

АКАДЕМИИ НАУК СССР  
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ НЕДР

На правах рукописи

КЕВЛИЧ Владимир Иванович

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБОГАТИМОСТИ РУД И ГОРНЫХ ПОРОД  
КАРЕЛИИ НА ОСНОВЕ РАЗРАБОТКИ МЕТОДОВ ВЫДЕЛЕНИЯ  
МОНОМИНЕРАЛЬНЫХ ФРАКЦИЙ

Специальность 05.15.08  
"Обогащение полезных ископаемых"

Автореферат диссертации на соискание  
ученой степени кандидата технических  
наук

Москва - 1991

143633K

Работа выполнена в Институте геологии Карельского  
научного центра АН СССР

Научный руководитель

доктор технических наук  
профессор БАРСКИЙ Л.А.

Официальные оппоненты

доктор технических наук  
профессор КАРМАЗИН В.В.

кандидат технических наук  
с.н.с. ЛУНИН В.Д.

Ведущая организация

Всесоюзный институт  
минерального сырья (ВИМС)

Защита состоится "\_\_\_" \_\_\_\_\_ 1991 года в \_\_\_ час.  
на заседании Специализированного Совета Д 003.20.02 в  
Институте проблем комплексного освоения недр АН СССР по  
адресу: 111020 Москва Е-20, Крюковский тупик, 4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИГКОН АН СССР

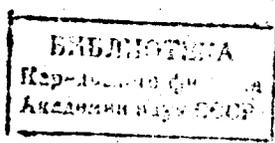
Автореферат разослан "\_\_\_" \_\_\_\_\_ 1991 г.

Ученый секретарь

Специализированного Совета,  
кандидат технических наук

*Израдер*  
Э.А. Израдер

143633K



Актуальность работы. Комплексное использование минерального сырья, увеличение извлечения полезных компонентов, повышение качества концентратов требует всестороннего и углубленного изучения минерально-компонентного состава, свойств, морфологических и генетических характеристик руд и горных пород всем комплексом существующих аналитических методов. Для изучения свойств руд и горных пород, компонентного состава, текстурных и структурных характеристик осуществляется выделение мономинеральных фракций, основанное на использовании современных обогатительных методов и приемов минералогического анализа. Однако, использование аппаратуры и методик выделения мономинеральных фракций из руд и горных пород специфично для определенных типов месторождений, участков, регионов, в частности, для территории Карелии.

В пределах территории Карелии распространены сложные комплексы эффузивных, интрузивных, осадочных и метаморфических пород. Существующая формационно-генетическая классификация рудных проявлений Карелии, включает магматические, метасоматические, гидротермальные пегматоидные, осадочно-метаморфизованные и др. генетические классы рудных формаций. Поскольку генезис определяет минерально-компонентный состав, гранулометрию, характер сростания, текстурно-структурные особенности, слагающие территорию Карелии руды и горные породы существенно разнородны. Разновидности проявляются даже в пределах месторождения. При этом выделение мономинеральных фракций проводится не только для оценки обогатимости, но также для изучения типоморфизма, типохимизма, изотопной датировки руд и горных пород.

Требования наиболее полного использования полезных компонентов руд, охраны окружающей среды и резкое обострение экологических проблем в настоящее время предопределяют необходимость разработки безотходной технологии и руды Карелии при таком подходе могут рассматриваться как комплексные. Это, в свою очередь, ставит задачу разделения проб на мономинеральные фракции по всем составляющим ее компонентам без потерь (с содержанием и извлечением порядка 99-100%). В ряде случаев требуется осуществить разделение на разновидности минералов (полиморфные, генетические и др.), что требует не только применения существующих методов и приборов, но и создания специальной аппаратуры, разработки методологии и топосхем выделений мономинеральных фракций для региона территории Карелии.

Цель работы состоит в обосновании методов и разработке аппаратуры для выделения мономинеральных фракций из руд и горных пород разнородного состава, изменчивой структуры и степени метаморфизма при оценке обогатимости.

Методы исследований. При выполнении работы использованы методы: оптической микроскопии, флотации минералов, электромагнитной, электрической, диэлектрической сепарации, гравитации, ультразвуковой обработки, избирательного растворения и методы измерения гравитационных, магнитных, электрических свойств минералов по стандартным методикам, рентгеноспектральный и атомноадсорбционный анализы. При лабораторных технологических испытаниях разработаны электромагнитный полупротивоточный сепаратор (ЭМПС), электрический вибрлотковый сепаратор для разделения минералов, способ расщепления слоистых силикатов (слюд) и схемы по разделению минералов, их разновидностей при оценке обогатимости.

Научная новизна. 1. Разработана методология выделения мономинеральных фракций при исследовании руд на обогатимость, отличающаяся учетом генетической вариабельности руд и распределением значений физических и физико-химических характеристик минералов.

2. Определены минералого-технологические характеристики хромитовых и апатитовых руд Карелии, включающие: минералогический состав, физические и физико-химические свойства, плотность, магнитную восприимчивость, электропроводность, флотуруемость, растворимость и др.

3. Установлена взаимосвязь минералого-технологических характеристик, существенно влияющих на разработку схем и процессы разделения минералов, что позволило выявленную информацию при выделении мономинеральных фракций (минерально-компонентный состав, свойства, granulometрия, поведение минералов в обогатительных процессах) использовать при разработке схем обогащения.

Положения, выносимые на защиту. Методология и топосхема выделения мономинеральных фракций из генетически вариабельных руд и горных пород Карелии, претерпевших воздействие процессов метаморфизма, метасоматоза, гипергенеза.

Методика разделения минералов, имеющих магнитные микровключения, сростки, примазки, пленки на поверхности в электромагнитном сепараторе, путем регулирования напряженности магнитного поля, ско-

рости перемещения, способа подачи, времени пребывания в магнитном поле. Электрический вибрлотковый сепаратор для разделения минеральных частиц под действием электрических сил поля, действующего на частицы избирательно в зависимости от способа перемещения в электрическом поле, состояния поверхностей, формы, размера, микро-включений.

Схемы выделения мономинеральных фракций для определения топонимизма, типоморфизма, возраста пород, структуры, свойств минералов, оценки качества концентратов, изучения форм вхождения элементов примесей и возможности извлечения полезных минералов при обогащении руд.

Оценка обогатимости хромитовых руд Главного хромитового горизонта по разработанным технологическим схемам, в результате чего установлена принципиальная обогатимость месторождения хромитовых руд Карелии, относящихся к новому для СССР формационному типу.

Практическое значение работы. Исследования мономинеральных фракций, полученных по разработанным методикам, позволили выявить кристаллохимические и типоморфные особенности, содержание редких и рассеянных элементов, абсолютный возраст пород, определить основные технологические свойства, уровень требований к качеству минерального сырья и концентратов, и оценить возможности комплексной переработки руды и выбора режимов гравитационной, электромагнитной, электрической, диэлектрической сепарации, флотации гранитов, пегматитов, апатитовых руд, магнетитовых кварцитов, хромитовых руд Карелии и других горных пород.

В практической работе ИГ КЭАН СССР использованы изобретения: способ расщепления слюд, электромагнитный полупротивоточный лабораторный сепаратор для разделения минералов, электрический сепаратор для разделения смесей минералов.

Разработана топосхема Карелии и методологический подход к синтезу схем выделения мономинеральных фракций, что повышает степень минералого-технологической изученности региона, стандартизации информации с целью использования в исследованиях на обогатимость руд и горных пород Карелии. Проведена оценка обогатимости руд Главного хромитового горизонта Аганозерского Блока Бурасовской интрузии. Проведена оценка обогатимости хромитовых руд, которая использована при составлении ТЭС на постановку поисково-оценочных работ.

Реализация результатов работы. Внедрение разработанных топосхем и методологий и аппаратов в институте Карельского ФАН СССР позволило увеличить производительность выделения мономинеральных фракций и повысить эффективность научных исследований в области геологии, метаморфизма, металлогении, обогащения руд и горных пород Карелии.

Оценка обогатимости руд Главного хромитового горизонта Ага-нозерского блока использована в Карельской ЛСЭ ПГО "Севзапгеология".

Апробация работы. Основные положения работы доложены и обсуждены на Всесоюзном совещании "Комплексное освоение минеральных ресурсов" Петрозаводск, 1989 г., совещании "Разработка научных основ, методов и аппаратов, обеспечивающих повышение эффективности обогащения полезных ископаемых за счет энергетических воздействий" г. Иркутск, 1987 г.

Geologic-technologic assessment of ores minerals samples and deposits: Interdepart coll of research Proceed./ "Mechanobart" Leningrad. 1990. 152 P.

Публикации: По результатам исследований диссертационной работы опубликовано 10 статей, получено два авторских свидетельства на изобретения.

Объем и структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, общих выводов, актов внедрения, списка литературы (141 наименование), приложения и изложена на 216 страницах машинописного текста, содержит 20 таблиц, 62 рисунка.

#### Основное содержание работы.

Современное состояние исследований по выделению мономинеральных фракций.

Выделение мономинеральных фракций основывается на использовании обогатительных методов: гравитационных, магнитной, электрической, диэлектрической сепарации, флотации и др., позволяющих разделить минералы по основным технологическим свойствам без изменения их состава, структуры, свойств поверхности.

Большой вклад в развитие исследований по изучению разделения минералов из различных руд и горных пород страны и создания методологии и аппаратуры внесли С.И. Митрофанов, Г.С. Бергер, А.И. Бер-

линский, Л.А.Барский, Г.А.Коц, В.В.Ляхович и др.

Изучение генетически различных руд и горных пород, слагающих территорию Карелии показало, что входящие в их состав минералы обладают изменчивым составом, текстурно-структурными особенностями, близкими свойствами (плотностью, магнитной восприимчивостью, электропроводностью, диэлектрической проницаемостью, флотационной способностью и др.), что затрудняет применение обогатительных методов для их разделения и получения мономинеральных фракций при исследовании обогатимости.

Вместе с тем, комплексный подход и разработка безотходных технологий для руд и горных пород Карелии, обострившиеся экологические проблемы, требуют всестороннего комплексного изучения руд, что предопределяет необходимость выделения всех составляющих руду минералов, в том числе их минеральных разновидностей и генераций, без потерь и изучения состава, текстурно-структурных характеристик, размеров и рапленности, технологических свойств, минерально-генетических особенностей.

В этой связи возникает не только необходимость применения имеющихся данных, существующих методов, схем выделения мономинеральных фракций, но и требуется использование всего комплекса методов, разработка специальной аппаратуры, методологического подхода и топосхем по выделению мономинеральных фракций из руд и горных пород региона территории Карелии.

В задачи исследований входило:

1. Анализ работы существующих лабораторных электромагнитных сепараторов и разработка электромагнитного сепаратора для разделения минералов.

2. Изучение закономерностей проявления действующих кристаллизационных сил в межпакетных промежутках слюд и разработка способа их расщепления при выделении макро- и микровключений.

3. Разработка на базе современных представлений об электрической сепарации лабораторного вибрлоткового электрического сепаратора для разделения минералов.

4. Изучение минерального состава, основных технологических свойств минералов, их поведения в разделительных процессах, являющихся основой разработки схем, методологии и топосхемы Карелии по выделению мономинеральных фракций из различных генетических типов руд и горных пород.

5. Оценка обогатимости апатитовых и хромитовых руд месторож-

дений Карелии на основе минералого-технологических данных их изучения при выделении мономинеральных фракций.

### Разработка методов и аппаратуры для выделения мономинеральных фракций

Результаты анализа и изучения закономерностей разделения близких по магнитной восприимчивости минералов в лабораторных электромагнитных сепараторах показывают, что не всегда удается реализовать существующие разделительные признаки и получить продукты сепарации с высоким содержанием полезных компонентов.

В этой связи с целью повышения эффективности электромагнитной сепарации был разработан и испытан лабораторный электромагнитный сепаратор, содержащий электромагнитную систему с полюсами - верхним подвижным в виде вращающегося ролика и нижним плоским с выемками, бункер, лоток с рифленой разгрузочной частью и сборник продуктов. В процессе испытаний изучены основные параметры, контролирующие режим и процесс сепарации, показано, что изменение угла наклона от 5 до 28° и амплитуды вибрации лотка, увеличивает скорость движения и расслоения частиц. Для частиц различной формы (плоские, изометричные, шестоватые и др.) эти скорости разнятся, что способствует избирательности сепарации для таких смесей минералов как слюды, п/шпаты, кварц и др. Показано влияние величины межполюсного зазора и времени пребывания смеси в зоне сепарации на результаты выделения минералов из руд и горных пород Карелии. Изучение действия магнитных и центробежных сил на частицу показывает, что они определяют силу их притяжения и отрыва, формируют траектории полета и распределение в желобках разгрузочной части лотка в соответствии с их свойствами и размером, что позволяет получать продукты различной степени обогащения, отличающиеся присутствием сростков, примазок, состоянием поверхности и размером зерен.

Испытания лабораторного электромагнитного сепаратора с целью выделения мономинеральных фракций из руд и горных пород Карелии позволили повысить более чем на 5-10% производительность, получить концентраты с высоким содержанием 98-99% полезного минерала и подтверждают целесообразность применения его в лабораторной практике.

Изучена возможность выделения микро- и макровключений из след, исключая применение традиционных методов дробления и измельче-

ния, приводящих к разрушению и изменению морфогенетических характеристик. Анализ существующих способов расщепления, основанных на использовании резко выраженной анизотропии свойств, показывает, что при этом используется длительное высокотемпературное ультразвуковое и механическое воздействие в сочетании с химической обработкой, что также приводит к необратимым изменениям минералов.

В этой связи применительно к слюдам с целью их расщепления исследовался энергетический эффект (кристаллизационные силы), возникающий при кристаллизации солей из растворов, в частности  $Na_2SO_4$ , в межпакетных промежутках слюд. При этом кристаллизационные силы и давление до  $4,4 \text{ кг/см}^3$  для  $Na_2SO_4$  на внутренние стенки пакетов создают расклинивающие усилия и ослабляют связи между ними. После кристаллизации соли  $Na_2SO_4$ ,  $NaCl$ ,  $CaCl_2$  и др. присоединяют кристаллизационную воду, образуя кристаллогидраты, что увеличивает объем кристаллов и создает дополнительное давление на стенки полостей.

Определены зависимости между концентрацией растворов солей, оптимальными отношениями твердого к жидкому и расщеплением слюд. Показано, что проникновение растворов солей в межпакетные области, заполненные ионами калия с размером от 2,8 до 3,2 Å протекает весьма затруднительно и требует дополнительной интенсификации.

Установлено, что ультразвуковая обработка при оптимальной концентрации положительно влияет на проникновение солевых растворов по плоскостям спайности, дефектам и микротрещинам в слюдах.

На основании изученных закономерностей обоснован метод расщепления слюд, включающий помещение слюды в нагретый до  $80^\circ$  водный раствор  $Na_2SO_4$  при оптимальной концентрации и соотношении твердого к жидкому, обработку ультразвуком 5 мин. с частотой излучателя 44 кГц мощностью  $50 \text{ ватт/см}^2$  и сушку при  $120-150^\circ$ , промывку при интенсивном перемешивании.

В соответствии с актом внедрения "Способа расщепления слюд" в Институте геологии Карельского филиала СССР, выход расщепленной слюды достигает 97-98%, что позволяет эффективно высвободить микро- и макровключения без изменения их состава и морфогенетических характеристик, и применять обогатительные методы для выделения макро- и микровключений из слюд с целью дальнейшего изучения минералогических и технологических характеристик, оказывающих существенное влияние на технологические свойства слюды при обогаще-

нии и в промышленности.

На основании теоретического и экспериментального изучения поведения минералов и их разделения в электрических полях, а также результатов измерений распределения напряженности электрического поля системы электродов, обоснован и осуществлен выбор конструктивных элементов электрического вибротоккового сепаратора (рис. I). В основе разделительного признака лежат природные свойства: электропроводность и диэлектрическая проницаемость минералов.

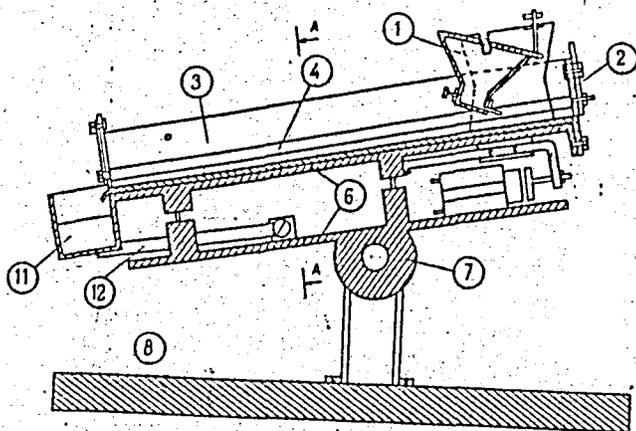


Рис. I. Электрический вибротокковый сепаратор.

I - бункер, 2 - съемный лоток, 3 - нижний электрод, 4 - верхний электрод, 6 - виброустройство, 7 - поворотное устройство, 8 - основание корпуса, II - сборник продуктов, I2 - тяги.

Показано, что электрическое поле сепаратора неоднородно и величина напряженности поля изменяется от центра к периферии системы электродов. Определены зависимости изменения величины сепарационного напряжения от величины зазора между электродами, размера частиц, перемещения под действием вибрации, свидетельствующие об уменьшении сепарационного напряжения для частиц

малого размера и действия на их виброполя, приводящего их в псевдо-взвешенное состояние при перемещении по нижнему электроду, что способствует эффективному воздействию на частицу основных электрических сил поля.

Кулоновская сила,

$$F_k = Eq$$

где  $E$  - вектор напряженности электрического поля;  $q$  - заряд частицы.

Пондеромоторная сила,

$$F_E = 4\pi\epsilon_0 R^3 \frac{\epsilon_2 - \epsilon_1}{\epsilon_2 + \epsilon_1} E \operatorname{grad} E$$

где  $R$  - радиус частицы;  $\epsilon_0$  - диэлектрическая проницаемость вакуума;

$\epsilon_1$  - диэлектрическая проницаемость среды;

$\epsilon_2$  - диэлектрическая проницаемость частицы.

При этом в электрическом режиме преобладают кулоновские силы, в диэлектрическом - пондеромоторные, однако с увеличением напряжения на электродах роль кулоновских сил возрастает. Эффективность воздействия электрических сил поля на частицу определяется их электропроводностью и диэлектрической проницаемостью, а направление и распределение - градиентом напряженности электрического поля, определяющим траектории полета и узкую классификацию минералов по рифлям нижнего электрода в соответствии с их свойствами.

Лабораторные испытания электрического вибророткового сепаратора свидетельствуют о возможности разделения минералов, отличающихся микровкрапленностью, присутствием изоморфных и генетических разновидностей, трудно или практически не разделяемых другими методами.

### Исследование горных пород и руд Карелии по минерально-компонентному составу и оценка обогатимости

Теоретическое и экспериментальное изучение минерально-компонентного состава различных генетических типов руд и горных пород, слагающих территорию региона Карелии показывает, что они разнородны по своему минеральному составу, количественному соотношению рудных и порообразующих минералов, гранулометрии, размерам вкрапленности и в своем составе содержат минеральные разновидности и разновозрастные генерации. При этом в пределах перспективных месторождений, участков, хотя бы до некоторой степени меняется их ми-

неральный состав, проявляющийся в закономерной смене рудных минералов, изменении количественных соотношений рудных и породообразующих минералов, в смене минеральных форм одних и тех же минералов, характере включений, присутствии морфогенетических разновидностей и проявлении в минералах различных элементов примесей.

Показано, что месторождение Хизоваара сложено тремя генетическими типами руд, которые отличаются минерально-компонентным составом, морфологией зерен кианита, содержанием микровключений (графитизация, пиритизация). Наиболее труднообогатимыми среди них являются кианитовые руды с графитизированным кианитом.

Установлены среди графитовых руд месторождения Ихала две разновидности: лейкократовые и меланократовые гнейсы, — при обогащении которых для меланократовых гнейсов требуется увеличение времени измельчения, чтобы получить кондиционные концентраты тигельного графита с выходом 1,33–1,99% и зольностью 5,84–6,8%, что обусловлено тонким сростанием графита и биотита.

Показано, что месторождение железных руд Костомукши представлено тремя технологическими типами руд, отличающихся минерально-компонентным составом и свойствами буримости, на основе которых проведено технологическое картирование, позволяющее усреднять руды, поступающие на обогащение.

Учитывая тесную взаимосвязь минерально-компонентного состава руд и их обогатимости установлено, что руды с различных участков, рудопроявлений и месторождений Карелии, как показано изучением минерального состава при исследованиях по выделению мономинеральных фракций для оценки обогатимости с учетом комплексного подхода и разработки безотходной технологии, будут по-разному вести себя в процессах обогащения.

Изучение основных технологических свойств минералов проводилось при выделении мономинеральных фракций из руд и горных пород Карелии с применением микроскопического анализа для определения цвета, блеска, спайности, показателя преломления, с описанием минералов и выявлением минералогенетических особенностей.

Измерена на магнитометре К У-2.02 магнитная восприимчивость минералов: серпентина, оливина, диопсида, бронзита, магнетита, хромита, апатита, кварца и др. и показаны ее колебания в пробах, отобранных с различных точек и участков рудопроявлений и месторождений.

Установлены гравитационные свойства минералов с помощью определения плотности минералов в тяжелых жидкостях: плотность серпентина - 2,6-2,65 г/см<sup>3</sup>, оливина - 3,2-3,3 г/см<sup>3</sup>, диоксида - 3,3-3,4 г/см<sup>3</sup>, бронзита - 3,1-3,2 г/см<sup>3</sup>, хромита - 4,62-4,72 г/см<sup>3</sup> и др. Показано при испытаниях растворимости, что в HCl пироксены не растворимы, серпентин слабо растворим, оливин растворяется с подогревом, в H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> серпентин слабо растворим, пироксены и оливины не растворимы, в HF не растворим только хромит.

Установлено опытами по флотации, что при использовании в качестве собирателей для хромита олеиновой кислоты, таллового масла, АНП-14, ИМ-50 и депрессоров: КМЦ, жидкого стекла, едкого натра, метафосфатов, серной кислоты, - они обеспечивают удовлетворительные результаты.

Изучены свойства не только "чистых минералов", но и зерен с микро- и макровключениями, примазками на поверхности, дефектами, выявленными при выделении мономинеральных фракций, что позволило определить существующие колебания свойств и априорно оценить их поведение в технологических процессах.

Изучение закономерностей, связывающих разнородный минеральный состав руд и горных пород, их свойства с поведением минералов в обогатительных аппаратах, позволило разработать методики выделения мономинеральных фракций из генетически различных типов горных пород, слагающих территорию Карелии. Показано, что они отличаются методами, операциями и их последовательностью применения в схеме, что требует при их использовании для новых регионов, участков, точки, внимательного изучения, сопоставления, уточнения данных, зависит от опыта исследователя, и не всегда приводит к оптимальному выбору. В этой связи для идентификации применения методик на основе региональной геологической карты масштаба 1:1000000 разработана топосхема по выделению мономинеральных фракций. Основным элементом картирования топосхемы являются разработанные для 27 различных по генезису руд и пород методики по разделению минералов.

Сравнительный анализ и взаимосвязанное рассмотрение минерало-технологических данных, выбора методов и аппаратов, последовательности применения операций в схемах позволили разработать формализованную систему методологического подхода при разработке схем по выделению мономинеральных фракций, что обеспечивает стандартизацию информации, обоснованный выбор методов, разработку схем, ко-

торы могут быть использованы при исследованиях на обогатимость.

Исследования по определению влияния минералого-генетических особенностей циркона на разработку схем обогащения включали комплексное минералого-технологическое изучение с применением гравитационных методов, микроскопического анализа, магнитной, электромагнитной и диэлектрической сепарации, данных состава, математической обработки с целью получения технологических показателей.

Установлено, что размеры вкрапленности циркона в изученных пробах от 0,5 до 0,08 мм и менее 0,03, последние в виде микровключений находятся в амфиболе, пироксене, биотите, микроклине и в большей степени плагиоклазе.

Определены зависимости потерь циркона, обусловленные формой, размером зерен, состоянием их поверхности в процессе обработки на концентрационном столе. Показано, что часть окатанных зерен с коэффициентом удлинения  $K=1$  и размером менее 0,074 до 50% от содержания их в породе, может попадать в шламы. Тонкопризматические цирконы с  $K > 5-6$  до 35%, а зерна циркона с пленками гидроокислов на поверхности составляют 25-30% от общих потерь в шламах. В результате погенерационное содержание циркона в концентрате стола отличается от содержания в породе, что предусматривает введение дополнительных обогатительных операций.

Изучение свойств цирконов из габбро- и амфибол-альбититовых пород показало, что генерации циркона могут отличаться морфологическими признаками, цветом, коэффициентом удлинения, плотностью, позднего - 3,7-4,0 г/см<sup>3</sup>, раннего - более 4,1 г/см<sup>3</sup>, при этом в позднем цирконе отмечается в большей степени присутствие точечных включений, чем в раннем, с чем связаны потери циркона при электромагнитной сепарации до 30%, электрической сепарации от 15 до 40% для проб с весьма малым содержанием циркона.

Изучение и анализ состава и структуры цирконов Карелии показывают их отличие по содержанию  $Zr/HF$ , Ca, Fe, Th, Y, Rb и др. и взаимосвязано с гетерогенностью цирконов. Индикатором изменчивости состава и свойств цирконов может служить окраска и структура зерен циркона.

Изучение минералого-генетических особенностей и потерь циркона предопределило постановку технологических исследований, которые включали реагентную обработку проб  $NaSiF_6$  при обога-

щении на концентрационном столе, что повысило извлечение циркона в концентрат в 2-2,5 раза. при снижении выхода на 0,7-1,5%; раздельную обработку песковой и шламистой фракции; предварительную обработку в 10% *HCl* перед электромагнитной сепарацией, стадийность электромагнитной сепарации, что позволяет снизить величину потерь циркона с электромагнитной фракцией до 2-6%; центробежную и вибрационную обработки при разделении в тяжелых жидкостях, диэлектрическую сепарацию для отделения циркона от рутила, состоящего из минеральных генераций.

Данные исследований послужили основой для разработки схем и методик по выделению циркона из тонкозернистых и труднообогатимых руд Карелии, ранее не подвергавшихся обогащению; что позволило обеспечить получение концентратов и мономинеральных фракций при весьма незначительном содержании в исходной породе.

Результаты изучения минералогических характеристик монофракций с целью определения состава и основных технологических свойств минералов и данные по разделению минералов были положены в основу исследований по оценке обогатимости хромитовых и апатитовых проб Карелии. В качестве установленных минералогических характеристик представлены текстурно-структурные особенности руд, количественное содержание рудных, породообразующих и акцессорных минералов, их минералогические особенности, гранулометрия и размеры вкрапленности.

Изучение атомноадсорбционным и рентгеноспектральным методами монофракций позволило определить компонентный состав минералов, выявить изменчивость содержания полезных компонентов в минералах, составляющих хромитовые и апатитовые руды, установить закономерность изменения содержания окиси хрома, закиси и окиси железа в хромите. В центральной части в хромите  $Cr_2O_3$  51,19%,  $FeO$  24,28%. Снижение и повышение содержаний, соответственно, приурочено к нижней и верхней границе выделяемых богатых руд Главного хромитового горизонта. Анализ монофракций апатита из проб показал, что содержание  $P_2O_5$  в нем 40,63-41,63%,  $Sr_2O$  0,9-3,1%,  $R_2O$  0,83-1,64%. При этом установлено в бесцветном тонкопризматическом  $Fe_2O_3$  до 0,2%, в бледно-желтом, слегка буроватых оттенках апатита  $Fe_2O_3$  - 0,4%.

Исследование мономинеральных фракций с применением комплекса инструментальных методов позволило установить качественно-количественные параметры основных технологических свойств минералов,

цвет, блеск, спайность, твердость, хрупкость, показатели преломления, плотность, магнитную восприимчивость, флотационную способность, растворимость, а также выявить изменчивость, интервалы колебаний свойств в зависимости от минералогенетических особенностей (состав, микро- и макровключения, состояние поверхности и др.).

Испытания по разложению минералов с целью выделения монофракций позволили качественно изучить поведение минералов и установить причины отклонений в поведении минералов, приводящие к разубоживанию концентратов и потере ценного компонента.

Результаты опытов по обогащению проб апатитовых руд, измельченных до 0,25 мм, на электромагнитном роликовом сепараторе И38 Т СЭМ при выделении монофракций, позволили получить концентраты, содержащие  $P_2O_5$  от 19,4 до 34,8% и извлечение от 80 до 95%, сопоставимые с результатами обогащения этих руд, и выявить причины потерь  $P_2O_5$ , связанные с поведением зерен апатита.

Установлено, что потери обусловлены присутствием гидроокислов, примазок на поверхности зерен, микровключений в апатите, а также наличием тонкопризматических зерен апатита, которые развиваются в межплоскостных пространствах по спайности.

Для определения granulometрии и морфологии хромита в руде обосновано использование метода избирательной растворимости минералов в кислотах  $HF$  и  $HCl$ , что позволило установить размеры, количественное соотношение и морфологию зерен хромита в руде и классифицировать руду, как мелковкрапленную.

На основе экспериментов по измельчаемости навесок в шаровой мельнице 40 Мл с емкостью барабана 7 литров, скоростью вращения 77 об./мин, при соотношении Т:Ж:Ш=1:1:6, установлены закономерность прироста полезного минерала в измельченном материале от времени измельчения и степень раскрытия сростков и зерен хромита.

Анализ полученных данных в соответствии с алгоритмом разработки технологии по Л.А.Барскому позволил обосновать априорный выбор методов и разработку схем для исследований по оценке обогатимости проб хромитовой руды.

В качестве основных для оценки обогатимости лабораторных проб хромитовых руд с содержанием  $Cr_2O_3$  28,6%, 20,2%, 27,5% в

исходном материале обоснованы методы гравитационного обогащения, магнитной и электрической сепарации, флотации.

Лабораторные опыты по обогащению в соответствии с выбранными методами проводились на концентрационном столе 30А-КЦ-1, электромагнитном роликовом сепараторе 138Г-СЭМ, электрическом сепараторе ПС-1 и флотационной машине ТМ-1 и включали определение взаимосвязи и влияния на технологические показатели обогащения granulometрии материала питания, условий обесшламливания, параметров работы аппаратов, выбор флотореагентов и отработку оптимальных режимов.

Показано, что увеличение содержания в исходном питании класса-0,074 мм от 40 до 60% требует изменения угла наклона деки стола от 7 до 4° и при напряженности магнитного поля 2900-3000 эрстед, электрического поля 21-23 кв, увеличении расхода флотореагентов обеспечивает повышение содержания  $Cr_2O_3$  на 7-10% в концентрате. При этом для электрической и магнитной сепарации требуется обесшламливание по зерну 50 мкм, снижение размера частиц до 15-20 мкм приводит к нарушению селективности процессов.

При разработке флотационного режима для хромита изучено влияние расхода и порядка подачи реагента, величины pH с целью селективной флотации ценного компонента и снижения потерь со шламами. Установлено, что флотация хромита возможна как анионными: талловое масло (ТМ), дистиллированное талловое масло (ДТМ), так и катионными собирателями: АНП, ИМ, - в щелочной и кислых средах. Наибольшие собирательные способности проявляют ТМ и ДТМ, что согласуется с практикой флотации хромитовых руд. Расход реагентов для флотации хромита при применении в качестве регулятора среды едкого натра (pH=11-12); жидкого стекла - 0,25-0,5 кг/т, КМЦ - 0,2-0,45 кг/т, собирателя ТМ и ДТМ - 1,5-3 кг/т; в перечистные операции - серной кислоты - 0,28 кг/т, КМЦ - 0,2 кг/т, метафосфата - 0,15 кг/т. Введение КМЦ позволяет вести процесс флотации без обесшламливания и тем самым снизить потери ценного компонента. Процесс флотации протекает эффективно при использовании 60-70% свежей воды.

Испытания по оценке обогатимости лабораторных проб хромитовых руд проводились с учетом разработанных режимов и текстурно-структурных особенностей минералов и включали первичное обогаще-

ние на концентрационном столе 30А-КЦ-1 с получением концентрата стола, промпродукта, который подвергался перечистным операциям, и хвостов стола. Доводка концентрата стола магнитной сепарации на электромагнитном роликовом сепараторе 138Г-СЭМ позволила получить концентраты хромита с содержанием 46,5-47,85%  $Cr_2O_3$  и извлечением 57,6-63,5%. Использование в качестве доводочной операции электрической сепарации на ПС-1 показывает, что при этом содержание  $Cr_2O_3$  в хромитовом концентрате снижается до 45,0-45,8%.

Включение в схему обогащения на столе перечистной операции позволяет повысить содержание  $Cr_2O_3$  до 48,99% в концентрате с извлечением до 36,69%, электромагнитная сепарация промпродукта при этом позволяет получить второй концентрат хромита с содержанием 41,54%  $Cr_2O_3$  и извлечением 25,5%.

Анализ потерь хромита с распределением по классам крупности показал, что они связаны в основном с классами менее 0,063 и 0,08 мм и составляют 22,5-15,89%  $Cr_2O_3$  в отвальных хвостах.

Флотационное обогащение отвальных хвостов концентрационного стола в соответствии с разработанным режимом позволяет снизить потери  $Cr_2O_3$  до 8,8-7,6% в общих отвальных хвостах.

На основании проведенных испытаний по выбранным схемам, сравнительного анализа технологических показателей, для оценки обогатимости хромитовых руд рекомендована гравитационно-магнитная схема (рис. 2), которая позволила получить концентраты хромита с

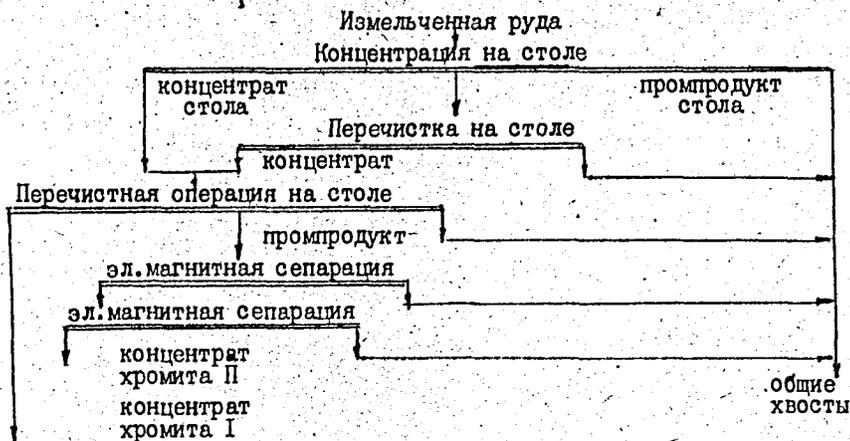


Рис. 2. Схема обогащения хромитовой руды

содержанием  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  47,86% и 48,99% при содержании вредных примесей:  $\text{SiO}_2$  - 2,00%;  $\text{CaO}$  - 0,54%;  $\text{S}$  - 0,01%, соответствующие требованиям химической промышленности, а по содержанию хрома зарубежным маркам.

Результаты технологических исследований внедрены в Карельской ПСО ПГО "Севзапгеология" при составлении ТЭС, что позволило ускорить постановку поисково-оценочных работ на хромитовые руды.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты, практические выводы и рекомендации, полученные в результате исследований, заключаются в следующем:

1. При разработке схем комплексной переработки руд Карелии проведено их минералого-технологическое изучение, совершенствование аппаратуры и методологии выделения мономинеральных фракций для исследований минерального состава, свойств, поведения минералов в обогатительных процессах и составлена топосхема выделения мономинеральных фракций на основе региональной геологической карты территории Карелии.

2. Разработан электромагнитный сепаратор, отличающийся формой полюсов, их расположением и наличием поворотного устройства для изменения угла наклона электромагнитной системы, что позволяет получить набор электромагнитных фракций, отличающихся состоянием поверхности, наличием включений, размером сростков и примазок на минералах. Сепаратор обеспечивает повышение производительности лабораторных исследований на 5-10% при повышении точности разделения.

3. Разработан способ расщепления слюд, основанный на использовании кристаллизационных сил при росте кристаллов из растворов солей в межпакетных промежутках слюд. Установлены соотношения твердого к жидкому и концентрации растворов солей, определяющие оптимальный режим и технологические показатели расщепления слюд. Способ позволяет без применения традиционных методов дробления и измельчения осуществить раскрытие макро- и микровключений из слюд с сохранением состава и морфогенетических особенностей.

4. Разработан и внедрен электрический виброротковый сепаратор,

обеспечивающий разделение минералов, отличающихся микровкрапленностью, присутствием изоморфных и генетических разновидностей, трудно или практически не разделяемых другими методами.

5. Установлено, что минеральный состав руд и горных пород различных генетических типов, распространенных в Карелии, существенно разнороден и различается текстурно-структурными особенностями, морфологией, размером вкрапленности, составом, присутствием изоморфных переходов в рядах, генетическими и политипными разновидностями, что существенно для технологических процессов.

6. Изучение и анализ минерального состава, структурных особенностей, размера вкрапленности, свойств минералов из генетически различных типов руд и горных пород позволили обосновать и разработать 27 схем выделения мономинеральных фракций, составляющих основу топосхемы Карелии, а также схемы для разделения минеральных, генетических и полиморфных разновидностей гематита, цирконов, кварца, в основе которых лежит использование комплекса физических и химических обогатительных методов.

7. Установлены взаимосвязь и влияние минералогического-генетических особенностей на основные технологические свойства и поведение циркона в обогатительных процессах, что позволило разработать технологические схемы по выделению циркона из бедных, тонкозернистых и труднообогатимых горных пород Карелии.

8. Для оценки обогатимости хромитовых руд, относящихся к новому для СССР формационному типу руд, выделены мономинеральные фракции и определен минералогический состав, свойства, размеры вкрапленности, компонентный состав, особенности разделения и причины потерь в технологических процессах. Разработаны гравитационно-магнитные схемы для обогащения хромитовых руд, обеспечивающие получение концентратов, соответствующих требованиям химической промышленности, а по содержанию хрома - зарубежным маркам. Результаты технологических исследований приняты к использованию при составлении ТЭС на постановку поисково-оценочных работ на хромитовые руды в Карельской ПСЭ ПГО "Севзапгеология".

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Барский Л. А., Невлич В. И. Выделение мономинеральных фракций

при оценке обогатимости хромитовых руд Карелии. // Тезисы докладов. "Механообр". Ленинград. 1990. - 152 с.

2. Кевлич В.И. Методика разделения полевых шпатов и кварца из гранитов, пегматитов и гнейсов докембрия Карелии. // Минералогия и геохимия докембрия Карелии. Петрозаводск. 1979. с.154-165.

3. Кевлич В.И. Методика выделения апатита, циркона, биотита, роговой обманки, пироксена, сфена из фенитов, сиенитов, габбро-амфиболитов. //Оперативно-информационные материалы. Петрозаводск. 1982. - с. 53-56.

4. Кевлич В.И., Сыромятина Н.Д. Технологическо-минералогические рекомендации к разработке схем по выделению мономинеральных фракций из докембрийских горных пород Карелии. - Карельский ФАН СССР. Петрозаводск. 1985. - 68 с.

5. Николаев А.А., Кевлич В.И. О некоторых методических вопросах цирконометрии. // Изотопные методы и проблемы геологии докембрия Карелии. - Петрозаводск, 1985. - С. 65-76.

6. Павлов М.М., Кевлич В.И. О происхождении хромитовогоруднения Бураковской интрузии. Оперативно-информационные материалы. Петрозаводск, 1986. - С. 40-43.

7. Кевлич В.И., Карелина И.Н., Букчина О.В. Выделение микро-и макровключений из слюды // Минералогия докембрия Карелии. Петрозаводск, 1988. - С. 194-201.

8. А.с. 1234199 Способ расщепления слюды / Кевлич В.И., Карелина И.Н., Иванова Н.А. - Оpubл. в Б.И. № 20, 1986.

9. А.с. 1144726 Электрический сепаратор для разделения смесей минералов / Кевлич В.И., Макаров В.Н. - Оpubл. в Б.И. № 10, 1985.

10. L.A. Barsky, V.I. Kevlich. Estimating the Amenability of Karelia's Chromite ores to beneficiation with the aid of monomineral fractions // Geologic-Technological of ore minerals, samples and deposits. / Chief Editor: Corresponding member, USSR Acad.Sci. V.I. Revnitsev - Leningrad, - 1990. P-81-84.