	Зап. Пл.	гранат-биотитовый гнейс	1208 – 2006 1551 (26)	0.13	1.113	-0.079
Энгозеро (участок Гранатовый)	№69	биотит-гранатовый амфиболит	1261 – 1902 1576 (25)	0.13	0.326	-1.066
	Энг	метасоматит	941 – 1607 1192 (47)	0.11	-0.264	0.728
Левин Бор	Л. Б.	биотит-мусковит-гранатовый гнейс	1002 – 1508 1220 (19)	0.13	0.675	-1.053
Нигрозеро	№ 27	гранатовый амфиболит	1226 – 1805 1485 (19)	0.11	1.453	-0.322
Высота-181	В-5	кианит-гранат-слюдистый сланец	1243 – 1688 1417 (26)	0.09	0.779	-0.637
	В-6	биотит-гранатовый гнейс	1208 – 2119 1522 (29)	0.16	1.744	0.021
	В-14	гранат-биотитовый гнейс	1208 – 2119 1614 (33)	0.16	0.687	-0.887
	В-16	серицит-гранат-плагиоклазовый гнейс	1203 – 1751 1447(21)	0.10	0.558	0.322
	В-17	гранат-мусковит-биотитовый гнейс	1279 – 2081 1528 (38)	0.14	1.512	0.649

Группировка данных в виде гистограмм (рис. 1), наглядно представляет размах и частоту измеренных значений, а также подтверждает ассиметричность распределения, определенную значениями асимметрии и эксцесса. На показателях микротвердости гранатов может сказываться состав собственно минерала, содержание в нем посторонних включений, а также трещиноватость, играющая заметную роль при оценке крепости породы в целом.

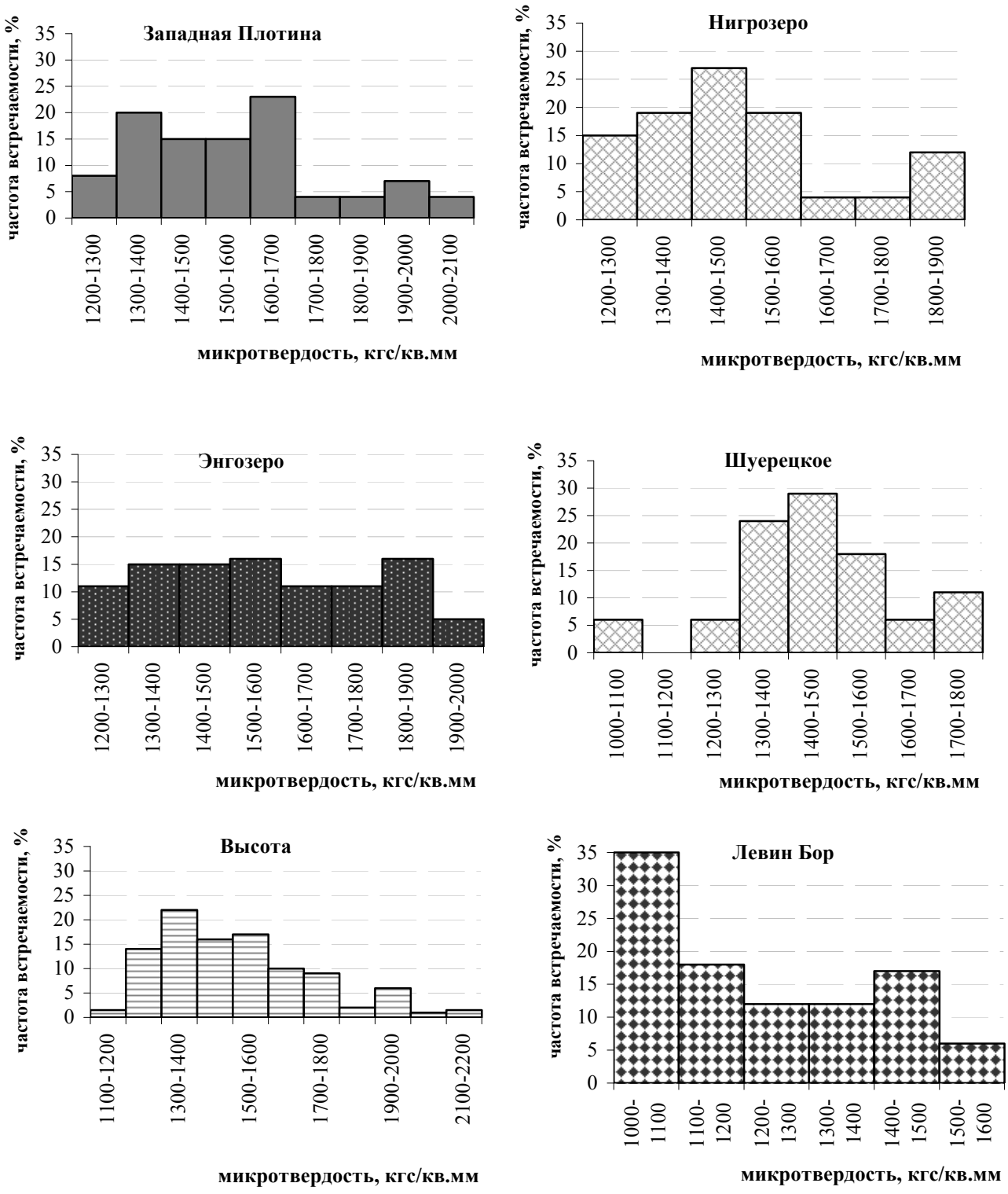


Рис. 8. Гистрограммы распределения микротвердости граната различных месторождений и проявлений Карелии

Для отдельных образцов зерен граната проанализированы значения содержаний некоторых компонентов, выполненные по профилям (от краевых точек через центр зерна). Изучение особенностей химического состава гранатов проводилось на сканирующем электронном микроскопе VEGA II LMU.

На графиках рис. 2, 3 просматривается корреляционная зависимость микротвердости и содержания FeO в гранате – немонотонное изменение этих показателей выражается в виде параболической ветви графика от центра зерна (с) к периферии (г).

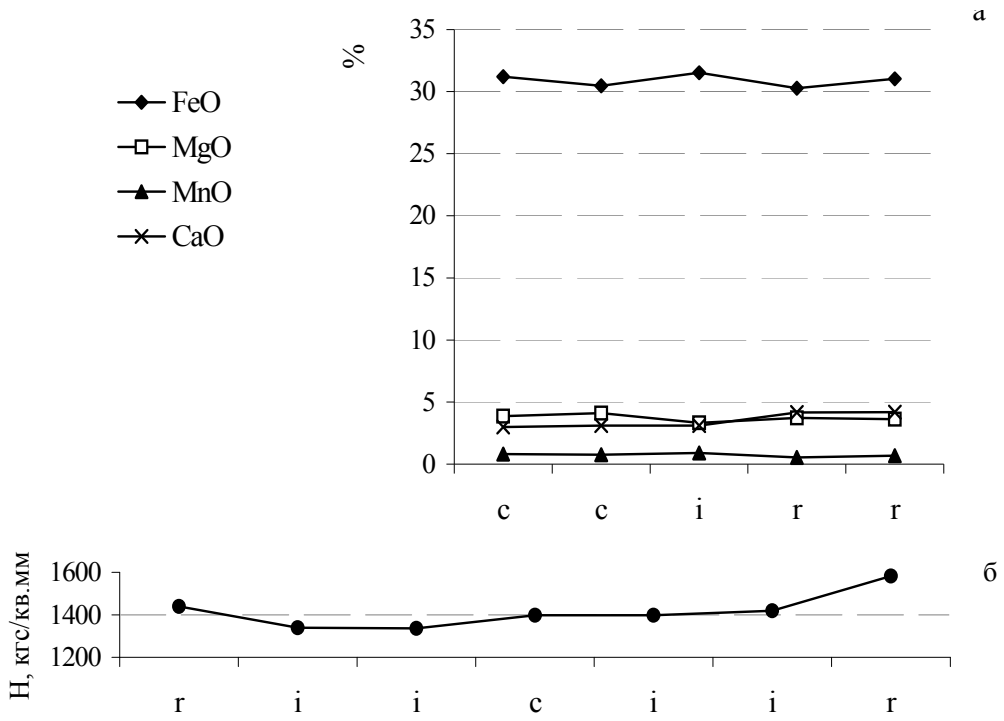


Рис. 9. Графики изменения показателей состава (а) и микротвердости (б) граната, выполненные по профилю зерна, образец В-5

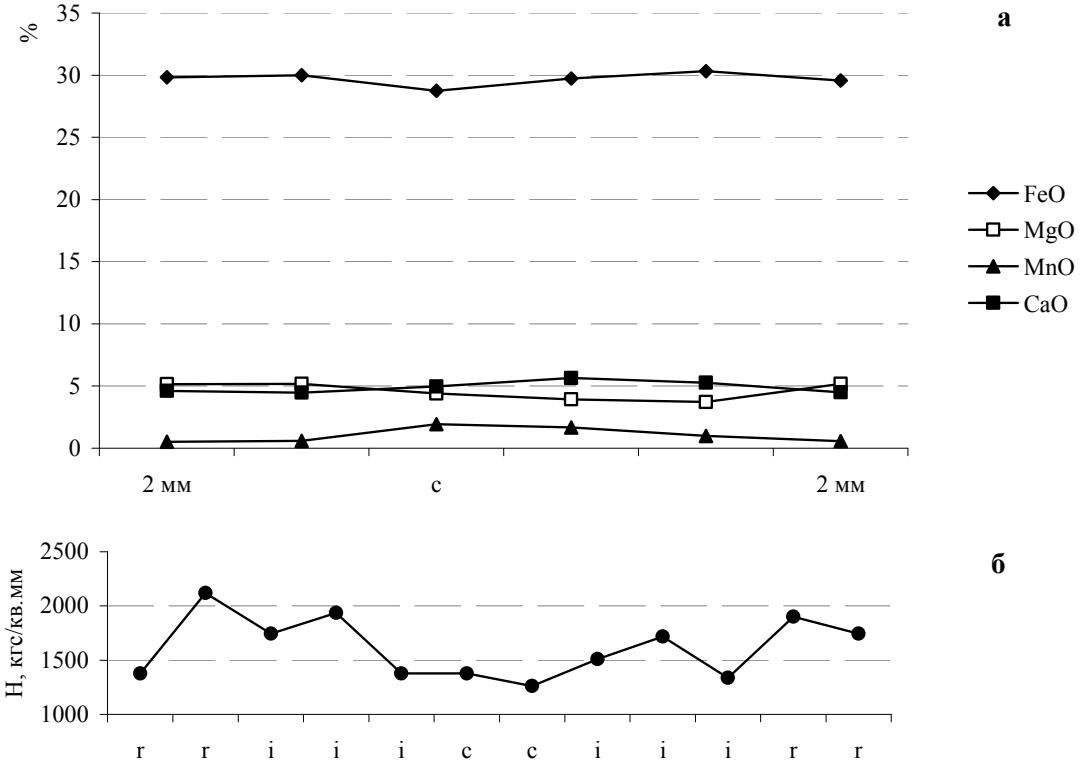


Рис. 10. Графики изменения показателей состава (а) и микротвердости (б) граната, выполненные по профилю зерна, образец В-6

Если учесть, что зональность состава граната связана с условиями образования (РТ-условия), можно предположить, что и прочностные его характеристики так же зависят от этих параметров. Для более уверенного подтверждения необходимо проведение многофакторного статистического анализа при увеличении матрицы исходных данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Лебедева С.И.* Микротвердость минералов. М., 1977. 118 с.

ВЛИЯНИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ, СОДЕРЖАЩИЕ ¨НЕИЗВЛЕКАЕМОЕ¨ ЗОЛОТО

Леоненко Н. А., Гурман М. А., Банщикова Т.С.

Учреждение Российской академии наук Институт горного дела ДВО РАН, г. Хабаровск

В настоящее время большое внимание уделяется современным физико-химическим способам извлечения тонкодисперсных, микронных минералогических объектов. Для дальневосточного региона техногенные отвалы россыпных месторождений золота, содержащие микронное и субмикронное золото и накопленное более чем за вековой период представляют определенную и технологическую проблему извлечения, и экологическую [1, 2].

Одним из способов концентрирования и извлечения золота из техногенных россыпей может явиться способ лазерной агломерации [3].

Исследовано воздействие лазерного излучения (ЛИ) на минеральные алюмосиликатные среды (объекты россыпных месторождений), содержащие ультратонкодисперсное золото, не извлекаемое гравитационными технологическими методами.

Способ впервые применён для концентрирования золота из илово-глинистых отложений техногенных россыпей. Минеральная проба отобрана из хвостохранилища высокоглинистой россыпи Верхнего Приамурья. Вещественный состав пробы представлен в основном силикатами: кварц, слюда, обломки глинистых сланцев, пироксен, эпидот. В небольшом количестве (около 5–7%) содержится циркон, ильменит, сфен, магнетит, гранат. Из исследуемой пробы выделен класс крупности –0,071 мм, весом 0,5 кг, который в дальнейшем с помощью седиментационного анализа разделён на классы: 71–40 мкм, 40–20 мкм, 20–10 мкм, 5–10 мкм, менее 5 мкм. В классах менее 20 микрон содержание золота колеблется от 0,162 до 0,29 г/т, в классах от 71 до 20 микрон содержание выше – от 6,51 г/т (20 мкм) до 24,2 г/т (71 мкм).

В результате лазерной обработки золотосодержащего минерального сырья получен концентрат, содержащий ультратонкодисперсное золото, которое традиционными методами не извлекается.

Пробы минерального сырья, содержащего три фракции (71 мкм, 40 мкм и 20 мкм) подвержены лазерному воздействию. Исследования проведены на иттербиевой лазерной установке с волоконной системой передачи лазерного излучения ЛС-06. Мощность 600 Вт. Режим работы непрерывный, модуляция до 3 кГц. Спектральная ширина 10 нм. Длина волны λ= 1070 нм.

В результате лазерного воздействия пылевидные частицы силикатов превращаются в крупные оплавленные агрегаты, поверхность которых изобилована выемками, жеодами, сквозными дырами. Расплавленное золото, охлаждаясь, оседает в виде капель на стенках жеод и выемок отдельных агрегатов (рис. 1).

В результате лазерного воздействия по данным микроскопического анализа зарегистрировано образование укрупненного золота сферически агломерированных форм. Вместе с тем, при отработке параметров иттербиевого лазерного источника (мощность излучения, фокусировка) отмечено скопление субмикронного золота пластинчатой, игольчатой форм на силикатной матрице образцов. На рис. 1 представлены цифровые изображения, полученные на оптическом микроскопе Discovery V12, визуализация объектов осуществлена с помощью программного обеспечения AxioVision, стрелками обозначены области концентрирования золота.

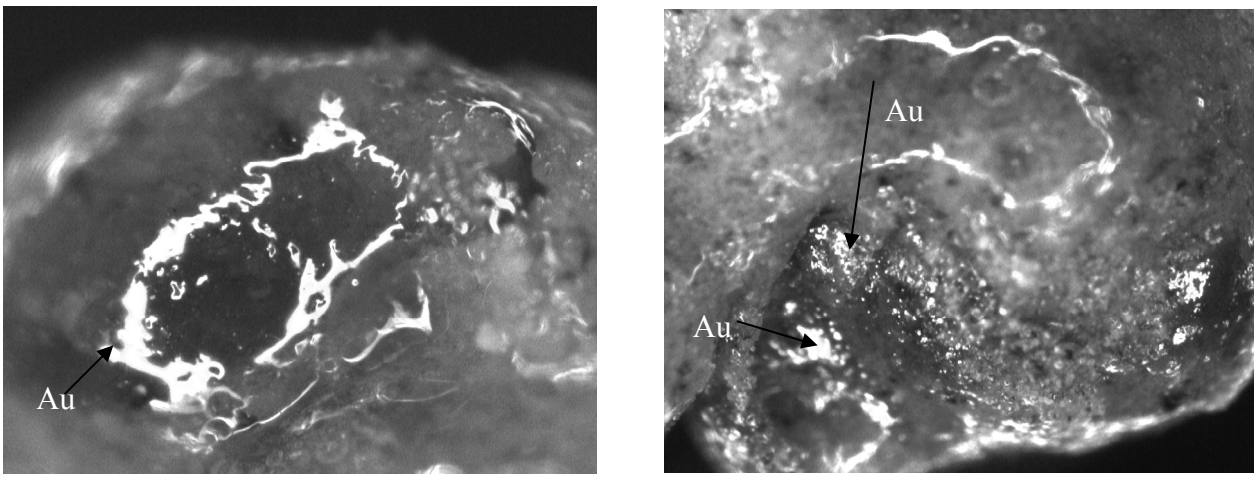


Рис. 1. Лазерное воздействие на иловые фракции, содержащие золото микронной крупности (участок Гайфон); фракция –71+20 мкм

Электронно-микроскопические исследования образцов проведены на растровом электронном микроскопе “LEO EVO 40HV” (Карл Цейс, Германия), оснащенном энергодисперсионным анализатором “INCA-ENERGY”, представлены на рис. 2.

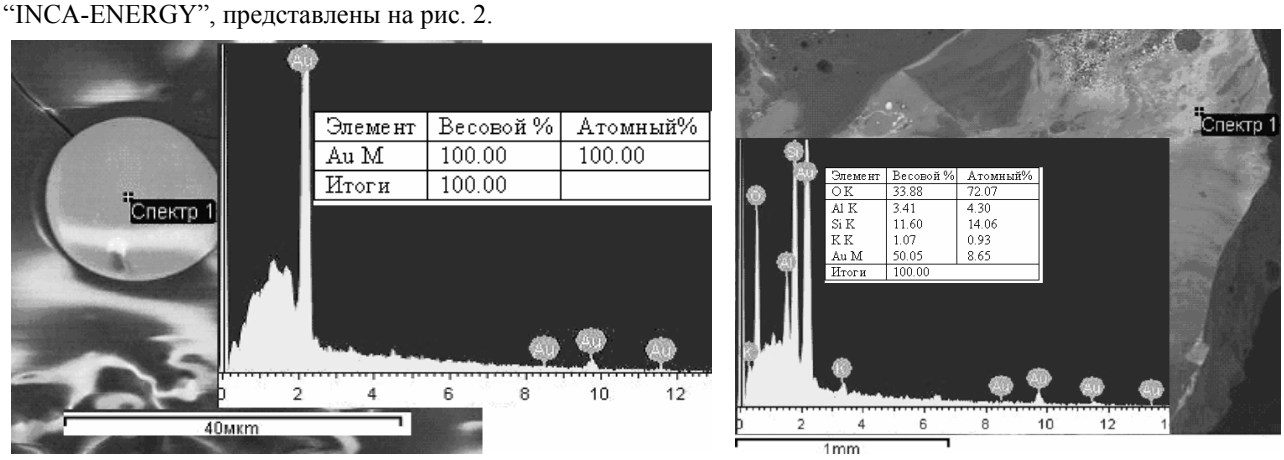


Рис. 2. Элементный анализ сферических золотин в окружении алюмосиликатной матрицы различных

Таким образом, при лазерной обработке золотосодержащего минерального сырья выявлены закономерности агломерирования и концентрирования ультрадисперсного золота, не извлекаемого гравитационными методами. Приведённые примеры применения нетрадиционных технологий для извлечения золота микронной крупности, позволяют считать, что решение проблемы трудноизвлекаемых форм благородных металлов возможно.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Моисеенко В.Г., Остапенко Н.С., Миронюк А.Ф.* Нетрадиционный подход к отработке техногенных золотосодержащих россыпей // Горный журнал. 2006. № 4. С. 66-68.

2. *Мирзеханов Г.С.* Условия формирования, принципы прогноза и оценки ресурсов техногенных образований отработанных россыпей золота (на примере Дальнего Востока). Автореферат диссертации на соискание учёной степени доктора геолого-минералогических наук. Благовещенск, 2005 г.

3. *Шевкун Е.Б., Кузьменко Л.П., Леоненко Н.А., Ятлукова Н.Г.* Способ лазерного формообразования и обогащения благородных металлов в минеральных ассоциациях. Заявка 2003135458/02 от 04.12.2003, опубл. 10.07.2005 Бюл. № 19. Патент РФ № 2255995.

КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛИГАЛИТСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ

Шакирзянова Д.Р., Вишняков А.К., Козленеева Л.П.

ФГУП «ЦНИИгеолнеруд», г. Казань

Наиболее распространенным калийным удобрением является хлорид калия. Однако систематическое использование его отрицательно влияет на некоторые сельскохозяйственные культуры, особенно технические, плодово-ягодные и цитрусовые. Применение под эти культуры бесхлоридных калийных удобрений способствует не только повышению урожайности, но и улучшению их качества: повышается содержание крахмала в картофеле, сахаристость свеклы, вкусовые качества винограда, цитрусовых, улучшается сортность льна [1]. В настоящее время крупных производителей бесхлоридных калийных удобрений в России нет, что обусловлено отсутствием разрабатываемой сырьевой базы сульфатных калийных солей. Одним из природного исходного сырья для получения бесхлоридных удобрений могут служить полигалитсодержащие породы ($K_2MgCa_2(SO_4)_4 \cdot 2H_2O$) [2], широко распространенные в Европейской части России.

Применение на сульфатно-калийных месторождениях различных способов переработки этих пород, обусловило необходимость их предварительного очищения от минерала галита, оказывающего отрицательное влияние и на проведение самого процесса переработки и на ухудшение товарных свойств готовой продукции. В нашей стране исторически сложилось так, что основным методом освобождения сульфатно-калийно-магниевой породы от галита (NaCl) осуществлялось методом отмывки водой, при этом содержание остаточного NaCl не должно превышать 4% [3-7].

Для проведения экспериментов по обогащению была смоделирована трехступенчатая противоточная отмывка полигалитовой руды от галита (рис.1) [8].

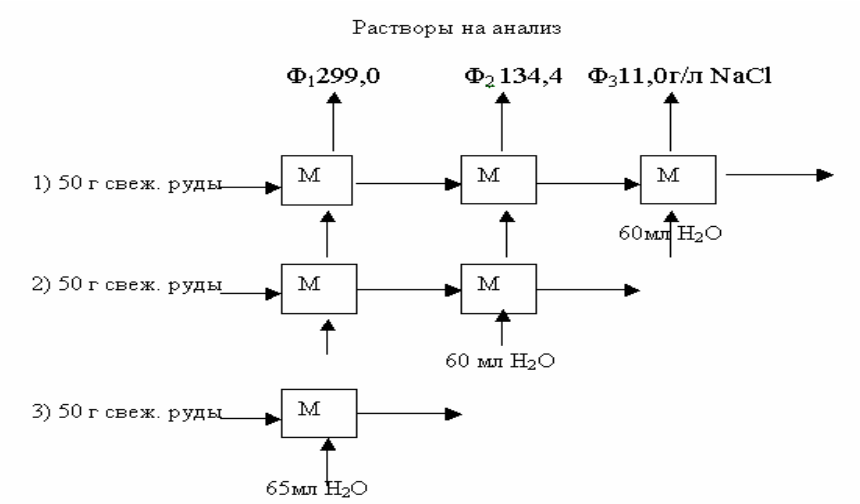


Рис. 1. Схема отмывки полигалитовой руды от галита

Результаты данных экспериментов представлены в табл. 1.

Таблица 1. Составы растворов трехступенчатой отмывки полигалита от галита

Компоненты	Ступени отмывки		
	1 ступень	2 ступень	3 ступень
Ионный состав, г/л			
SO_4^{2-}	18,22	20,62	13,13
Cl^-	181,37	81,52	6,67
Ca^{2+}	0,44	0,75	0,58
Mg^{2+}	2,18	2,39	1,49
K^+	6,98	7,65	4,77
Na^+	117,67	52,89	4,33
Солевой состав, г/л			
K_2SO_4	15,54	17,04	7,34
$MgSO_4$	10,79	11,83	7,38
$CaSO_4$	1,49	2,54	1,97
NaCl	299,04	134,41	11,0
Сумма солей	326,86	165,82	27,69
Плотность, г/см^3	1,2126	1,1128	1,0235

Полученный при отмывке рассол можно переработать на побочный продукт – поваренную соль. Она может быть получена в процессе как галургической переработки рассола, так и в условиях их естественного выпаривания или вымораживания. Переработка данного рассола позволит получить поваренную соль с содержанием NaCl – 98,18%, $MgSO_4 \cdot 6H_2O$ – 1,08%, $K_2Ca(SO_4)2 \cdot H_2O$ – 0,78%, что почти соответствует марки «высший сорт» (табл. 2).

Таблица 2. Составы пищевой соли по ГОСТ 13830-91 и соли, получаемой в результате эксперимента

Содержание компонентов, %	Сорт соли по ГОСТ 13830-91		Соль, получаемая в результате эксперимента
	Экстра	Высший	
NaCl	99,7	98,4	98,18
Ca^{2+}	0,02	0,35	0,1
Mg^{2+}	0,01	0,05	0,11
SO_4^{2-}	0,16	0,8	0,93
K^+	-	-	0,2
Fe_2O_3	0,005	0,005	-

Порода подвергалась разложению 19% азотной кислотой при 90-100ºС. Полученная суспензия нейтрализовалась аммиаком, доводя pH суспензии до 4,5-5,0 и направлялась на вакуум-фильтры для разделения на маточник и осадок – сульфат кальция. Оставление части SO_4^{2-} в удобрении и отказ от обессульфачивания раствора выщелачивания полигалита окисью кальция позволило сократить количество сульфатных «отходов» в 3,38 раза [9, 10].

Полученный маточный раствор является жидким промпродуктом, в котором, как и в готовом продукте после выпаривания и гранулирования, содержание питательных элементов составляет (для N, K_20 и MgO) 34,12%, а с дополнительным учетом S и Na_2O – 44,77%. Соотношение питательных веществ: $N:K_2O:MgO:S$ = 1,15:1,0:0,43:0,68. В связи с тем, что в полученном удобрении присутствует, в виде аниона, сера, конечный продукт был назван «сульфонитрокалимагом». Степени извлечения калия и магния в продукт составляли 96-98%, степень разложения полигалита 99-100%.

По разработанному способу из 100 кг отмытого полигалита с учетом добавленных реагентов получается 99,41 кг удобрения. Побочный продукт по данным рентгенофазового анализа представляет собой практически чистый ангидрит (98-100%). Проведенные исследования по затворению такого материала (сульфата кальция) и испытанию на сжатие изготовленных из него кубиков показали прочность получаемых образцов 5,9 МПа, что соответствует гипсовым вяжущим марки Г-5.

Наличие в получаемом удобрении соединений серы позволяет исключить вопрос о ее дополнительного внесения для сельскохозяйственных растений. Недостаток серы в почвах СССР был обнаружен еще в 1980-е годы. В конце 80-х годов даже ставился вопрос о необходимости перестройки производств, выпускающих двойной суперфосфат, не содержащий серы, на выпуск простого суперфосфата, хотя и имеющего в 2 раза меньшее количество питательных веществ, но включающего в свой состав гипс ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), как источник серы. Неоднократно поднимался также вопрос о необходимости разработки серосодержащих удобрений и их технологий производства. В этом плане, получение данного типа удобрений, в какой-то мере, решает этот вопрос, ибо в его состав сера входит в виде сульфатов калия и магния.

Присутствие некоторого хлористого натрия в «сульфонитрокалимаге» не ухудшает его агрохимические характеристики. Вопрос о специальном снабжении растений натрием в литературе как-то, особенно, не возникал, ибо, считалось, что растения получают его в достаточном количестве с промышленным удобрением в виде хлорида калия, который содержит в своем составе до 5% NaCl. Вообще же элемент натрий для некоторых растений даже необходим. Из литературных данных известно, что недостаток в натрии могут испытывать культуры семейства крестоцветных: капуста, свекла, редис, турнепс, репа, брюква, редька. Например, в золе ботвы свеклы содержится Na_2O до 25%.

Применение полигалитсодержащих пород в качестве сыромолотого продукта для местных нужд (с высоким содержанием полигалита и низким – менее 3% – содержанием галита) представляется вполне возможным использовать его как «полигалитовую муку».

Проведенные вегетационные опыты показали, что полигалитсодержащие породы в качестве «полигалитовой муки» на дерново-подзолистой почве близки по своему действию стандартным калийным удобрениям, что позволяет говорить о возможности их использования в сельском хозяйстве в местах, близко расположенных к ее производству.

«Полигалитовая мука», как товарный продукт содержит в своем составе K_2O – от 6,24 до 12,7% (K_2SO_4 – от 11,54 до 23,49%), MgO – от 2,8 до 5,66% ($MgSO_4$ – от 8,36 до 16,9%). По составу и содержанию водорастворимых полезных компонентов она более всего соответствует калимагнезии, но в отличие от которой «полигалитовая мука» значительно обогащена сульфатом кальция.

Проведенные в ЦНИИгеолнеруд исследования позволяют наметить рациональную технологическую схему получения бесхлорного комплексного калийно-магниево-азотно-сульфатного удобрения из полигалитсодержащих пород Шарлыкской площади, как на основе азотнокислотного разложения, так и с использованием сыромолотой породы в виде удобрения «полигалитовая мука».

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ягодин Б.А.* Агрохимия. М.: Агрохимиздат «Колос», 1982. 574 с.
2. Минеральное сырье. Соли минеральные. Справочник / под ред. Баталина Ю.В., Туманова Р.Р., Хуснутдинова В.А. М.: Геоинформмарк, 1999. 242, [1] с.
3. *Грабовенко В.А.* Производство бесхлорных калийных удобрений. Л., Химия, 1980. 256 с.
4. *Позин М.Е.* Технология минеральных удобрений. Л.: Химия, 1989. 352 с.
5. Переработка природных солей и рассолов. Справочник / под ред. И.Д.Соколова. Л.: Химия, 1985. – 208, [6] с.
6. *Кашкаров О.Д.* Технология калийных удобрений / О.Д. Кашкаров, И.Д. Соколов. Л.: Химия, 1978. 248 с.
7. *Сафрыгин Ю.С.* Производство бесхлорных калийных удобрений в СССР и за рубежом / Ю.С.Сафрыгин, Ю.В.Букша, В.И.Хентов. М.: НИИТЭХИМ, 1981. 39 с.
8. *Хуснутдинов В.А.* Отделение полигалитовой породы от галита / В.А. Хуснутдинов, А.К.Вишняков, Д.Р.Шакирзянова // Вестник Казанского технологического университета. 2006. №3. С. 59-64.
9. *Баталин Ю.В.* Полигалитовые породы – новое сырье для производства дефицитных сульфатных калийно-магниевых удобрений / Ю.В. Баталин, А.К. Вишняков, Д.Р. Шакирзянова // Разведка и охрана недр. 2007. №11. С. 29-33.
10. Пат.2276123 Российская Федерация МПК[7] C05D 11/06, C05D 1/00, 5/00. Способ получения комплексного минерального удобрения / Хуснутдинов В.А., Вишняков А.К.; заявитель и патентообладатель Центральный научно-исследовательский институт геологии нерудных полезных ископаемых.-№2004120636/15; заявл. 06.07.04; опубл. 10.05.06. Бюл.№13.-5с.

ПОЛУЧЕНИЕ НОВОГО ВИДА УДОБРЕНИЯ – «СУЛЬФОНИТРОКАЛИМАГ» ИЗ ПОЛИГАЛИТСОДЕРЖАЩИХ ПОРОД

Вишняков А.К., Шакирзянова Д.Р.[1], Хуснутдинов ВА.[2]

[1]ФГУП «ЦНИИгеолнеруд», г. Казань
[2]КГТУ, г. Казань

Более 95% добываемых из недр и вырабатываемых заводскими методами калийных солей используют в качестве удобрений. Их подразделяют на хлоридсодержащие (основной компонент — КС1) и бесхлоридные (K_2SO_4) удобрения. Для овощных, плодово-ягодных, бобовых, эфиромасляничных, цитрусовых, картофеля, гречихи наиболее эффективны сульфатные, т.е. бесхлоридные удобрения [1]. Природным исходным сырьем для получения бесхлоридных удобрений могут служить полигалитсодержащие породы ($K_2MgCa_2(SO_4)_4 \cdot 2H_2O$). Такие породы широко распространены в Германии, Польше, Украине, Китае, США и др. странах. В России полигалитсодержащие породы образуют крупные залежи на территориях Калининградской, Оренбургской, Волгоградской областей.

Полигалитсодержащие породы данной площади включают в себя, как основные, минералы полигалит ($K_2MgCa_2(SO_4)_4 \cdot 2H_2O$), ангидрит ($CaSO_4$), галит (NaCl). В некоторых количествах присутствуют также доломит ($CaMg(CO_3)2$), магнезит ($MgCO_3$), кизерит ($MgSO_4 \cdot H_2O$) и терригенные минералы нерастворимого (в кислоте) остатка.

Полигалитсодержащие породы всегда интересовали исследователей с точки зрения их переработки на калийно-магниевые удобрения. Одним из методов их переработки является разложение полигалитсодержащих пород в азотной кислоте. Учитывая литературные данные можно сказать, что степень извлечения K_2O и MgO из полигалита в раствор с увеличением температуры процесса разложения и повышением продолжительности взаимодействия реагентов возрастает. Степень перехода K_2SO_4 из полигалита в раствор возрастает с увеличением нормы HNO_3 и снижается с повышением концентрации кислоты. Степень извлечения MgO почти не зависит от нормы HNO_3. А содержание $CaSO_4$ в растворе резко возрастает с увеличением концентрации HNO_3 и практически не зависит от температуры процесса [2-6].

В результате азотнокислотного выщелачивания полигалита получается жидкая фаза (маточный раствор) и твердый осадок. При выщелачивании природного полигалита растворами HNO_3 с концентрацией ≥15%, при температурах ≥70°С, стабильной твердой фазой будет ангидрит (табл. 1).

Таблица 1. Стабильные модификации $CaSO_4$

Температура, °С	Концентрация исходного раствора HNO3, %масс.							
	15			21			25	
	Время, час							
	4	6	8	4	6	8	4	8
60	П→Г→А	П→Г→А	П→Г→А	П→А	П→А	$П→А_{(Г)}$	П→А	П→А
70	$П→А_{(Г)}$	-	П→А	$П→А_{(Г)}$	П→А	П→А	П→А	П→А
80	П→А	-	П→А	П→А	П→А	П→А	П→А	П→А
90	П→А	П→А	П→А	П→А	П→А	П→А	П→А	П→А

Примечание: П – полугидрат сульфата кальция $CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O$ (бассанит); Г – гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$; А – ангидрит $CaSO_4$; $А_{(Г)}$ – ангидрит с очень малой (<3%) примесью гипса.

Аммонизированный маточный раствор, полученный в эксперименте, представляет собой исходный продукт для удобрения. Поэтому он был выпарен для образования его в твердом виде. В результате проведенных исследований была определена температура выпаривания – 100-120°С, при этом будет кристаллизоваться леонит, который обладает большей растворимостью по сравнению с лангбейнитом, получаемым при большей температуре выпаривания, и небольшим временем выпаривания, которое затрачивается на выпаривание при температуре ~70°С для получения шенита.

Содержание иона Cl^- позволяет отнести данные удобрения к бесхлоридным. Небольшое содержание NaCl в полученном удобрении не оказывает отрицательного воздействия. Вообще же элемент натрий для некоторых растений даже необходим. Вопрос о специальном снабжении растений натрием в литературе не возникал, ибо, считалось, что растения получают его в достаточном количестве с промышленным удобрением – хлоридом калия, который содержит в своем составе до 5% NaCl.

Соотношение питательных элементов в получаемом удобрении составляет N:K2O:MgO:S=1,7:1,0:0,39:0,68.

Большое содержание магния может препятствовать усвоению калия растениями из почвы. Для изменения соотношения полезных компонентов, а именно уменьшения содержания магния в удобрении, был предложен способ осаждения гидроксида магния из маточного раствора. При мольном отношении $2NH_3/Mg_2$+ (Ja), равном 0,3, осаждается гидроксид магния $Mg(OH)_2$, из которого получается MgO марки «ч».

Таблица 2. Материальный баланс выпаривания азотнокислотной вытяжки (на 1 тонну удобрения)

Приход		Расход	
сырье	%	продукты	%
1. Руда (полигалит)	47,12	1. Плав безводный в том числе: – леонит $K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 4H_2O$ – нитрат магния $Mg(NO_3)_2$ -нитрат аммония NH_4NO_3 – хлорид натрия NaCl	44,89 19,99 2,99 21,57 0,33
2. Раствор азотной кислоты (19%)	34,53	2. Осадок (ангидрит)	27,10
3. Раствор аммиака	18,35	3. Газы	28,01
ИТОГО	100	ИТОГО	100

Таблица 3. Материальный баланс выпаривания азотнокислотной вытяжки с осаждением $Mg(OH)_2$ (на 1 тонну удобрения)

Приход		Расход	
Сырье	%	продукты	%
1.Руда (полигалит)	45,58	1. Плав безводный в том числе: – леонит $K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 4H_2O$ – нитрат магния $Mg(NO_3)_2$ – нитрат аммония NH_4NO_3 – сульфат аммония $(NH_4)_2SO_4$ – хлорид натрия NaCl	43,82 17,48 2,01 21,90 2,10 0,33
2.Раствор азотной кислоты (19%)	33,54	2. Осадок (ангидрит)	26,28
3.Раствор аммиака	20,88	3. Газы	28,64
		4. $Mg(OH)_2$	1,26
ИТОГО	100	ИТОГО	100

Соотношение питательных элементов в получаемом удобрении составляет $N:K_2O:MgO:S=1,7:1,0:0,39:0,68$.

Данная технология позволяет получить также и фосфорсодержащее удобрение (NPKMgS-удобрение), дополнительно сбалансировав содержащиеся в них питательные вещества. Наиболее простой для этого способ – введение в технологический поток экстракционной фосфорной кислоты.

Таблица 4. Технологические показатели в расчете на 1 т (1000 кг) продукта

№№	*Показатель*	Способ			
		Разработанный ВНИИГом	Разработанные в данной работе		
			I (выпаривание аммонизиров. раствора)	II (с осаждением $(MgOH)_2$)	III (с добавлением H_3PO_4, NH_3, KCl)
1	Расход полигалитовой руды, т	1,753	1,05	1,04	1,05
2	Расход HNO_3 58%, т	0,722	0,769	0,763	0,769
3	Мел молотый, т	0,583	-	-	-
4	Аммиак (газ), т	-	0,102	0,118	0,135
5	Количество выпариваемой воды, $м^3$	3,26	0,624	0,653	0,811
6	Отход производства (гипс, ангидрит) т	3,73	0,603	0,600	0,603
7	Соотношение питательных элементов	$N:K_2O:MgO:S=$ $=1:1,7:0,71:0$	$N:K_2O:MgO:S=$ $=1,58:1,0:0,58:0,68$	$N:K_2O:MgO:S=$ $=1,7:1,0:0,39:0,68$	$N:P_2O_5:K_2O:MgO:S=$ $=1,14:0,75:1,0:0,36:0,42$
8	Сумма полезных компонентов (K+Mg+N+S+P), %	40,19	39,40	27,42	51,21

Получается удобрение с соотношением питательных элементов $N:P_2O_5:K_2O:MgO:S=1,14:0,75:1,0:0,36:0,42$. Технологическая схема должна быть дополнительно снабжена потоками для подачи фосфорной кислоты и хлорида калия, а также реактором для их смешения с аммонизированным раствором.

Проведенные эксперименты показали, что из полигалитсодержащих пород можно получить комплексные бесхоридные NKMgS-удобрения, так и комплексное фосфорсодержащее NPKMgS-удобрение с различным соотношением питательных элементов в зависимости от почвенно-климатических условий и выращиваемых культур.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ягодин Б.А. Агрохимия* / Б.А. Ягодин. М.: Агрохимиздат «Колос», 1982. 574 с.
2. *Грабовенко В.А.* Производство бесхлорных калийных удобрений / В.А. Грабовенко. – Л., Химия, 1980.-256 с.
3. *Позин М.Е.* Технология минеральных удобрений / М.Е.Позин. Л.: Химия, 1989. 352 с.
4. Переработка природных солей и рассолов. Справочник / под ред. И.Д.Соколова. Л.: Химия, 1985. 208 с.
5. *Конлей И.Н.* Соли калия из месторождения полигалитов в Техасе и Нью-Мексико / И.Н. Конлей, Е.Г. Патридж. Нью-Мексико, 1944. 153 с.
6. *Баталин Ю.В.* Полигалитовые породы – новое сырье для производства дефицитных сульфатных калийно-магниевых удобрений / Ю.В. Баталин и др. // Разведка и охрана недр. 2007. №11. С. 29-33.
7. Пат.2276123 Российская Федерация МПК[7] C05D 11/06, C05D 1/00, 5/00. Способ получения комплексного минерального удобрения / Хуснутдинов В.А., Вишняков А.К.; заявитель и патентообладатель Центральный научно-исследовательский институт геологии нерудных полезных ископаемых. №2004120636/15; заявл. 06.07.04; опубл. 10.05.06. Бюл.№13. 5 с.

МЕТОДЫ ВЫДЕЛЕНИЯ МИНЕРАЛОВ ИЗ ГРАНИТ-РАПАКИВИ САЛМИНСКОГО МАССИВА СЕВЕРНОГО ПРИЛАДОЖЬЯ

Кевлич В.И.

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

Гранит-рапакиви Салминского массива относятся к анортозит-рапакивигранитному комплексу, слагая крупный плутон в пределах северо-восточной части Свекофеннского геоблока.

В своей основной массе минеральный состав гранитов-рапакиви Салминского массива представлен следующими минералами: полевые шпаты – ортоклаз-пертиты (45 – 65%), плагиоклаз (15 – 25%), кварц (15 – 35%) и темноцветные (1– 6,6%). В акцессорных количествах встречаются ильменит, сфен, магнетит, ортит, гранат, пирит, флюорит, апатит, циркон, рутил, и др., содержание которых колеблется в пределах единичных знаков, сотых и тысячных долей весовых процентов.

Наиболее характерными для гранитов-рапакиви являются зернистые текстуры, гипидиоморфозернистые, порфировидные, овоидные, такситовые и пегматоидные структуры [6]. Крупность зерен гранит-рапакиви от 0,1 х 1,5 см до 4 х 6 см. Определенные минералы имеют нескольких генераций (плагиоклаз, биотит, циркон). В связи с этим вариативны как размеры зерен, так и технологические параметры – магнитная восприимчивость, флотируемость, плотность для этих минералов. С учетом выявленных факторов и работ [3], осуществлялась разработка схемы выделения минералов из гранитов-рапакиви с целью выделения мономинеральных фракций основных породообразующих и акцессорных минералов для определения возможной глубины обогащения гранитов рапакиви, как сырья для керамической промышленности

Исходные пробы гранитов-рапакиви весом 10–20 кг дробятся и измельчаются в замкнутом цикле до крупности –0,5 мм и направляются на обогащение на концентрационном столе. После данной операции в концентрат переходят тяжелые минералы – ильменит, магнетит, ортит, гранат, пирит, роговая обманка, флюорит, апатит, циркон, рутил и др. Легкую фракцию и промпродукты составляют биотит, полевые шпаты, кварц и сростки. В легкую фракцию и промпродукты выделяются биотит, полевой шпат, кварц и сростки. Концентрат стола подвергается магнитной сепарации на роликовом сепараторе в слабых и сильных магнитных полях. В слабых полях выделяется концентрат магнитных минералов (магнетит), в сильных полях, в электромагнитную фракцию переходят ильменит, роговая обманка, эпидот, ортит, гранат, сфен, частично биотит и сростки, а в немагнитную фракцию – апатит, циркон, флюорит, рутил, зерна и сростки полевого шпата и кварца.

Магнетит после доизмельчения магнетитового концентрата выделяется магнитной сепарацией посредством ручного магнита РМЧ ручной магнит в чехле) или РМК (ручной магнит круглый), а также и на

сепараторе с вращающимся магнитным полем. Содержание магнетита в концентрате определяет необходимое количество перечисток и контроль под бинокулярным микроскопом.

Для выделения электромагнитных минералов, фракция направляется на разделение в тяжелых жидкостях: с плотностью 3,0 -3,2 г/см^3, где в легкую фракцию попадают сростки полевого шпата, кварца и биотита; с плотностью 3,3 – 3,4 г/см^3 в легкую фракцию переходят роговая обманка и эпидот; с плотностью 3,7 г/см^3 в легкой фракции – сфен и ортит, а в тяжелой остаются ильменит, гематит, гранат. Выделенные продукты в микродолях для получения чистых зерен минералов проходят отбор и контроль под бинокулярным микроскопом. В случае если количество минералов составляет первые десятые или сотые грамма, выделенные фракции (роговая обманка+эпидот, сфен+ортит, ильменит+гранат) подвергаются рассеву на сите 0,16 мм, классы -0,5 + 16мм измельчается до крупности – 0,16 мм, оба продукта совместно подвергаются обработке ультразвуком в течение 1-2 минут с удалением шламов -0,05 мм.

Фракция, состоящая из роговой обманки и эпидота, направляется на разделение в тяжелых жидкостях с плотностью соответственно 3,3 г/см^3 и 3,35 г/см^3 с последующей раздельной доводкой легкой и тяжелой фракции на изодинамическом электромагнитном сепараторе в режиме, определяющим углы наклона поперечные 15 – 17^0, продольные – 24-26^0, ток 0,3 – 0,4А. В результате двух-трех перечисток получаем мономинеральные фракции роговой обманки в электромагнитной фракции и эпидота в немагнитной.

Фракция, состоящая из сфена и ортита, подвергается сепарации на лабораторном электромагнитном роликовом сепараторе в режиме: продольный угол наклона 15^0, зазор между полюсами 1–2 мм и ток 0,4–05 А. В немагнитную фракцию выделяется сфен, а электромагнитную – ортит, который в гранит-рапакиви имеет бутылочно-зеленый цвет, стеклянный блеск, показатель преломления Ng – 1.76, изотропен.

Электрическая сепарация фракции, состоящей из ильменита, гематита и граната, на вибролотковом сепараторе в следующем режиме: продольный угол наклона 17-20^0, межэлектродный зазор 3-5 мм, напряжение 1,4 – 1,7 кВ, что позволяет в проводящей фракции получить ильменит, а в непроводящей – гранат.

Немагнитная фракция, состоящая из апатита, циркона, сфена, флюорита, рутила, пирита, полевого шпата, кварца, их сростков, направляется на разделение в тяжелой жидкости (бромоформ). В легкую фракцию выделяются полевые шпаты, кварц, их сростки. В тяжелую переходят апатит, циркон, сфен, флюорит, пирит и рутил. Выделение апатита, флюорита и сфена осуществляется с помощью МГС-сепарации и контроля под бинокулярным микроскопом. При условии, если фракция (апатит+флюорит+сфен) составляет более 100 мг, целесообразно повторное разделение в тяжелой жидкости с плотностью 3,3 г/см^3 для отделения апатита и флюорита от сфена. В тяжелый продукт МГС-сепарации переходит пирит, рутил и циркон. Электрическая сепарация фракции, состоящей из пирита и циркона, на электрическом вибролотковом или диэлектрическом сепараторах,позволяет выделить пирит в проводящий, рутил в полупроводящий, а циркон – в непроводящий продукты.

Выделение биотита, кварца, ортоклаза и плагиоклаза производится из промпродукта и легкой фракции после разделения на концентрационном столе. Оба продукта объединяются и поступают на электромагнитную сепарацию на индукционно-роликовом сепараторе 138Т-СЭМ при силе токе 5-7А. В электромагнитную фракцию извлекаются биотит, сростки, ожелезненные зерна и зерна с включениями полевых шпатов и кварца, а в немагнитную – ортоклаз, плагиоклаз и кварц.

Методом флотации из электромагнитной фракции извлекается биотит. Флотация проводится в кислой среде (pH=2), создаваемой серной кислотой. В качестве депрессора используется жидкое стекло (150-200 г/т), собиратель АНП-14 (200-300 г/т), загрузка собирателя дробная. При этом в пенный продукт переводят биотит, который доизмельчается в планетарной мельнице для расщепления пакетов и высвобождения тонкодисперсных минералов, обрабатывается ультразвуком и поступает на контрольную электромагнитную сепарацию, где после двух-трех перечисток получается монофракция биотита. В камерный продукт флотации попадают полевые шпаты, кварц и сростки.

В связи с колебаниями соотношений ортоклаза и плагиоклаза их генераций в гранит-рапакиви, присутствием оболочек на калишпатовых овоидах, представленных кислым и средним олигоклазом, следует учитывать их содержание и размерность в конкретных пробах. При низких содержаниях одного из минералов (ортоклаз или плагиоклаз) целесообразно проводить флотационное обогащение немагнитной фракции [1, 2, 5] и получать коллективный концентрат полевых шпатов с последующей доводкой в тяжелых жидкостях.

Для получения ортоклаза, кварца и плагиоклаза немагнитный продукт сепарации на роликовом сепараторе 138Т–СЭМ подвергается доизмельчению до -0,1мм, проходит обесшламливание по классу –0,05 мм на сите в водной среде и поступает на флотацию. На этой крупности по данным минералогического изучения практически на 98 – 99% раскрываются между собой кварц, ортоклаз и плагиоклаз.

Флотация коллективного концентрата полевых шпатов от кварца проводится в кислой среде pH=1,8-2, создаваемой плавиковой кислотой. В качестве собирателя и вспенивателя используется катионный реагент АНП-14, загрузка собирателя 150 г/т– дробная (50 + 50 +50 г/т). В пенный продукт выделяется коллективный концентрат полевых шпатов (ортоклаз и плагиоклаз), а в камерном остается кварц. С целью максимальной очистки камерного продукта (кварца) от полевого шпата в конце процесса флотации производится загрузка собирателя АНП-14 в избытке (150+150 г/т). Контроль флотации осуществляется визуально (процесс идет на коагуляции) по нагрузке пены. В камерном продукте флотации остается фракция, содержащая 97-98% кварца. Обработка камерного продукта ультразвуком с частотой 22 кгц в течение 1-2 минут для удаления с поверхности реагентов, отсадка на сите 0,045 мм

и контрольная магнитная сепарация на изодинамическом сепараторе в сильном поле позволяет получить в немагнитном продукте мономинеральную фракцию, содержащую 98–99% кварца.

Пенный продукт флотации, состоящий из ортоклаза и плагиоклаза, когда содержание одного из них составляет доли или первые проценты, подвергается отмывке свежей водой до pH = 7 и направляется на селективную флотацию полевых шпатов. Флотация ортоклаза [5] проводится с применением в качестве подавителя плагиоклаза хлористого натрия при загрузке 10000 г/т в виде однопроцентного раствора и собирателя АНП-14 (150 г/т), загрузка дробная. В пенный продукт переходит калиевый полевой шпат – ортоклаз, содержание которого при трех перечистках в том же режиме составляет 85-90%. При необходимости оставить в камере ортоклаз целесообразно применять хлористый калий. Полученный пенный и камерные продукты обрабатываются ультразвуком при частоте 22 кГц в течение 1-2 минут с отсадкой на сите 0,05 мм для удаления с поверхностей минералов реагентов и направляются на разделение в тяжелых жидкостях с плотностью 2,60-2,62 г/см^3 для ортоклаза и 2,62–2,64 г/см^3 для плагиоклаза. В результате двух–трех перечисток получаем соответственно концентраты ортоклаза с содержанием 98–99% и плагиоклаза с содержанием 98–99% в тяжелой фракции. Контрольная электромагнитная сепарация на изодинамическом сепараторе СИМ-1 в следующем режиме: поперечный угол наклона 1-2^0, продольный угол наклона 24-26^0, ток 1,5 А позволяет удалить в электромагнитную фракцию зерна полевых шпатов с включениями в виде точек, примазок, пленок, а в немагнитную – мономинеральные фракции, содержащие 99–99,5% ортоклаза и плагиоклаза.

Таблица 1. Химический состав (в вес.%) исходных гранитов-рапакиви Салминского массива, технологической пробы и полевошпатового концентрата

Компоненты	Укса			Юкка-коски (средний по 19 пробам)
	Средний по 5 пробам	Технологическая проба	Полевошпатовый концентрат	
SiO_2	73.0	72.93	77.08	74.21
TiO_2	0.22	0.55	Нет	0.24
Al_2O_3	13.42	13.06	11.85	12.24
Fe_2O_3	0.88	2.70	0.19	1.04
FeO	1.83	0.50	-	1.47
MnO	0.04	-	-	0.04
MgO	0.32	0.06	0.33	0.24
CaO	0.91	1.40	1.19	0.61
Na_2O	2.78	2.96	3.22	2.78
K_2O	5.20	4.80	5.91	5.50
H_2O^+	0.26	0.40	-	0.30
П.п.п.	0.78	0.70	0.28	0.66
Сумма	99.65	100.06	100.05	99.66
$K_2O + Na_2O$	7.98	7.76	9.13	8.28
$K_2O : Na_2O$	1.87	1.7	1.85	2.0

Примечание: Использованные данные [4]

Минералогическое изучение пород и мономинеральных фракций свидетельствует, что для полевых шпатов и кварца по данным [4] характерно низкое содержание в составе кристаллической решетке красящих окислов и железа, а меланократовые минералы такие, как биотит, роговая обманка и некоторые акцессорные характеризуются высокой железистостью, что обусловлено генезисом гранит-рапакиви. Комплекс методов, использованных при выделении мономинеральных фракций, позволяет оценить поведение минералов в обогатительных процессах и аппаратах, эффективность их применения, а анализ полученных мономинеральных фракций полевых шпатов, кварца и др., определить предельную глубину обогащения гранит-рапакиви при использовании их в качестве сырья для керамической промышленности [7].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Берлинский А.И.* Разделение минералов. М.: Недра, 1988. 227 с.
2. *Барский Л.А.* Основы минераллургии. Теория и технология разделения минералов. М., 1985. 384 с.
3. *Кевлич В.И.* Методика разделения полевых шпатов и кварца из гранитов, пегматитов, гнейсов докембрия Карелии // Минералогия и геохимия Карелии. Петрозаводск, 1979. С. 157-165.
4. *Пеки А.С., Разоренова В.И.* Месторождения полевошпатового сырья Карелии. Л.: Наука, 1977. 146 с.
5. *Ревницев В.И.* Обогащение полевых шпатов и кварца. М., 1970. 129 с.
6. *Свириденко Л.П.* Петрология Салминского массива гранитов рапакиви. Петрозаводск, 1968. 107 с.
7. *Щипцов В.В.* Роль технологической минералогии при оценке многоцелевого использования индустриальных минералов республики Карелия // Значение исследований технологической минералогии в решении задач комплексного освоения минерального сырья: Материалы второго Российского семинара по технологической минералогии. Петрозаводск, 2007. С.16-27.

ТАЛЬКОВЫЙ КАМЕНЬ: ЕГО СВОЙСТВА И ПУТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Шеков В.А., Мясникова О.В., Иванов А.А.

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

Тальковый камень относится к важному природному материалу, который применяется в различных отраслях промышленности, главным образом, в виде блоков и конструкционных и архитектурных изделий.

История использования талькового камня насчитывает уже много столетий. В работе [1] упоминаются артефакты с возрастом более тысячи лет. Однако в промышленных масштабах тальковый камень для декоративных целей начал использоваться лишь в 1884 году в Финляндии, а многие важные сооружения были построены в конце XIX начале XX века. В России это явление в архитектуре получило собственное название «Северный Модерн». В геологической литературе этому камню уделялось относительно немного внимания. В основном, упоминания об использовании талькового камня в виде облицовочного и декоративного камня встречаются в архитектурных изданиях. К сожалению, в литературе, включая научную, встречаются неточности и просто неверная информация. Например, в работе [2] утверждается, что карельским талькохлоритом облицовано множество зданий Санкт-Петербурга, а сам камень обладает высокой теплоемкостью. Карельский тальковый камень никогда не использовался в архитектуре Санкт-Петербурга [3], а теплоемкость его практически не отличается от других горных пород.

Начало XX века стало вообще своеобразным закатом использования этого камня до тех пор, пока в 1980 году в местечке Юука (Финляндия) не была создана компания «Туликиви». Главной продукцией компании явились печи, камины и другие энергосберегающие устройства. Поскольку в СССР тальковый камень практически не использовался в пиленом виде в промышленности, исключая небольшое производство его для электротехнических целей, то и требования промышленности к нему не сформулированы. Вопрос о том, насколько оптимальны различные направления использования талькового камня, предполагается обсудить в настоящей статье.

К промышленным типам месторождений талькового камня относятся:

- месторождения талькового камня апоультрамафитового типа, связанные с метаморфизмом и метасоматическим изменением ультраосновных пород (перидотиты, дуниты, пироксениты);
- месторождения талькового камня апокарбонатного типа, связанные с метаморфизмом и метасоматическим изменением карбонатных пород (доломиты, магнезиты).
- экзогенные линзы и сложной формы тела порошковатых талькитов в корах выветривания массивных талькитов [4].

Все известные на сегодняшний день разведанные и разрабатываемые в мире месторождения блочного талькового камня приурочены к апоультрамафитовому типу.

На практике, тальковый камень добывается в виде блоков для производства пиленых облицовочных, декоративных, энергосберегающих изделий.

Тальковый камень состоит из талька, карбоната, хлорита с небольшим содержанием акцессорных минералов и относится к классу метаморфических пород. Он подразделяется на талькмагнезитовый, талькkарбонатный, талькхлоритовый камень. Существуют несколько синонимов для этого камня. Он хорошо известен в мире как горшечный или мыльный камень (soapstone), а также как спекшейт и гилштейн. Состоящий из мягких и полутвердых минералов, этот камень легко поддается обработке. Его месторождения представляют собой штоки, прожилки, линзы и пластообразные залежи. Тальк и карбонат в горшечном камне очень прочно связаны друг с другом, представляя собой однородную серую массу.

Тальковый камень, соответствующий требованиям промышленности по производству облицовочных изделий, достаточно редкий материал, а месторождения и местопроявления его приурочены к различным литологическим и тектоническим условиям. В Бразилии, Индии, Финляндии они встречаются в архейских зеленокаменных поясах в окружении ультраосновных и основных типов пород. В похожих условиях тальковый камень встречается и в Республике Карелия. Существуют различия в свойствах камня, обусловленные их минеральным составом.

До последнего времени, несмотря на его массовое использование в промышленности, четкого технического определения талькового камня, используемого в виде блоков, не существует. И только в последние два года благодаря геологам Геологической службы Финляндии, Университета г. Оулу, компаний Nunna Uuni, Polar Stone разработана классифиция талькового каменя и дано ему точное определение с точки зрения его промышленного использования в Финляндии [1].

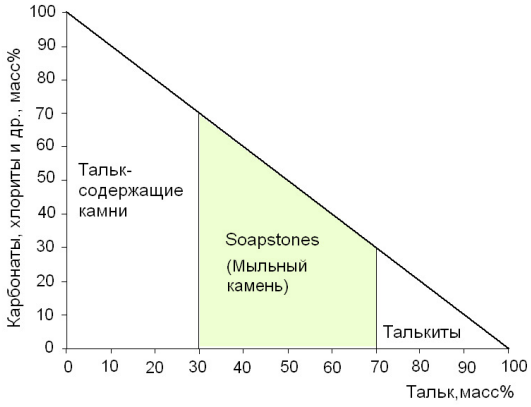


Рис. 1. Место талькового камня в ряду тальксодержащих пород [1]

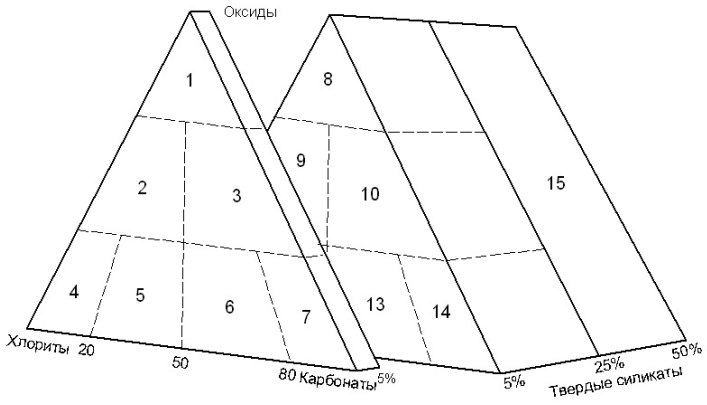


Рис. 2. Диаграммы вариаций составов талькового камня [1] На рисунке цифрами обозначены разновидности талькового камня: 1 – оксидный (например, хромитовый), 2 – оксид-хлоритовый., 3 – оксид-карбонатный, 4 – хлоритовый, 5 – хлорит-карбонатный, 6 – карбонат-хлоритовый, 7 – карбонатный, 8 – XX-содержаший оксидный и т.д. (например: пироксен содержащий оксидный)

Используя такой подход, финские геологи предлагают классифицировать тальксодержащие разновидности горных пород по содержанию различных минералов.

Из известных видов талькового камня, имеющего прикладное значение, рассмотрим два типа – финский из местечка Юука, где в настоящее время разрабатывается три аналогичных месторождения, и карельский (месторождение Турган-Койван-Аллуста, расположенное вблизи д. Кармасельга, Медвежьегорского района) (табл. 2, 3).

Таблица 1. Минеральный состав талькового камня

Минерал	Месторождения	
	Район м. Юука, Финляндия	Турган-Койван-Аллуста
Тальк	54	50
Карбонат	38	15
Хлорит	1	35
Рудные	7	-

Таблица 2. Физические параметры тальковых пород некоторых месторождений и воды

Параметр	Юука*	Турган-Койван-Аллуста**	Вода
Истинная плотность, кг/м^3	2980	2840 – 2890	1000
Пористость, %		0,8 – 2,88	0
Теплоемкость, кДж/кг·°С	0,98	0,8 – 0,9	4,2
Теплопроводность, Вт/мК	6,4	3,5 – 4,7	0,6
Коэффициент линейного термического расширения, 1/°С	0,0017	0,00005	
Температура плавления, °С	1600		

Примечание: * – по данным компании «Туликиви», ** – по данным [5]

Для примера отметим, что теплоемкость других горных пород очень близка к теплоемкости талькового камня и составляет для мрамора 0,8 кДж/кг·°С, песчаника – 0,71, гранитов – 0,75, базальтов – 0,84. Что касается воды, самым важным является высокое значение удельной ее теплоемкости, которая становится сегодня популярным теплоносителем в системах отопления. Другими словами, чтобы обеспечить требуемую температуру, вода может поглотить или отдать количество тепла значительно большее, чем любое другое тело такой же массы. Теплопроводность гранитов близка к значению 2,8 Вт/мК, габбро – 0,55 – 0,62 Вт/мК.

В работе [5] рассмотрены тепловые свойства талькохлоритовых сланцев. В соответствии с этим, способность материала аккумулировать тепло и отдавать его при охлаждении выражается тепловой активностью

$$b = \sqrt{\lambda \times c \times \rho}$$,

Где:

λ – теплопроводность, Вт/(м К)

с – удельная теплоемкость, Дж/(кг К)

r – плотность материала, кг/м3

По этому показателю за счет более высокой теплоемкости тальккарбонатные породы превосходят такие породы, как гранит, диабаз, мрамор на 15-20%, но уступают кварцитам на 15%. Однако, уникальность тальковому камню придает не этот показатель, а теплопроводность в сочетании с хорошей обрабатываемостью и незначительным температурным расширением. То есть, при подведении к тальковому камню высокотемпературного источника тепла (открытый огонь с температурой около 500°С), он будет с высокой скоростью «впитывать» это тепло в связи с высоким температурным градиентом на границе до своих предельных возможностей, обусловленных теплоемкостью, а затем, при низком температурном градиенте (в комнате, при температуре 20-24°С) будет достаточно долго «отдавать» это тепло в окружающую среду.

Для горных пород в общем виде коэффициент теплоотдачи при конвективной теплопередаче определяется формулой [3]:

$$\alpha = \frac{\lambda}{\Delta T}(gradT)$$,

Где: λ – коэффициент теплопроводности воздуха, Вт/(м К)

Т – температура, ^{o}С.

Именно на этом эффекте основывается использование талькового камня в производстве теплоаккумулирующих печей и каминов, которые являются в настоящее время самым главным продуктом из этого камня. При сгорании охапки дров, тепло, выделяемое при их горении, эффективно поглощается корпусом печи, а затем остается в помещении, а не вылетает в трубу. Главным образом, эти свойства и определяют основное современное направление использования тальккарбонатных пород, добываемых в настоящее время в Финляндии.

В предыдущие годы нами проведены исследованияталькового камня апоультрамафитового типа на территории Карелии [6]. Если рассматривать эти объекты на тальк, то наилучшими качествами по данным [7] обладает тальк из Светлозерского месторождения.

Таблица 3. Минералогический состав тальксодержащих пород Светлозерского месторождения [8]

Характеристика природных типов руд	Средний минеральный состав, объемный, %					
	Тальк	Карбонат	Хлорит	Серпентин	Магнетит	Сульфиды
Карбонат-тальковые крупнозернистые	45	40	3	5	10	1
Карбонат-тальковые мелкозернистые	50	40	3	2	6	1
Хлорит-карбонат – тальковые крупнозернистые	42	35	14	3	6	1
Карбонат-хлорит тальковые мелкозернистые	40	38	10	9	3	1

Белизна по этим же данным [7] составляет для наиболее изученной части месторождения от 53 до 78,5%, составляя в среднем 68,7%, что объясняется наличием большого количества примесей.

Очевидно, что с такими качественными параметрами талька карельские месторождения талькового камня в современных условиях не конкурентоспособны на тальк по сравнению с зарубежными тальковыми объектами.

Например, характеристика талька, производимого в Турции, показана в табл. 4.

Основным различием в свойствах между указанными сортами талька является его белизна, определяемая содержанием Fe_2O_3.

Если сравнить петрографические характеристики тальккарбонатных пород из финских месторождений с объектами Светлоозерского месторождения, то видно, что они, практически, аналогичны (см. табл.1 и табл.3).

Рассмотрим экономический аспект. Монополистом в области производства изделий из талькового камня в мире являются финские компании и среди них – крупнейшая компания «Туликиви». Ежегодно добывается свыше 40000 кубических метров блоков талькового камня, которые на предприятиях и обрабатываются. Непереработаннй камень не продается принципиально, во-первых, чтобы не создавать себе конкурентов на рынке изделий, во-вторых, переработка камня на месте значительно увеличивает товарную стоимость продукции. Поэтому цены на блоки установить невозможно. Стоимость конечной продукции зависит от многих факторов, в том числе и технологических, и варьирует в зависимости от модели печи-камина, ее размера, ее веса.

,

Таблица 4. Характеристики турецкого талька [9]

Производитель		Турция		
ТАЛЬК		D	EXTRA	SUPER EXTRA
Физические свойства	Влажность (ISO 787/ 2)	<0,5%	<0,5%	<0,5%
	Плотность (ISO 787/ 10)	2,8 г/мл	3 г/мл	2,7 г/мл
	Твердость по шкале Мооса	1	1,2	1
	Значение pH (ISO 787/9)	8,3	8,2	7
	Маслоемкость (ISO 787/5)	38 мл/100 г	36 мл/100 г	38 мл/100 г
	Белизна (Ry , C /2, DIN 53163)	>75%	>82%	>92%
	Насыпная плотность (ISO 787/11)	0,55 г/мл	0,48 г/мл	0,50 г/мл
Специфические характеристики	Остаток на сите 44мкм	< 1%	< 1%	< 1%
	Наибольший размер частиц (D 98%)	44 мкм	38 мкм	44 мкм
	Размер средней частицы (D 50%) мкм	4,9 мкм	4,9 мкм	11 мкм

Финские геологи предлагают оценивать стоимость по простой формуле: в стоимости печи стоимость талькового камня составляет 50%. Если принять во внимание, что средняя печь весом 1,5 тонны имеет стоимость около 3000 евро, то стоимость блока в 1 куб. метр при среднем весе одного куба в 2980 кг составит около 3000 евро, или 1000 евро за тонну. Даже если такие расчеты не совсем корректны и цена за блок значительно ниже, то все равно видно, что стоимость одного кубического метра блока промышленного размера сопоставима со стоимостью основных сортов камня.

С другой стороны, мраморные блоки, технология добычи которых незначительно отличается от технологии добычи талькового камня, имеют стоимость в несколько сотен долларов за кубический метр.

В то же время цены на чистый тальк в течение многих лет находятся на одном уровне. Цены на некоторые сорта талька приведены в табл. 5.

Таблица 5. Мировые цены на основные сорта талька в 2000-2007 гг., $/т или £/т [9]

Норвежский, франко-склад, Великобритания, £/т								
Сорт талька	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007*
Молотый	165	165	166	166	166	166	166	166
Микронизироваанный	257	257	257	257	257	257	257	257
Китайский, обычный, франко-склад, Великобритания, £/т								
200 меш	208	213	213	213	220	220	220	220
350 меш	215	220	220	220	224	224	224	224
Индийский, фоб Индия, $/т								
Красочного сорта 20-25 мкм		200	190	190	190	190	190	190
Пластикового сорта 20-10 мкм		203	203	203	203	203	203	203
Косметического сорта 200-230 меш			193	193	193	193	193	193
Американский, франкопредприятие, $/т								
Красочного сорта, 200 меш	100		104	120	126	126	126	126
	180		187	200	210	210	210	210
	83		87	87	92	92	92	92
	92		97	110	115	115	115	115

Данные на январь 2007 года

Видно, что за последние годы цены практически не изменились, что свидетельствует о том, что рынок стабилен и не ощущает потребностей в новом сырье.

Таким образом, упрощенная оценка технико-экономических параметров талька из талькового камня и блоков из него позволяет сделать вывод, что направление использования талькового камня апоультрамафитового типа архейского возраста, выявленного на сегодняшний день в Карелии более оправдано и эффективно при использовании его в качестве блоков. Такое направление принято в настоящее время зарубежными компаниями по аналогичным месторождениям, в том числе компанией «Туликиви» (Финляндия), а именно, производство высокоэффективных теплоаккумулирующих печей и каминов, а также других облицовочных изделий. Преимуществом этого камня являются его хорошая обрабатываемость и высокая теплопроводность, что позволяет получать не только функциональные изделия в виде печей и каминов, но и

достаточно оригинальный декоративный материал. Изготовление посуды, сувениров, облицовочных изделий, различного рода эксклюзивных предметов не могут быть основными в общей технологической цепочке по переработке блочного талькового камня. Опыт Финляндии показывает, что последнее становится лишь попутной продукцией.

Прибыль от продажи одной тонны блочного талькового камня выше аналогичной прибыли от продажи тонны чистого талька при его более простом переделе.

При этом следует иметь в виду, что при добыче блочного камня до 80% горной массы уходит в отвалы, которые, в случае появления более эффективных способов извлечения талька из этих горных пород, вполне могут быть использованы для промышленного производства различных мономинеральных продуктов из талькового камня.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Kärk A., Leinonen S., Uusitalo J.* Soapstones – how should they be defined//Report. International geological congress. Oslo, 6-14 August, 2008.

2. *Фролов П.В.* Тальк Карелии: размещение проявлений, некоторые особенности геологии и минерагении залежей промышленных типов руд // Геолого-технологические исследования индустриальных минералов Фенноскандии. Петрозаводск, 2003. С.38-51.

3. *Буллах А.Г.* Камни, среди которых живут горожане // Соросовский образовательный журнал. Т. 7. № 9. 2001. С. 68-74

4. *Кужварт М.* Неметаллические полезные ископаемые: пер. с англ. М.: Мир, 1986. 472 с.

5. *Соколов В.И.* Талько-хлоритовые сланцы и пути их комплексного использования / КарНЦ РАН. Петрозаводск, 1995. 128 с.

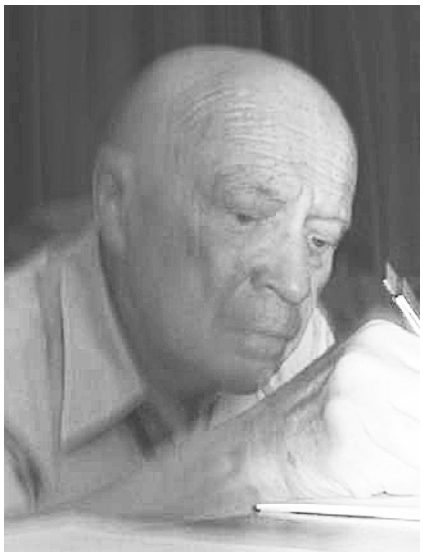
6. Минерально-сырьевая база Республики Карелия: Кн.2. / под ред. В.П.Михайлова, В.Н.Аминова. Петрозаводск: Карелия, 2006. 355 с.

7. *Tyni M., Michailov V., Furman V.* Geology, commercial assessment, and utilization of talc deposits//Comprehensive assessment of Nonmetalliferous Deposits. Helsinki University of Technology: proceedings of the Finnish – Soviet Symposium held in Helsinki, Finland, 14-15 November, 1990. P.25-38.

8. *Фурман В.Н.* Отчет о результатах поисков тальковых руд и талько-хлоритового камня в РК в 1990-94 гг. 1994. Фонды КГЭ.

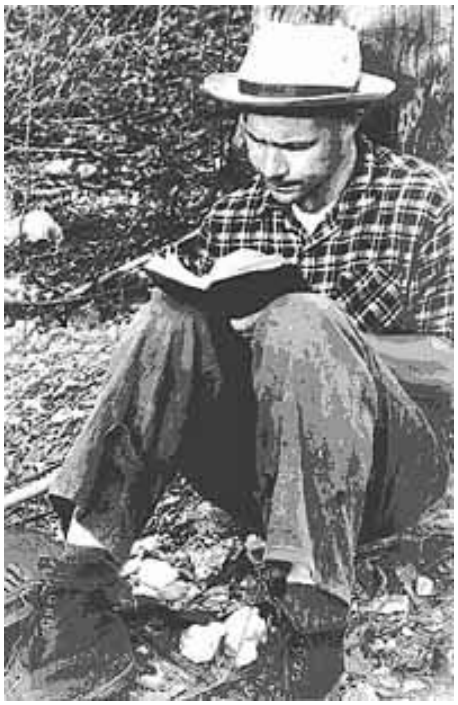
9. Обзор рынка талька в СНГ. Исследовательская группа "ИНФОМАЙН"25.07.2007, http://mi.aup.ru/res/23/1205823.html

ПАМЯТИ Б.М. ШМАКИНА (1931 – 2009)



12 мая 2009 года – это тот день, когда мы с большой грустью узнали, что после тяжелой и продолжительной болезни скончался выдающийся специалист в области геохимии и минералогии пегматитов, заслуженный деятель науки РФ, профессор, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник Института геохимии СО РАН, профессор кафедры геммологии ИрГТУ, член бюро Комиссии по технологической минералогии РМО, Почетный член Российского минералогического общества, действительный член Международной академии информатизации, заслуженный ветеран СО РАН Борис Матвеевич Шмакин.

Б.М. Шмакин родился в г. Москве в 1931 г. В 1954 г. закончил Московский геолого-разведочный институт, в 1971 году защитил докторскую диссертацию по теме «Геохимия мусковитовых пегматитов Восточной Сибири». Его научные труды, особенно по гранитным пегматитам – это золотой фонд геологической литературы. Всю жизнь Борис Матвеевич накапливал новые факты и рождал новые идеи. Им опубликовано более 300 работ, в том числе 17 монографий. Свыше 30 работ изданы за рубежом.



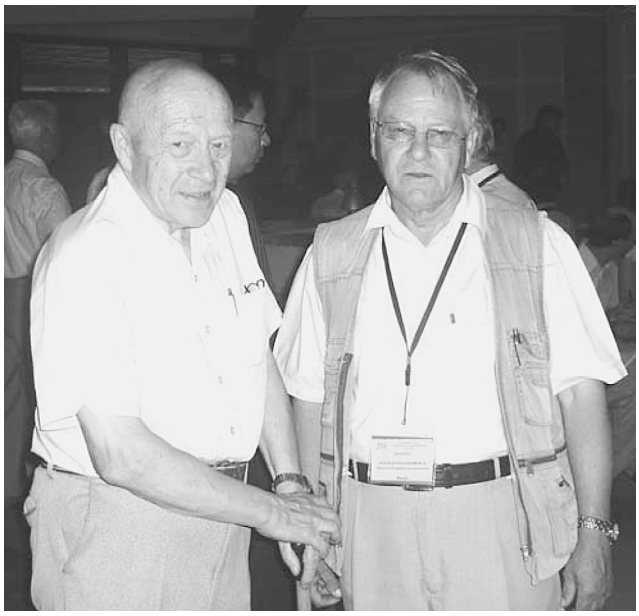
Б. Шмакин в маршруте на пегматитовых жилах Мамы, 1961 год. Фото: В. Макрыгина

В 1980-1984 годах Б.М. Шмакин был научным советником секретариата ООН. Он побывал в 36 странах мира, в том числе в таких экзотических как Ангола, Мозамбик, Зимбабве, читал лекции в университетах Индии,

США, Италии, ЮАР, участвовал в конгрессах и конференциях США, Китая, Индии, Италии, ЮАР, Болгарии, Польши, Германии и др.

В ИрГТУ профессорствовал с 1984 г., а на кафедре геммологии с 1996 г. Преподавал такие дисциплины, как «История геммологии», «История ювелирного искусства», «Основы коллекционного и музейного дела», «Языковая подготовка в геммологии и ювелирном деле», «Диагностика ювелирных минералов». Это увлечение геммологией было очень широким. Мне бы хотелось привести здесь цитату из его статьи-размышления «Правда о магических камнях»: «Явными лечебными свойствами обладает лишь ограниченное число минералов. Это, прежде всего, магнетит, имеющий, как и создаваемые человеком магниты, достаточно сильное магнитное поле. Магнитотерапия используется для лечения бронхита и астмы, некоторых травм, радикулита, сахарного диабета. Самоцветы, если они содержат железо, становятся слабомагнитными в электромагнитных полях. И поскольку таких полей вокруг нас достаточно много, многие камни – гранаты, шпинели, хризолит (перидот), некоторые турмалины, нефриты, яшмы, жадеиты – могут оказывать слабое воздействие на окружающие ткани. Особого внимания заслуживает красивый непрозрачный камень кровавик (гематит) – природный оксид трехвалентного железа. Он активно использовался в древней медицине как кровоостанавливающее средство и является в ряде случаев аналогом магнетита. Нет сомнения в том, что бусы из кровавика или крупные вставки в колье, броши могут создавать слабое магнитное поле. А вот полезно ли оно – вопрос, решаемый строго индивидуально…

ПЕРЕЙДЕМ к амулетам, "своим" камням для рожденных под тем или иным знаком зодиака, в тот или иной год восточного календаря. Видимо, многие уже обратили внимание на разнобой в рекомендациях по этим самоцветам.



Б.М. Шмакин и Г.А. Юргенсон во время Международного геммологического конгресса, Москва, 2007 г.

Предпочтение в календарях и рекламе всегда отдается красивым самоцветам, достаточно широко распространенным в той или другой части света. Ясно, что главная цель «минералогических» рекомендаций астрологов вполне согласуется с коммерческой. Главное, конечно, не чудеса» и пророчества астрологии, а обеспечение сбыта имеющихся в продаже камней. Существуют создаваемые ювелирными фирмами и магазинами рекомендации по камням на каждый день недели и даже на каждый час суток. И все же мы должны относиться снисходительно к желанию человека обзавестись своим «счастливым» камнем. Обладатель (чаще обладательница) такого самоцвета чувствует себя более уверенно. По существу, приобретение камня обеспечивает ту ненавязчивую психотерапию, которая, как правило, дает положительный эффект».

Борис Матвеевич отмечал: «… профессия геолога всегда была окутана ореолом романтики. Но на самом деле без огромного объема знаний, терпения и везения в этом ремесле – никуда. Геолог не имеет права на ошибку, ведь бурение только одной скважины обходится государству в миллионы рублей. Поэтому курс у настоящего искателя недр должен быть не на юг или запад, а исключительно на профессионализм…».

К тому же он был любитель и знаток классической музыки, театрал, коллекционер монет.

В 2004 году я получил письмо от Б.М. Шмакина, в котором, в частности, он писал: «С моей стороны имеется предложение проводить ежегодные семинары (как минимум один раз в год) по определенным разделам технологической минералогии. Местом проведения таких семинаров может стать г. Петрозаводск. Если мы сможем общими усилиями найти финансовую поддержку, то второе предложение – под титулом комиссии издавать ежегодный сборник по технологической минералогии с авторским охватом специалистов различных отделений РМО. Редакционную коллегию сформировать на основе руководящего состава комиссии. Выпустить

подобный сборник сможем уже в этом году как выпуск №1». Приятно отметить, что Комиссия примерно так и организует в настоящее время работу, а эта статья выходит в память о нем в выпуске №4.

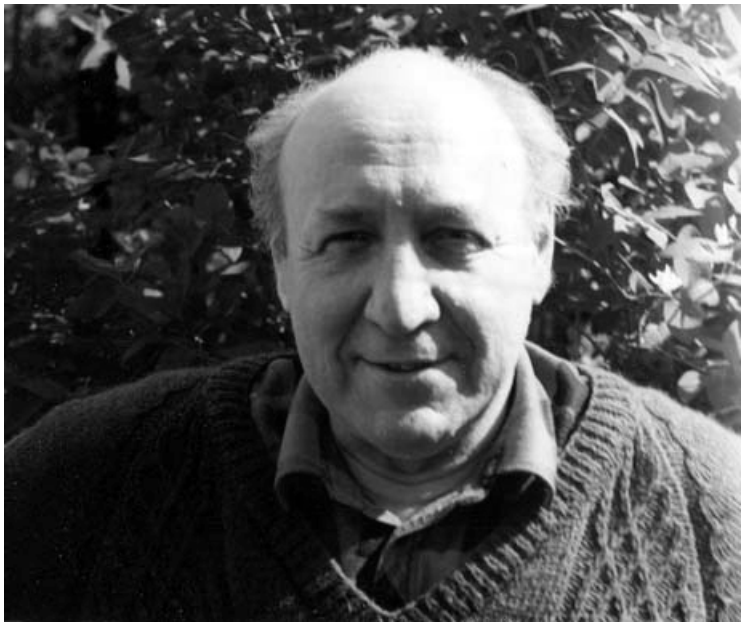
Последний раз я слышал его доклад на английском совершенном языке на Международном геммологическом конгрессе в Москве в июле 2007 г. Тогда на всех заседаниях я сидел с ним рядом, мы много обсуждали, он вспоминал поездки в Карелию. Нельзя было предположить, что эта была последняя встреча. В конце 2008 г. по почте получил от него книгу воспоминаний «Дороги московского сибиряка». «Дорогому коллеге Владимиру Владимировичу на добрую память» – таким образом завершилась наша переписка.

Председатель Комиссии по технологической минералогии РМО *В. Щипцов*

ПАМЯТНЫЕ ДАТЫ

ГРОДНИЦКИЙ ЛЕВ ЛЬВОВИЧ

(1935-1998)



Л.Л. Гродницкий – видный исследователь геологии и петрологии гранитных пематитов Фенноскандинавского щита, доктор геолого-минералогических наук, заслуженный деятель науки Республики Карелия, первооткрыватель слюдяного месторождения Слюдозеро.

В 1958 г. окончил геологический факультет Саратовского государственного университета имени Н.Г. Чернышевского**,** в 1964 г. – аспирантуру при кафедре петрографии. Работал коллектором, ст. техником, геологом, ст.геологом, начальником тематической партии Северной геологической экспедиции СЗГУ, начальником партии Института геологии при Саратовском университете. С 1967 г. – мл., затем старший и ведущий научный сотрудник, гл.научный сотрудник (1990-1998) Института геологии КарНЦ РАН (бывшего КФАН СССР). Основное направление деятельности – исследование процессов пегматитогенеза, регионального метаморфизма, метасоматоза, гранито– и рудообразования. Внес значительный вклад в научные и практические исследования мусковитовых и керамических пегматитов. Под его руководством изучена и систематизирована внутренняя структура пегматитов всех фациальных групп и парагенетических типов Карело-Кольского региона. Создатель научной школы по геологии, минералогии и геохимии пегматитов Карело-Кольского региона. Одним из главных итогов стала монография Л.Л. Гродницкого «Гранитные пегматиты Балтийского щита» (Л., 1982).

В целом, если суммировать многолетние детальные геолого-петрологические исследования крупных пегматитовых полей мусковитовых, мусковит-редкометалльных и керамических пегматитов восточной части Фенноскандинавского щита: в Беломорском поясе – Слюдозеро, Плотина, Чкаловский рудник, Малиновая варакка, Хетоламбина, Хитогора, Полярная гора, Тэдино, Риколатва, Лейвойва, Неблагора, Слюдяной Бор; в Приладожском поясе – Люпикко, Питкярантский архипелаг, Уконлампи, Нуолайниеми, Мурсула, Линнаваара, Импиниеми, о. Путсаари, Л.Л. Гродницкий с группой исследователей (А.И. Крохин, к.г.-м.н.А.К. Полин, к.г.-м.н. В.А. Коншин, А.М. Ручьев) составил детальные (на основе масштаба 1:2000) геологические погоризонтные карты и разрезы изученных месторождений, базисом для которых были результаты комплексного исследования состава вмещающих толщ, процессов регионального полиметаморфизма, гранитообразования, метасоматоза и генетически связанных с ними пегматито– и рудогенеза.

Мусковитовые пегматиты некоторых объектов изучены до глубины 500-700 м с использованием результатов детального картирования и изучением керна сотен глубоких скважин. В то, можно сказать, золотое для геологии время исследователю удалось показать минералого-петрографические погоризонтные планы в масштабах 1:20, 1:50, 1:100 и 1:200. К этим планам приложены разрезы и блок-диаграммы пегматитовых тел, подробно представляющие внутреннее строение и состав пегматитов. Это пример уникальнейшего сбора фактического материала.

Л.Л. Гродницкий разработал авторскую схему последовательности эндогенных событий, прямо или косвенно управляющих процессами пегматито– и рудогенеза. Им были выделены этапы и фазы структурной

эволюции, этапы и стадии регионального метаморфизма, гранитообразования и метасоматоза с детальной характеристикой минеральных парагенезисов и оценками РТ-условий их формирования, а также данными по химизму минералов переменного состава. Сравнительный анализ процессов был построен на разработанных им структурно-петрологической классификации пегматитовых систем и парагенетической классификации пегматитовых тел. Очень важным выводом стали представления автора о гетерогенности пегматитов Фенноскандинавского щита. Мусковитовые пегматиты Беломорья, по взглядам Л.Л. Гродницкого, формировались по схеме жил альпийского типа в связи с метаморфизмом высоких давлений. Исследования имели практический характер. Так им была сделана общая оценка запасов и промышленных перспектив изученных площадей на мусковит, керамическое сырье и жильный кварц.

Им был подготовлен к изданию «Атлас пегматитов и пегматитовых систем восточной части Балтийского щита». Чтобы издать рукопись, необходимо было искать в трудное начало перестроечное время (1992-1998 гг.) источники финансирования, т.е. спонсоров. Теплилась надежда на то, что, якобы, появился интерес книгоиздателей и имеется определенная финансовая поддержка со стороны горно-обогатительных комбинатов «Карелсдюда» и «Ковдорслюда». На практике получилось наоборот. В результате всех личных переговоров автора, построенных на вере в новые экономические отношения, институт вообще лишился довольно объемной и хорошо подготовленной рукописи. К сожалению, после смерти автора мы не имеем в наших архивах этих материалов и никаких завещаний или записок. Хочется верить, что институт сможет где-то обнаружить данный ценный манускрипт и издать хотя бы в электронном виде на сайте организации.

Результаты опубликованы в пяти монографиях и 60 статьях, важнейшие из которых приводятся в приложенном ниже списке.

В последние годы, когда уже близко подошла к нему тяжелая болезнь, Л.Л. Гродницкий несмотря на недуг активно занялся сравнительным анализом условий формирования благородных, редких и цветных металлов на территории Карелии и зарубежной части щита. В этот же период он стал одним из учредителей Общественно-политического центра "Контакт", который был создан в феврале 1998 года, в период выборов Председателя Правительства Республики Карелия, депутатов Законодательного Собрания РК и глав местного самоуправления республики, когда наблюдалась резкая поляризация политических сил. Центр с первых дней не примкнул к той или иной команде, занял независимую позицию.

Л.Л. Гродницкий остается в памяти общительным, добрым и эрудированным человеком, большой знаток классической музыки и литературы. «Виноградная косточка» Булата Окуджавы была его песней до конца и очень соответствует ему:

«Виноградную косточку в теплую землю зарою,
И лозу поцелую и спелые гроздья сорву,
И друзей созову, на любовь свое сердце настрою.
А иначе, зачем на земле этой вечной живу?...».

30 мая 2010 г. исполнилось Льву Львовичу бы 75 лет.

Его сердце остановилось 17 июня 1998 г. Похоронен геолог Лев Гродницкий на Бесовецком кладбище г. Петрозаводска.

Список важнейших публикаций Л.Л.Гродницкого

Гродницкий Л.Л., Полин А.К. Пегматиты северной Карелии и их ореолы. Изд. Карелия. Петрозаводск, 1975. 227 с.

Гродницкий Л.Л. Формации и парагенетические типы пегматитов восточной части Балтийского щита // Зап. ВМО, Вып. 1, 1976. С. 40-47

Гродницкий Л.Л. Проблема классификации пегматитов и формационный анализ // Геология, минералогия и геохимия пегматитовых полей Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1978. С. 4-25

Гродницкий Л.Л. Гранитные пегматиты Балтийского щита. Л.: Наука, 1982. 294 с.

Гродницкий Л.Л., Сафронова Г.П., Щипцов В.В. Пегматитовые формации и пояса Балтийского щита // Геология и генезис пегматитов. Л.: Наука, 1983. С. 213-225

Гродницкий Л.Л., Ручьев А.М., Крохин А.И. Лоушское пегматитовое поле. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1985. 177 с.

Гродницкий Л.Л., Байбусинов Ш.Ш. Перспективы научно-исследовательских и поисково-разведочных работ на благородные, редкие и цветные металлы. Петрозаводск, Кар НЦ РАН, 1995. 119 с.

Группа коллег и друзей

АННОТАЦИИ

УДК 549.08 + 553

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ МИНЕРАЛОГИИ. ПИРОГОВ Б.И. // ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МИНЕРАЛОГИЯ, МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ. ПЕТРОЗАВОДСК: КАРЕЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РАН, 2009. С. 7–23: ИЛ. 8, БИБЛИОГР. 33 НАЗВ.

Рассмотрены основные проблемы технологической минералогии, связанные с особенностями минералого-технологической оценки природных и техногенных видов минерального сырья; определением рационального комплекса минералого-технологических методов исследования вещества; разработкой новых методов технологической минералогии при оценке руд металлов и нерудного сырья; определением роли обломочных малых частиц в процессах технологической переработки различных видов сырья; направленными изменениями технологических свойств минералов на наноуровне и получением новых материалов; комплексным использованием минерального сырья при добыче и переработке; совершенствованием методов технологической минералогии на ранних стадиях геологоразведочных работ и на современном ГОКе; развитием системы геолого-технологического моделирования при картировании месторождений различных генетических типов полезных ископаемых.

The basic problems of technological mineralogy connected with features of a mineralogical-technological estimation of natural and technogenic kinds of mineral raw materials are considered; definition of a rational complex of mineralogo-technological methods of research of substance; working out of new methods of technological mineralogy at an estimation of ores of metals and nonmetallic raw materials; role definition detrial small particles in processes of technological processing of various kinds of raw materials; the directed changes of technological properties of minerals on nanolevel and reception of new materials; complex use of mineral raw materials at extraction and processing; perfection of methods of technological mineralogy at early stages of prospecting works and on modern GOKa; development of system of geological-technological modelling at deposit mapping of various genetic types of minerals.

УДК622.7:05

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПЕРЕРАБОТКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ НА ОСНОВЕ ИЗМЕНЕНИЯ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ МИНЕРАЛОВ. Т.С.ЮСУПОВ // ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МИНЕРАЛОГИЯ, МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ. ПЕТРОЗАВОДСК: КАРЕЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РАН, 2009. С. 23–27: ТАБЛ. 3, ИЛ. 4, БИБЛИОГР. 10 НАЗВ.

В статье изложены основные положения механоактивации и механохимии минеральных веществ. Описаны новые подходы к переработке и использованию руд на основе направленного изменения свойств минералов методами механической активации.

Показаны возможности управления реакционной способностью упорных минералов, в частности апатита путем введения в процесс механоактивации катионообменников, представленных цеолитами (клиноптилолитом). Приведены примеры обратной задачи снижения водорастворимой способности монофосфата кальция (суперфосфат) путем его твердофазного взаимодействия с цеолитом при механических воздействиях.

Paper deals with basic statements of mechanoactivation and mecahno chemistry of mineral substances. New approaches to ores processing and utilization are described; these approaches are based on the directed changes of minerals' characteristics by mechanoactivation methods.

Possibilities of managing of persistent minerals' reaction capacity are shown. Special attention is paid to apatite case when catine exchangers presented be zeolites (clinoptilolite) is introduced to the process. The inverse problem of decreasing of water soluble capacity of calcium mono phosphate (super phosphate) through its solid phase interaction with zeolite under mechanical impact is cited as an example.

УДК 549.08:622

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ МИНЕРАЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РУД ПРИ СОЗДАНИИ ТЕХНОЛОГИЙ ИХ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ. ОЖОГИНА Е.Г., РОГОЖИН А.А. // ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МИНЕРАЛОГИЯ, МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ. ПЕТРОЗАВОДСК: КАРЕЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РАН, 2009. С. 27–31: БИБЛИОГР. 7 НАЗВ.

Сложность минерального состава и строения современных руд определяют необходимость создания эффективных технологий их комплексной переработки. Сегодня сформировались основные направления минералогических исследований, главным из которых является оценка технологических свойств минерального сырья на всех стадиях изучения и освоения месторождений полезных ископаемых.

Complicated composition and morphometric features of the ores being now supplied to metallurgical enterprises determine the necessity to develop effective innovative technologies of these ores complex

processing.Today the basic directions of mineralogical investigations have been formed already, and the main one is the estimation of technological characteristics (properties) of raw material at every stage of mineral deposits investigation and exploitation.

УДК 553.611.004.12+549+666.9.017+622.24.06[1]7+691.4+"313"

МИНЕРАЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА НЕРУДНОГО СЫРЬЯ: ПРОГНОЗ ОБОГАТИМОСТИ И КАЧЕСТВА ГОТОВОЙ ПРОДУКЦИИ. ЛЫГИНА Т.З., КОРНИЛОВ А.В. // ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МИНЕРАЛОГИЯ, МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ. ПЕТРОЗАВОДСК: КАРЕЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РАН, 2009. С. 31–37: ТАБЛ. 1, ИЛ. 4, БИБЛИОГР. 5 НАЗВ.

Применение рационального комплекса аналитико-технологических методов исследования позволяет прогнозировать возможности обогащения нерудного сырья (мелкоразмерной слюды, волластонитовых и спекуляритовых руд, кварцитов, титан-циркониевых песков) и разрабатывать эффективные схемы его переработки. Прогноз качества продукции на основе глинистого сырья (керамических стеновых, облицовочных и теплоизоляционных материалов, буровых растворов, бентонов) осуществляется по минералого-технологическим показателям: обменной емкости, числу глинистости, количеству монтмориллонитового компонента, отношения заселенностей ионами Fe^{3+} в структуре монтмориллонита позиций $П_2$ и $П_1$ и др.

Using the rational complex analyst-technological methods of the research enables forecasting the possibility of the enrichment no ore raw material (fine-sized micas, wollasstonite and specularite ores, quartzites, titanium-zirconium sandes) and developing the efficient schemes of its conversion. Forecast quality of the product on base clayey raw material (ceramic wall, face and heat saving material, bore solution, bentons) is realized on mineralogy-technological factors: exchanging capacity, clayey count, content of montmorillonite component, relations quantity of Fe^{3+} ions in position P_2 and P_1 of montmorillonite structure and others.

УДК 553.6: 470.22

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. // ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МИНЕРАЛОГИЯ, МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ. ПЕТРОЗАВОДСК: КАРЕЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РАН, 2009. С. 37–56: ТАБЛ. 14, ИЛ. 17, БИБЛИОГР. 67 НАЗВ.

Материал изложен на основании большого объема выполненных геологических и технолого-минералогических исследований целого ряда индустриальных минералов Карелии по программам нескольких проектов последние двадцать лет изучения. Показаны перспективы переработки конкретных природных типов руд (кианит, графит, шунгитовые породы, апатит, кварц, гранат, нефелин-полевой шпат, анортозит и другие). Подчеркнута роль и влияние геолого-минералогических факторов и типоморфных свойств минералов на оптимальный выбор технологии переработки от стадии рудоподготовки до циклов обогащения. Дана перспективная оценка, сопоставимая с минеральным потенциалом всей Фенноскандии. Приведен список основных опубликованных материалов сотрудниками института.

The data presented were obtained by extensive geological and technological-mineralogical study of quite a number of Karelia's industrial minerals conducted under several projects over the past twenty years. The processing potential of natural ore types, such as kyanite, graphite, shungite rocks, apatite, quartz, garnet, nepheline-feldspar, anorthosite etc., is shown. The role of the geological-mineralogical factors and typomorphic properties of minerals and their effect on the optimum selection of recycling technology from an ore dressing stage to beneficiation cycles are emphasized. Their potential, comparable to the mineral potential of all Fennoscandia, is evaluated. A list of basic publications, written by scientists of the Institute of Geology, is presented.

УДК 549.613.3: 470.21

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВАХ КИАНИТОВЫХ РУД КЕЙВ. НЕРАДОВСКИЙ Ю.Н., ВОЙТЕХОВСКИЙ Ю.Л., КАРПОВ С.М. // ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МИНЕРАЛОГИЯ, МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ. ПЕТРОЗАВОДСК: КАРЕЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РАН, 2009. С. 56–66: ТАБЛ. 5, ИЛ. 27, БИБЛИОГР. 5 НАЗВ.

Отмечается, что роль разных типов руд в формировании месторождений кианитовых руд неодинакова. Новые результаты публикуются на основе исследования технологической пробы конкреционных руд месторождения Новая Шуурурта. Исследования текстуры в разрезах образцов позволили выделить в руде четыре компонента: кианитовые конкреции, кианитовые параморфозы, слюдисто-кварцевый субстрат и слюдисто-кварцевыми прожилки.

С учётом размеров конкреций и параморфоз, рекомендуемые размеры частиц руды для предварительного обогащения, могут быть 45, 37, 25 и 20 мм. При этом измельчении могут раскрыться конкреции и параморфозы.

The authors note that various ore types contribute differently to the formation of kyanite ore deposits. New results, obtained by analyzing an industrial sample of concretionary ore from the Novaya Shuururta deposit, are presented. Textural analysis of the samples has revealed four components of the ore: kyanite concretions, kyanitic paramorphs, mica-quartz substrate and mica-quartz veinlets.

Considering the sizes of the concretions and paramorphs, the recommended particle sizes of the ore to be preliminarily dressed are 45, 37, 25 and 20 mm. At such grinding, concretions and paramorphs may be opened.

УДК 553.492: 470.13

АЛЮМИНЕВОЕ СЫРЬЕ: НОВЫЕ МЕТОДЫ И ПОДХОДЫ ГЛУБОКОЙ И КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ. ВАХРУШЕВ А.В., КОТОВА О.Б. // ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МИНЕРАЛОГИЯ, МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ. ПЕТРОЗАВОДСК: КАРЕЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РАН, 2009. С. 66–69: ТАБЛ. 1, БИБЛИОГР. 10 НАЗВ.

Подчеркивается, что на Тимане существует два разных минералого-технологических типа бокситов – каолинит-гиббситовый бессернистый и каолинит-бемитовый сернистый, которые существенно имеют различия в технологических подходах. Предложены новые методы, что позволит более эффективно использовать алюминиевое сырье при глубокой комплексной переработке и расширить сферы потребления, как самого сырья, так и утилизацию отходов.

The technological researches of Timan bauxites, which is a real component of the raw base of the aluminum industry of the country, the source of native white low-iron bauxites are shown. The methods of researches of physical and chemical features and structural changes of fine component of aluminum raw are suggested.

УДК: 549.08: 470.21

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУД В СЕРПЕНТИНИТАХ (НА ПРИМЕРЕ ПЕЧЕНГИ). РАКАЕВ А.И., НЕРАДОВСКИЙ Ю.Н., ЧЕРНОУСЕНКО Е.В., МОРОЗОВА Т.А. // ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МИНЕРАЛОГИЯ, МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ. ПЕТРОЗАВОДСК: КАРЕЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РАН, 2009. С. 69–75: ТАБЛ. 1, ИЛ. 7 БИБЛИОГР. 7 НАЗВ.

Изучен вещественный и минеральный состав нового типа сульфидного оруденения в Печенгском рудном поле, представленного тонковкрапленными рудами в серпентинизированных перидотитах. Выявлены особенности вещественного состава исследуемых руд, влияющие на их технологические свойства. По разработанной авторами схеме получен медно-никелевый концентрат с содержанием никеля более 4% при извлечении около 60%. Содержание никеля в хвостах составило 0.12%.

The mineralogical and mineral composition of a new type of sulphide mineralization in the Pechenga Ore Field, represented by finely disseminated ores in serpentinized peridotites, was analysed. Some characteristics of the mineralogical composition of the ores analysed that affect their engineering properties were revealed. Copper-nickel concentrate that contains over 4% Ni with a recovery of 60% was produced using a scheme made up by the authors. The Ni content of tails was 0.12%.

УДК 549.03: 470.21

СТРУКТУРА ПЕРЕДУТОГО МАЛОСЕРНИСТОГО ФАЙНШТЕЙНА И ОСТАТКОВ ЕГО КАРБОНИЛИРОВАНИЯ. СОРОКИН В.А., НЕРАДОВСКИЙ Ю.Н., КАСИКОВ А.Г. // ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МИНЕРАЛОГИЯ, МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ. ПЕТРОЗАВОДСК: КАРЕЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РАН, 2009. С. 75–79: ИЛ. 12, БИБЛИОГР. 6 НАЗВ.

Показано, что при проведении промышленных испытаний по производству и переработке малосернистого файнштейна комбината «Печенганикель» и остатков его карбонирования удалось отработать и проследить характер изменения фазового состава материала на основных переделах, а также выявить закономерности, определяющие характер и результаты технологических операций.

The pattern of change in the phase composition of the material at basic conversions was elucidated and traced and some regularities, responsible for the pattern and results of engineering operations, were revealed by testing the production and recycling of low-sulphur fine regulus from Pechenganickel Plant and carbonylation residue.

УДК 553.044 + 504.55

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ГЕОХИМИЯ И МИНЕРАЛОГИЯ ТЕХНОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ. ТУРЕСЕБЕКОВ А.Х., ШАМАЕВ О.Т., ШАРИПОВ Х.Т., ВАСИЛЕВСКИЙ Б.Б, БАРАНОВА Т.Н. // ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МИНЕРАЛОГИЯ, МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ. ПЕТРОЗАВОДСК: КАРЕЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РАН, 2009. С. 79–93: ТАБЛ. 2, ИЛ. 2, БИБЛИОГР. 4 НАЗВ.

В статье рассматриваются отходы (забалансовые руды отвалов, отходы обогащения (хвосты) и переработки (шлаки, кеки) Алмалыкского горно-металлургического комбината (АГМК).

Waste, such as dumped ore resources, dressing waste (tails) and recycling waste (scoria, cakes) from the Almalyk Mining and Metallurgical Plant (AMMP), is discussed.

УДК 553.044 + 504.55

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МИНЕРАЛОГИЯ ВТОРИЧНЫХ РУД ОБЪЕДИНЕННОГО ХВОСТОХРАНИЛИЩА АЛМАЛЫКСКОГО ГОРНО_МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМБИНАТА (АГМК). ШАМАЕВ О.Т., ТУРЕСЕБЕКОВ А.Х., ИГНАТИКОВ Е.Н. // ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МИНЕРАЛОГИЯ, МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ. ПЕТРОЗАВОДСК: КАРЕЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РАН, 2009. С. 83–87: ТАБЛ. 5, ИЛ. 2

Приводятся результаты изучения вещественного состава вторичных руд хвостохранилища Алмалыкского горно-металлургического комбината (АГМК) на основе проведения минералого-геохимических исследований. Выявлены формы нахождения основных и попутных компонентов, степень их вскрываемости и степень обогащения различными технологическими схемами, а также поминеральный баланс распределения ценных элементов-примесей (серебро, кадмий, висмут, кобальт, никель и др.) в рудах хвостохранилища.

The results of analysis of the mineralogical composition of secondary ores from the tailings storage of the Almalyk Mining and Metallurgical Plant (AMMP), based on mineralogical-geochemical study, are reported. The forms of basic and associated components, their capacity and degree of dressing were revealed using various flow charts. The mineral distribution balance of valuable impurity elements, such as silver, cadmium, bismuth, cobalt and nickel, in ores from the tailings storage was estimated.

УДК 553.632.001.5:549:550.83/.84+622.7.017

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МИНЕРАЛОГИЯ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ НА СТАДИИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ. ВИШНЯКОВ А.К., МОЛОШТАНОВА Н.Е.. // ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МИНЕРАЛОГИЯ, МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ. ПЕТРОЗАВОДСК: КАРЕЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РАН, 2009. С. 87–93: ИЛ. 3, БИБЛИОГР. 23 НАЗВ.

Статья посвящена методическому подходу к изучению свойств калийных пород и слагающих их минералов комплексом петрографических, минералогических, технических и технологических методов, позволяющих установить причины их поведения в тех или иных технологических процессах на различных месторождениях или их отдельных участках, наметить пути устранения этих причин или обосновать выбор другого способа обогащения (переработки).

Article is dedicated to methodical approach to study characteristic potassium sorts and composing their mineral by complex petrographical, mineral, technical and technological methods, allowin–g install reasons of their behaviour in that or other technological process on different layers or their separate area, mark way of the removal of these reasons or motivate choice of other way of the enrichment (treatment)

УДК 550.8.028:553.91: 571.56

КОМПЛЕКСНЫЕ МИНЕРАЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГРАФИТОВЫХ РУД МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЧЕБЕРЕ В РЕСПУБЛИКЕ САХА (ЯКУТИЯ) ЛУЗИН В.П., ВАФИН Р.Ф., ПЕРМЯКОВ Е.Н., КУЗНЕЦОВ О.Б., ЛУЗИНА Л.П., ГУБАЙДУЛЛИНА А.М., КУЗНЕЦОВА В.Г., АХИЯРОВА А.В. // ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МИНЕРАЛОГИЯ, МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ. ПЕТРОЗАВОДСК: КАРЕЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РАН, 2009. С. 93–102: ТАБЛ. 6, ИЛ. 6, БИБЛИОГР. 8 НАЗВ.

Проведено изучение графитовых руд месторождения. В их составе насчитывается свыше 15 минералов. По преобладающему наличию графита с величиной агрегатов больше 0,05 мм месторождение относится к объектам крупнокристаллического графита. Флотационная переработка руд обеспечивает выход графитового концентрата 18,96% с содержанием графита, как минерала, 92,60%. Обогащенный графит отвечает требованиям ГОСТ 17022-81 и может быть предметом экспорта. Отходы обогащения пригодны для изготовления бетонов, керамического кирпича, рубероида и других строительных материалов. Утилизация отходов будет способствовать повышению эффективности эксплуатации графитового объекта и улучшению экологической обстановки.

The research of graphitic ores field was made. There are more than 15 minerals in their composition. The field related to a macrocrystalline graphite objects by dominant presence of graphite with a size of units more than 0,05 mm. The flotational processing of ores lets to get graphite concentrate output of 18,96 % with a maintenance of graphite as a mineral 92,60 %. The enriched graphite satisfy GOST 17022-81 requirements and could be the object of an export. The enrichment deviations might be used in producing of concretes, ceramic bricks, ruberoids and other building materials. Deviations utilizing would contribute the increase of object exploitation efficiency and environmetal situation improvement.

УДК 549.08: 553.93

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОГНОЗНОЙ ОБОГАТИМОСТИ БУРЫХ УГЛЕЙ МЕТОДАМИ ОПТИЧЕСКОЙ МИКРОСКОПИИ И РЕНТГЕНОТОМОГРАФИИ. ЯКУШИНА О.А., АНУФРИЕВА С.И., ОЖОГИНА Е.Г. // ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МИНЕРАЛОГИЯ, МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ. ПЕТРОЗАВОДСК: КАРЕЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РАН, 2009. С. 102–104: ТАБЛ. 1, ИЛ. 3, БИБЛИОГР. 12 НАЗВ.

Прогнозная оценка качества углей и разработка эффективных технологий их обогащения и передела невозможны сегодня без детального изучения как мацеральной, так и минеральной составляющей углей, которая в первую очередь отвечает за зольность и сернистость, а также определяет экологические характеристики, учитывая все время возрастающие экологические требования к углям, поступающим на промышленную переработку. Обычно обогатимость углей определяют методом фракционного анализа. В работе проведена предварительная прогнозная оценка бурого угля по данным оптико-минералогического и рентгенотомографического анализов, основанная на минералогических критериях: количеству и соотношению групп микролитотипов, наличию органоминеральных сростков, характеру раскрытия рудных минералов (сульфидов) и экспериментальной средней зольности, определенной методом рентгеновской томографии. Установлено, что исследованные бурые угли относятся к средней степени обогатимости, приближающейся к легкой.

Today environmental problems and economics profit challenge development of new innovation ecologically pure technologies of coal combustion providing maximal utilization of all raw material that results in the minimal waste production. For predicting coal quality and effective enrichment schemes development challenge the precise coal studying both matseral and mineral components, the latter is responsible for ash and sulfur content in raw material. Leading methods for coal technological estimation are the quantitative mineralogical methods. The testing of power coals for degree of preparation and washability fast forecasting can be made on mineralogical criteria basing on mineral faze content, character of rock-forming minerals distribution, their morphometrical characteristics and granular structure combining optic-geometrical, X-rays powder diffraction and X-rays computer tomography data. The fulfilled investigation determined the middle–nearby easy washability (range of enrichment) in technological processing of the tested brown coal.

УДК 553.086

ФИЗИКА ПРОЦЕССОВ ОБОГАЩЕНИЯ КВАРЦА. РАКОВ Л.Т., ДУБИНЧУК В.Т. // ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МИНЕРАЛОГИЯ, МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ. ПЕТРОЗАВОДСК: КАРЕЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РАН, 2009. С. 104–109: ИЛ. 3, БИБЛИОГР. 10 НАЗВ.

Авторы обсуждают проблемы очистки кварцевого сырья. В кварце установлено присутствие демпферных зон, в которых концентрируются примеси. Представлены результаты изучения процессов диффузии рассеянных примесей в кварце методами электронного парамагнитного резонанса и электронной микроскопии.

The authors discuss the quartz refinement problems. The damping regions of impurity concentration in quartz are discovered. The results of researches diffusion processes of dispersing impurities in quartz by electron paramagnetic resonance method and electron microscope method are stated.

УДК 553.677: 470.22

МУСКОВИТОВЫЕ КВАРЦИТЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ВОСТОЧНАЯ ХИЗОВААРА. ДАНИЛЕВСКАЯ Л.А., СКАМНИЦКАЯ Л.С. // ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МИНЕРАЛОГИЯ, МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ. ПЕТРОЗАВОДСК: КАРЕЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РАН, 2009. С. 109–121: ТАБЛ. 15, ИЛ. 10, БИБЛИОГР. 2 НАЗВ.

Приведены данные изучения минералогии кварцитов. Разработана схема их обогащения. Комплексное использование мусковитовых кварцитов месторождения Восточная Хизоваара в качестве сырья многоцелевого назначения подразумевает получение маложелезистого чешуйчатого мусковита, кварца и кианита.. Вовлечение кварцевых хвостов в промышленную переработку с использованием передовых обогатительных технологий позволяет получать кварцевые концентраты разной крупности, чистоты, и соответственно, разного назначения, пригодных для производства карбида кремния, металлического кремния, ферросилиция, динасовых изделий, стекла, керамики и др.

The data of the study of mineralogy quartzite. Based on the study of mineralogical features minelals, developed scheme of their enrichment.. Integrated use of muscovite quartzite deposits in Eastern Hizovaara, as raw multi-purpose, is when the iron-poor flake muscovite, quartz and kyanite . Involvement of the quartz tails in industrial processing by using advanced enrichment technology allows quartz concentrates of different sizes, purity, and correspondingly, for different purposes, suitable for the production of silicon carbide, silicon metal, ferrosilicon, silica products, glass, ceramics, etc.

УДК 553.622.300.133: 470.21 + 470.22

ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА И СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДИАТОМИТОВ КАРЕЛО-КОЛЬСКОГО РЕГИОНА. КРЕМЕНЕЦКАЯ И.П., ВАСИЛЬЕВА Т.Н., КОРЫТНАЯ О.П., СКАМНИЦКАЯ Л.С., БУБНОВА Т.П. // ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МИНЕРАЛОГИЯ, МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ. ПЕТРОЗАВОДСК: КАРЕЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РАН, 2010. С. 121–128: ИЛ. 9, БИБЛИОГР. 11 НАЗВ.

Изучение сорбционных свойств диатомитов Карело-Кольского региона показало, что присутствие органического вещества повышает величину сорбции тяжелых металлов. Изученные диатомиты представляют интерес как материал, предназначенный для регулирования pH очищенных сточных вод либо для предварительного извлечения тяжелых металлов из высококонцентрированных растворов.

Study of sorption properties diatomites Karelian-Kola region showed that the presence of organic matter increases the sorption of heavy metals. Studied diatomite of interest as material intended for regulate the pH of treated wastewater.

УДК: 667.629.825:032.667:661.882

МИНЕРАЛЬНЫЕ И СИНТЕТИЧЕСКИЕ СОРБЕНТЫ В ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ВОДНЫХ СТОКОВ. ГЕРАСИМОВА Л.Г., МАСЛОВА М.В., НИКОЛАЕВ А.И. // ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МИНЕРАЛОГИЯ, МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ. ПЕТРОЗАВОДСК: КАРЕЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РАН, 2009. С. 128–132: ТАБЛ. 5, ИЛ. 1, БИБЛИОГР. 10 НАЗВ.

Сорбционные и, в том числе, ионообменные технологии широко используются для очистки воды и стоков вредных производств гидрометаллургии, в технологиях защиты окружающей среды. Хорошо известно, что их эффективность зависит от многих факторов, главными среди которых являются селективность сорбентов и условия их применения.

Ion-exchange technologies, such as sorptive technologies, are widely used for treatment of water and sewage from harmful hydrometallurgical plants and in environmental protection technologies. Their efficiency is known to depend on many factors, basically the selectivity and application conditions of sorbents.

УДК 553.69

ОЦЕНКА МЕТОДАМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ МИНЕРАЛОГИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГЛАУКОНИТСОДЕРЖАЩИХ ПЕСКОВ. М.Л.ЛЕВЧЕНКО, А.М.ГУБАЙДУЛИНА // ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МИНЕРАЛОГИЯ, МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ. ПЕТРОЗАВОДСК: КАРЕЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РАН, 2009. С. 132–139: ТАБЛ. 2, ИЛ. 4, БИБЛИОГР. 6 НАЗВ.

Проведенный комплекс исследований позволил изучить морфологию глауконитов Бондарского месторождения, их химический состав и содержание лимитируемых элементов-примесей. С учетом особенностей вещественного состава исходных песков была разработана технологическая схема их переработки с получением глауконитового концентрата высокого качества

The integrated study conducted by the authors has cast light on the morphology, chemical composition and limited impurity element content of glauconites from the Bondarskoe deposit. Considering the mineralogical composition of the original sand, a flow diagram of its recycling was developed to produce high-quality glauconite concentrate.

УДК 553.673: 470.22

ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ УЧАСТКА «ЗЕЛЕНАЯ ГОРКА» МЕСТОРОЖДЕНИЯ ТАЛЬКОВОГО КАМНЯ «ОЗЕРКИ» (СЕВЕРО-ЗАПАДНАЯ КАРЕЛИЯ). ГАРАНЖА А.В. // ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МИНЕРАЛОГИЯ, МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ. ПЕТРОЗАВОДСК: КАРЕЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РАН, 2010. С. 139–145: ТАБЛ.1, ИЛ.3, БИБЛИОГР.6 НАЗВ.

Геолого-геофизические исследования в пределах юго-западной части Костомукшской зеленокаменной структуры позволили выделить ряд перспективных участков на тальковый камень и провести оценочные работы на проявлении «Зеленая горка». Полученные материалы по бурению помогли установить общую зональность продуктивного тела, представленного ультраосновными лавами переменных составов, оконтуренного метабазальтами. Для самих потоков характерна дифференциация, подчеркиваемая структурно-текстурными особенностями (контракционные, спинифекс структуры) и минеральным составом. Установлено, что кумулятивные зоны самих лавовых потоков, состоящие из массивной тальк-карбонатной породы с наиболее высоким удельным весом, имеют мощность до 50 м. Наличие маломощных зон талькитов в продуктивной толще отражают метасоматические процессы.

It was described areas with soapstone occurrences as a result of geological and geophysical studies of the southwestern Kostomukshsky greenstone structure. Productive body is represented ultrabasic lavas of variable composition, contoured basalts. For flows characterized by structural and textural features.

УДК 553.673: 470.22

ИССЛЕДОВАНИЕ ТАЛЬКОВОГО КАМНЯ УЧАСТКА ОЗЕРКИ КОСТОМУКШСКОЙ ЗЕЛЕНОКАМЕННОЙ СТРУКТУРЫ КАК СЫРЬЯ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ КЕРАМИКИ. ИЛЬИНА В.П., ЛЕБЕДЕВА Г.А., КЛИМОВСКАЯ Е.Е., ИНИНА И.С.. // ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МИНЕРАЛОГИЯ, МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ. ПЕТРОЗАВОДСК: КАРЕЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РАН, 2010. С. 145–151: ТАБЛ.3, ИЛ.6, БИБЛИОГР. 9 НАЗВ.

Исследована возможность использования талькового камня Костомукшской зеленокаменной структуры в качестве наполнителя к местным глинам для строительной керамики. Отобраны пробы основных разновидностей пород разного минерального состава из керна скважин участка Озерки-1. Повышению механической прочности керамики при 1050^{o}C способствует присутствие в черепке мелких зерен пироксенов: клиноэнстатита и субкальциевого авгита, армирующих стеклофазу. Установлено, что основные разновидности талькового камня Костомукшской зеленокаменной структуры и тремолит-хлоритовые сланцы являются перспективными видами сырья для строительной керамики.

The possible use of soapstone from the Kostomuksha greenstone structure as a filler added to local clay for construction ceramics was studied. Samples of basic rock varieties, differing in mineral composition, were taken from drill cores at Ozerki-1 prospect. The mechanical strength of ceramics at 1050^{o}C is contributed to by the presence in the crock of fine pyroxene grains, such as clinoenstatite and subcalcium augite, that enforce the glass phase. Basic soapstone varieties from the Kostomuksha greenstone structure and tremolite-chlorite schist were found to be potential raw materials for construction ceramics.

УДК 549.086

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ МИНЕРАЛОГИИ СРЕДСТВАМИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОПТИКО-ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА. НУРКАНОВ Е.Ю., ПЕТРОВ М.С., КОЗЕРЧУК А.Л., КАДУШНИКОВ Р.М. // ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МИНЕРАЛОГИЯ, МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ. ПЕТРОЗАВОДСК: КАРЕЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РАН, 2010. С. 151–156: ТАБЛ.2, ИЛ.6, БИБЛИОГР.16 НАЗВ.

В статье рассматриваются и сравниваются ручные и автоматизированные методы оптико-геометрического анализа для решения задач технологической минералогии. На примере Анализатора фрагментов микроструктуры твердых тел «Минерал С7» показаны автоматизированные методы диагностики минерального состава и количественных измерений структурных, структурно-технологических и режимно-технологических параметров рудного сырья.

The article contains description and comparison of manual and automatic methods of optiko-geometrical analysis that is used for the objectives of the technological mineralogy. The Analyzer of fragments of a microstructure «Mineral C7» is chosen as an example to demonstrate the automated methods of diagnostics of mineral structure and quantitative measurements of structural, structural -technological and regime-technological parameters of ore raw materials.

УДК 553.615: 470.21

КИАНИТОВЫЕ РУДЫ КЕЙВ – ПЕРСПЕКТИВНАЯ СЫРЬЕВАЯ БАЗА РОССИИ: ТЕХНОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ АСПЕКТ. ВОЙТЕХОВСКИЙ Ю.Л., ГРИШИН Н.Н., НЕРАДОВСКИЙ Ю.Н., КАСИКОВ А.Г. // ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МИНЕРАЛОГИЯ, МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ. ПЕТРОЗАВОДСК: КАРЕЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РАН, 2010. С. 156–158: ТАБЛ. 1, БИБЛИОГР.12 НАЗВ.

Поставлен вопрос о комплексном использовании кейвских сланцев как базового месторождения для крупномасштабного производства алюминия в России и крупного рудного объекта на золото, никель, кобальт, селен.

The authors discuss the integrated use of Keivy schists as a basic deposit for large-scale aluminium production in Russia and a large ore unit that has a gold, nickel, cobalt and selenium potential.

УДК 549.1:522.7: 470.22

МИКРОТВЕРДОСТЬ ГРАНАТА. БУБНОВА Т.П. // ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МИНЕРАЛОГИЯ, МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ. ПЕТРОЗАВОДСК: КАРЕЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РАН, 2010. С. 158–162 : ТАБЛ. 1, ИЛ. 3, БИБЛИОГР. 1 НАЗВ.

Измерение микротвердости позволяет проводить количественную оценку прочностных свойств различных минералов, их диагностику, детальные исследования монокристаллов.

Measurement of microhardness allows to carry out quantitative assessment the strength properties of various minerals, their diagnosis, a detailed investigation of single crystals.

УДК 553.411.071 + 549.08

ВЛИЯНИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ, СОДЕРЖАЩИЕ ¨НЕИЗВЛЕКАЕМОЕ¨ ЗОЛОТО. ЛЕОНЕНКО Н. А., ГУРМАН М. А., БАНЩИКОВА Т.С. // ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МИНЕРАЛОГИЯ, МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ. ПЕТРОЗАВОДСК: КАРЕЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РАН, 2010. С. 162–163: ТАБЛ. 2, БИБЛИОГР. 3 НАЗВ.

Применена нетрадиционная технология для извлечения золота микронной крупности путем лазерной обработки золотосодержащего минерального сырья, что показывает возможность решения проблемы трудноизвлекаемых форм благородных металлов.

A non-conventional technology for recovery of micron-sized gold by laser treatment of auriferous mineral products was used. The problem in dealing with hardly recoverable forms of noble metal can thus be solved.

УДК 553.644

КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛИГАЛИТСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ. ШАКИРЗЯНОВА Д.Р., ВИШНЯКОВ А.К., КОЗЛЕНЕЕВА Л.П. // ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МИНЕРАЛОГИЯ, МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ. ПЕТРОЗАВОДСК: КАРЕЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РАН, 2010. С. 163–166: ТАБЛ. 2, ИЛ. 1, БИБЛИОГР. 10 НАЗВ.

Разработана рациональная технологическая схема получения бесхлорного комплексного калийно-магниево-азотно-сульфатного удобрения из полигалитсодержащих пород Шарлыкской площади, как на основе азотнокислотного разложения, так и с использованием сыромолотой породы в виде удобрения «полигалитовая мука».

In article is considered complex use of the polihalite ores as complex withoutchloric fertilizers and possibility of the conversion and use at the parallel-got products.

УДК 553.644

ПОЛУЧЕНИЕ НОВОГО ВИДА УДОБРЕНИЯ – «СУЛЬФОНИТРОКАЛИМАГ» ИЗ ПОЛИГАЛИТСОДЕРЖАЩИХ ПОРОД. ВИШНЯКОВ А.К., ШАКИРЗЯНОВА Д.Р., ХУСНУТДИНОВ В.А. // ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МИНЕРАЛОГИЯ, МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ. ПЕТРОЗАВОДСК: КАРЕЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РАН, 2010. С. 166–168: ТАБЛ. 4, БИБЛИОГР. 7 НАЗВ.

Экспериментально показано, что из полигалитсодержащих пород можно получить комплексные бесхоридные NKMgS-удобрения, так и комплексное фосфорсодержащее NPKMgS-удобрение с различным соотношением питательных элементов в зависимости от почвенно-климатических условий и выращиваемых культур.

There is considered a method of refining of polyhalite ores by means of nitric acid in order to produce a relatively well-balanced chlorideless complex mineral fertilizer – «sulphonitrokalimag».

УДК 622. 017.2: 549. 514. 81: 470.22

МЕТОДЫ ВЫДЕЛЕНИЯ МИНЕРАЛОВ ИЗ ГРАНИТ-РАПАКИВИ САЛМИНСКОГО МАССИВА СЕВЕРНОЙ КАРЕЛИИ. КЕВЛИЧ В.И. // ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МИНЕРАЛОГИЯ, МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ. ПЕТРОЗАВОДСК: КАРЕЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РАН, 2010. С. 168–171: ТАБЛ. 1, БИБЛИОГР. 7 НАЗВ.

В статье приводится комплекс методов, использованных при выделении мономинеральных фракций из гранит-рапакиви, что позволяет оценить поведение минералов в обогатительных процессах и аппаратах, эффективность их применения, выделить мономинеральные фракции плагиоклаза, ортоклаза, кварца, биотита, амфибола и др., определить возможную глубину обогащения гранит-рапакиви при использовании их в качестве сырья для керамической промышленности.

A series of methods, used to extract monomineral fractions from rapakivi granites, are described The methods are employed to assess the behaviour of minerals in dressing processes and the efficience of their applicationon, to extract monomineral fractions of plagioclase, orthoclase, quartz, biotite, amphibole etc., to determine the possible dressing depth of rapakivi granites used as a raw material for the ceramic industry.

УДК 549.08:622

ТАЛЬКОВЫЙ КАМЕНЬ: ЕГО СВОЙСТВА И ПУТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ. ШЕКОВ В.А., МЯСНИКОВА О.В., ИВАНОВ А.А// ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МИНЕРАЛОГИЯ, МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ. ПЕТРОЗАВОДСК: КАРЕЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РАН, 2009. С. 171–176: ТАБЛ. 5, ИЛ. 2, БИБЛИОГР. 9 НАЗВ.

Рассмотрены основные технические параметры талькарбонатных пород, определяющие наиболее важные направления их использования. Отмечено, что тальк из талькарбонатных пород архейского возраста в Карелии в настоящее время не может конкурировать с тальком из других регионов мира. Поэтому основным направлением использования талькарбонатных пород является производство теплоаккумулирующих печей и каминов.

The main technical parameters define the most importantof talc-carbonate rocks. Therefore, the main focus of talc carbonate species is the production of heat-accumalating stoves and fireplaces.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ 5

Пирогов Б.И. Современные проблемы технологической минералогии 7

Юсупов Т.С. Новые технологические решения переработки и использования минерального сырья на основе изменения структуры и свойств минералов 23

Ожогина Е.Г., Рогожин А.А. Основные направления минералогических исследований руд при создании технологий их комплексной переработки 27

Лыгина Т.З., Корнилов А.В. Минералого-технологическая оценка нерудного сырья: прогноз обогатимости и качества готовой продукции 31

Щипцов В.В., Скамницкая Л.С., Бубнова Т.П., Данилевская Л.А. Роль геологических, минералогических и технологических исследований Института геологии КарНЦ РАН в оценке потенциала минерально-сырьевой базы Республики Карелия 37

Нерадовский Ю.Н., Войтеховский Ю.Л., Карпов С.М. Новые данные о технологических свойствах кианитовых руд Кейв 55

Вахрушев А.В., Котова О.Б. Алюминевое сырье, новые методы и подходы глубокой и комплексной переработки 65

Ракаев А.И., Нерадовский Ю.Н., Черноусенко Е.В., Морозова Т.А. Технологические особенности медно-никелевых руд в серпентинитах (на примере Печенги) 68

Сорокин В.А., Нерадовский Ю.Н., Касиков А.Г. Структура передутого малосернистого файнштейна и остатков его карбонилирования 74

Туресебеков А.Х., Шамаев О.Т., Шарипов Х.Т., Василевский Б.Б., Баранова Т.Н. Технологическая геохимия и минералогия техногенных месторождений 78

Шамаев О.Т., Туресебеков А.Х., Игнатиков Е.Н. Технологическая минералогия вторичных руд объединенного хвостохранилища Алмалыкского горнометаллургического комбината АГМК 82

Вишняков А.К., Молоштанова Н.Е. Технологическая минералогия калийных солей на стадии геологоразведочных работ 86

Лузин В.П., Вафин Р.Ф., Пермяков Е.Н., Кузнецов О.Б., Лузина Л.П., Губайдуллина А.М., Кузнецова В.Г., Ахиярова А.В. Комплексные минералого-технологические исследования графитовых руд месторождения Чебере в Республике Саха (Якутия) 91

Якушина О.А., Ожогина Е.Г., Ануфриева С.И. Предварительное определение обогатимости бурых углей методами оптической микроскопии и рентгенотомографии 101

Раков Л.Т., Дубинчук В.Т. Физика процессов обогащения кварцевого сырья 103

Данилевская Л.А., Скамницкая Л.С. Мусковитовые кварциты месторождения Восточная Хизоваара 108

Кременецкая И.П., Васильева Т.Н., Корытная О.П., Скамницкая Л.С., Бубнова Т.П. Особенности состава и сорбционных свойств диатомитов Карело-Кольского региона 120

Герасимова Л.Г., Маслова М.В., Николаев А.И. Минеральные и синтетические сорбенты в технологии очистки водных стоков 127

Левченко М.Л., Губайдулина А.М. Оценка методами технологической минералогии технологических свойств глауконитсодержащих песков 131

Гаранжа А.В. Особенности геологического строения месторождения талькового камня Зеленая гора (Северо-западная Карелия) 138

Ильина В.П., Лебедева Г.А., Климовская Е. Е., Инина И.С. Исследование талькового камня участка Озерки Костомукшской зеленокаменной структуры как сырья для строительной керамики 144

Нурканов Е.Ю. Решение задач технологической минералогии средствами автоматизированной оптической микроскопии и пакета ПО «Минерал С7» 150

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Войтеховский Ю.Л., Гришин Н.Н., Нерадовский Ю.Н., Касиков А.Г. Кианитовые руды Кейв – перспективная сырьевая база России: технолого-минералогический аспект 155

Бубнова Т.П. Микротвердость граната 157

Леоненко Н. А., Гурман М. А., Банщикова Т.С. Влияние лазерного излучения на минералогические объекты, содержащие ¨неизвлекаемое¨ золото 161

Шакирзянова Д.Р., Вишняков А.К., Козленеева Л.П. Комплексное использование полигалитсодержащего сырья 162

Вишняков А.К., Шакирзянова Д.Р., Хуснутдинов ВА. Получение нового вида удобрения – «сульфонитрокалимаг» из полигалитсодержащих пород 165

Кевлич В.И. Методы выделения минералов из гранитов рапакиви Салминского массива Карелии 167

Шеков В.А., Мясникова О.В., Иванов А.А. Тальковый камень: его свойства и пути использования 170

ПАМЯТИ КОЛЛЕГ

Б.М. Шмакин 175

ПАМЯТНЫЕ ДАТЫ

Л.Л. Гродницкий 177

АННОТАЦИИ 180

CONTENTS

INTRODUCTION 5

Pirogov B.I. Modern problems of technological mineralogy 7

Jusupov T.S. New technological methods for processing and use of mineral products by changing the structure and properties of minerals 23

Oxhogina E.G., Rogozhin A.A. Basic fields of mineralogical study of ores in developing complete processing technologies 27

Ligina T.Z., Kornilov A.V. Mineralogical and technological evaluation of nonmetallic raw material: expected dressability and quality of finished products 31

Shchiptsov V.V., Skamnitskaya L.S., Bubnova T.P., Danilevskaya L.A. Contribution of the geological, mineralogical and technological studies conducted by the Institute of geology at the KarRC, RAS, to estimation of the republic of Karelia's mineral potential 37

Neradovsky Y.N., Voitekhovsky Y.L., Karpov S.M. New data on the engineering properties of Keivy kyanite ores 55

Vahrushev A.V., Kotova O.B. Aluminum raw, new methods and approaches of deep and complex processing . . 65

Rakaev A.I., Neradovsky Y.N., Chernousenko E.V., Morozova T.A. Engineering characteristics of copper-nickel ores in serpentinites (examples from Pechenga) 68

Sorokin V.A., Neradovsky Y.N., Kasikov A.G. Structure of overblown low-sulphur fine regulus and its carbonylation residues 74

Turesebekov A.H., Shamaev O.T., Sharipov H.T.,Vasilevsky B.B., Baranova T.M. Structure of overblown low-sulphur fine regulus and its carbonylation residues 78

Shamaev O.T., Turesebekov A.H., Ignatenkov E.N. Engineering mineralogy of secondary ores from the united tailings storage of the Almalyk mining and metallurgical plant (AMMP) 82

Vishnakov A.K., Moloshtanova N.E. Technological mineralogy of the potassium salts on stage of the geological exploratory work 86

Luzin V.P., Vafin R.F., Permakov E.N., Kuznetsov O.B., Luzina L.P., Gubaidulina A.M., Kuznetsova V.G., Ahijarova A.V. Complex mineralogical and technological researches of graphitic ores of Chebere field in Saha Republic (Yakutia) 91

Jakushina O.A., Ozhogina E.G., Anufrieva S.I. 101

Rakov L.T., Dubinchuk V.T. Physical aspects of quartz concentration processes 103

*Danilevskaya L.A., Skamnitskaya L.S. M*uscovitic quartzites from the Vostochnaya khizovaara deposit 108

Kremenetskaya I.P., Vasiljeva T.N., Koritnaya O.P., Skamnitakaya L.S., Bubnova T.P. Features of the diatomites composition and sorption properties Karelian-Kola region 120

Gerasimova L.G., Maslova M.V., Nikolaev A.I. Mineral and synthetic sorbents in water waste treatment technology 127

Levchenko M.L., Gubaidulina A.M. Evaluation of the engineering properties of glauconite-bearing sand by technological mineralogy methods 131

Garanzha A.V. Features of the "Freen Hill"plot geological structure at the deposits of soapstone "Ozerki" (North-Western Karelia) 138

Ilyina V.P., Lebedeva G.A., Klimovskaya E.E., Inina I.S. The study of soapstone from Ozerki prospect of the Kostomuksha greenstone structure as a raw material for construction ceramics 144

Nurkanov E.Y. The decision of problems of technological mineralogy by means of the automated optiko-geometrical analysis 150

SHORT REPORTS

Voitekhovsky Y.L., Grishin N.N., Neradovsky Y.N., Kasikov A.G. Keivy kyanite ores – Russia's potential raw materials base: a technological-mineralogica 155

Bubnova T.P. Microhardness of the garnet 157

Leonenko N.A., Gurman N.A., Banshchikova T.S. The effect of laser radiation on mineralogical units that contain ¨non-recoverable¨ gold 161

Shakirzanova D.P., Vishnakov A.K., Kozleneeva L.P. Complex use of the polyhalite ores 162

Vishnakov A.K., Shakirzanova D.P., Husnutdinov V.A. Reception of the new type of the fertilizer – «sulphonitrokalimag» from polyhalite ores 165

Kevlich V.I. Methods for extraction of minerals from rapakivi granites of the Salmi massif, Karelia 167

Shekov V.A., Myasnikova O.V, Ivanov A.A. Soapstone: it's properties and ways of use 170

IN COMMEMORATION OF COLLEAGUES

B.M. Shmakin 175

MEMORABLE DATES

L.L. Grodnitsky 177

ANNOTATIONS 180

Научное издание

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МИНЕРАЛОГИЯ, МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Под редакцией д.г.-м.н. В.В.Щипцова

Печатается по решению Ученого совета Института геологии КарНЦ РАН

Издано в авторской редакции

Сдано в печать 15.06.10. Формат 60x84$^{1}/_{8}$. Гарнитура Times
Печать офсетная. Уч.-изд. л. 20,0. Усл.-печ. л. 22,6.
Изд. № 116. Тираж 150. Заказ 882

Карельский научный центр РАН
Редакционно-издательский отдел
185003, Петрозаводск, пр. А. Невского, 50