

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МИНЕРАЛОГИЯ ПРИ ОЦЕНКЕ ИНДУСТРИАЛЬНЫХ МИНЕРАЛОВ КАРЕЛИИ

Щипцов В.В.

Институт геологии КарНЦ РАН, e-mail: shchipts@krc.karelia.ru

Свое достойное место заняла новая область прикладной минералогии – это технологическая минералогия, предметом которой является изучение минералов как объектов переработки с помощью различных методов. Технологическая минералогия стоит в авангарде современных направлений развития теории и практики обогащения руд, что позволяет совершенствовать технологические процессы, разрабатывать и научно обосновывать новые технологические подходы и технические решения; интенсифицировать технологии обогащения различных руд на основе направленного изменения свойств минералов.

Методы исследований технологической минералогии в значительной степени связываются с типоморфными особенностями минералов и минеральных ассоциаций, влияющими на показатели переработки руд, т.е. на технологические свойства руд и минералов. В.М.Изоитко [1] обобщила материалы по технологической минералогии относительно железных, медно-никелевых, вольфрамовых, оловянных, медных и полиметаллических руд, золота и платины и показала их существенное влияние на совершенствование технологических схем, вовлечение в переработку новых промышленных типов месторождений и руд. Имеется большое количество публикаций, посвященных технологической минералогии конкретных руд, например, железных [2], оловянных [3] и др. Методы технологической минералогии с таким же успехом применимы и по отношению к индустриальным минералам. Нельзя не отметить работы В.И.Ревнивцева по кварцу и полевому шпату [4], О.Б.Дудкина [5] и другие. В свое время В.М.Изоитко и автор данной статьи планировали подготовить общую монографию, включающую технологическую минералогия металлов и индустриальных минералов и связывающие их проблемы комплексного использования. Думается, что не надо забывать об этом и в перспективе осуществить данный проект.

Под понятием «индустриальные минералы» понимаются полезные ископаемые, близкие по значению к неметаллическим. Химические и физические свойства определяют их использование во многих областях промышленного производства без процессов металлургического передела. В этот большой класс входит минеральное сырье (минералы и горные породы), извлекаемое человеком из недр, кроме металлов, энергетических видов полезных ископаемых, воды и самоцветов. Целью технологического опробования на ранней стадии предварительной оценки индустриальных минералов Карелии являлась постановка задачи по выявлению зависимостей между качеством руды и показателями переработки. Все приводимые данные основываются на двух видах технологических проб – малообъемные лабораторные и минералого-технологические с массой проб от 2 до 100 кг, т.е. объектом были в основном природные типы руд за редким исключением тех случаев, когда на основе опытов на промышленных сортах руды разрабатывалась технологическая схема с отбором массы проб свыше 200 кг (гранат, чешуйчатый мусковит, анортозит, кианит, апатит). На первом этапе исследуются вкрапленность минералов и крупность материала, включая максимальную. И наконец роль технологической минералогии проявляется перед стадией выбора качественной схемы обогащения, когда получена информация о вещественном составе полезного ископаемого.

Квинтэссенция технологического опробования – это создание или уточнение схемы переработки полезного ископаемого, необходимой для получения товарной продукции с определением показателей переработки (выход продукции, извлечение полезных компонентов, качество продукции), а также предполагаемый расход воды, энергии, реагентов, флюсов и других материалов. При выборе схем переработки руд индустриальных минералов, как правило, доминирующее значение придается наиболее контрастным свойствам минерала, присущим только одному в ассоциации с другими минералами.

Геологические обстановки формирования индустриальных минералов Карелии имели широкий пространственно-временной диапазон в шкале архей-протерозой-фанерозой, характеризующийся своими особенностями, и основные черты которых схематично показаны в таблице 1.

Таблица 1

Геологические обстановки формирования индустриальных минералов Карелии

Основная геологическая обстановка	Индустриальный минерал
Архейские гранито-гнейсовые поля с интенсивно, умеренно и слабо реактивизированными областями	Полевой шпат, кварц, мусковит, гранат, графит, кианит, пирит, корунд, сподумен
Структурно-формационные комплексы лопийских зеленокаменных поясов	Кварц, гранат, графит, кианит, мусковит, пирит, ставролит, тальк
Области развития свекокарельских осадочно-вулканогенных и вулканических толщ	Кварц, тальк, шунгит, графит, полевой шпат, барит, андалузит
Рифейско-вендский комплекс	Кварц, флюорит, Ba-Sr полевой шпат, волластонит
Дифференцированные интрузии от ультраосновного до кислогощелочного и карбонатитового состава архейского и протерозойского периода	Апатит, кальцит, полевой шпат, барит, ильменит, титаномagnetит, магнетит, хромит, асбест, тальк, магнезит, пирит, оливин
Фанерозойские осадочные комплексы	Диатомит, сапропель

Месторождения и проявления индустриальных минералов и горных пород докембрия Карелии относятся к эндогенным образованиям и выделяются следующие классы: магматические (апатит, титано-магнетит, ильменит, полевой шпат, анортозит, хромит, оливинит, геллефлинга, кварцевый порфир, нефелиновый сиенит и др.); пегматитовые (мусковит, полевой шпат, кварц, сподумен, турмалин и др.); карбонатитовые (апатит, кальцит, магнетит и др.); постмагматические (апатит, барит, флюорит, полевой шпат, кварц, кианит, пирит, ставролит, тальк, гранат и др.), метаморфизованные и метаморфические (графит, тальк, рибекит-асбест, шунгиты, кианит, ставролит, гранат, пирит, тальковый камень, серпентинит, диопсид и др.).

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

Для индустриальных минералов типоморфизм первого порядка играет важную роль при оценке практической значимости получаемого концентрата. К этим примерам относятся следующие заключения: тонкодисперсный рутил в кианите трудно извлекаем, что ограничивает области применения кианитового концентрата в промышленном использовании (требования по содержанию TiO_2 для керамических материалов – не более 0,2, а в иных случаях 0,01%), природное сростание мусковита с биотитом резко сужает возможности использования тонкомолотого мусковита в производстве красок, пластиков и бумаги, прорастание граната с другими минералами не лучшим образом влияет на выбор областей его применения – для фильтрации воды не допускается готовый продукт к использованию, если содержание граната меньше чем 97% и др. Структурно-текстурные особенности метаморфических пород играют особую роль при обогащении. Такая зависимость определяется влиянием регионального метаморфизма на технологические свойства графитоносных пород Приладожья, выявленная Н.С. Бискэ [6]: графитовые руды зон низкотемпературного метаморфизма имеют низкую флотационную обогатимость при содержании тонкодисперсного графита в них свыше 60%, в то же время в условиях высокотемпературного метаморфизма амфиболитовой фации образованы легкообогащаемые высококачественные руды с крупночешуйчатым графитом при содержании 2,8-5,9% (Ихальское месторождение). Для трех типов ильменитовых руд месторождения Суриваара обнаружены отличия по вещественному составу, количественному соотношению минералов и текстурно-структурным особенностям, что разделяет эти руды на легко-, средне- и труднообогащаемые (рис.1). Характер распределения TiO_2 в магнитной и немагнитной фракциях исследуемые пробы месторождения Суриваара (Еletzозерский массив) позволил сделать следующий вывод: содержание TiO_2 в магнитной фракции равно содержанию TiO_2 в немагнитной фракции – труднообогащаемые (12,5%); содержание TiO_2 в магнитной фракции больше чем содержание TiO_2 в немагнитной фракции – среднеобогащаемые (75%); содержание TiO_2 в магнитной фракции меньше чем в немагнитной фракции – легкообогащаемые (12,5%). При лабораторных исследованиях ильменитовых руд месторождения Суриваара использовалась сухая электромагнитная сепарация с напряженностью поля не выше 850 кА/м [7]. Основными рудными минералами являются магнетит, титаномагнетит и ильменит. Минеральный состав, текстурные и структурные особенности руды определяют раскрываемость ильменита в процессе дробления и измельчения. Наиболее быстро освобождаются от сростков крупновкрапленные руды, значительно хуже тонковкрапленные.

Наиболее часто используемые типоморфные особенности второго порядка являются важными в характеристике индустриальных минералов и определяющими в технологическом использовании. Например, использование контрастных свойств микроклина делает возможным получение готового продукта из пегматитов при обогащении методом рентгенорадиометрической сепарации для замены неэффективной ручной рудозборки [8].

Некоторые особенности в исследованиях и оценка на ранних стадиях изучения показаны на примере двух месторождений Карелии.

Хизоваарское месторождение кианитовых руд

История изучения кианитовых руд очень поучительна, так как она отражает эволюционный переход от оценки их использования для получения алюминия, затем для производства силумина и, наконец, кианит становится практически ценным индустриальным минералом, химические и физические свойства которого стали предметом внимания, в первую очередь, для использования в огнеупорной и керамической промышленности.

Анализ процессов рудогенеза Хизоваарского кианитового поля позволил определить условия формирования и локализации оруденения, а также потенциальную рудоносность нескольких участков [9, 10]. Проблема генезиса и формирования кианитовых руд месторождения рассматривается в рамках теории метасоматоза [11] и метасоматического рудообразования [12, 13, 14] прежде всего той ее части, которая геохимически ха-

рактируется как область фации кислотного выщелачивания [15, 16] и петрологически связана с регрессивными и диафорическими процессами в пределах кианит-силлиманитовой фациальной серии повышенных давлений [17, 18]. Кианитовые руды представлены тремя природными типами – метаморфогенные (лопийский тектоно-магматический цикл), метаморфогенно-метасоматические и метасоматические (свекофеннский тектоно-магматический цикл). Наиболее важными с практической точки зрения являются руды метаморфогенно-метасоматического типа.

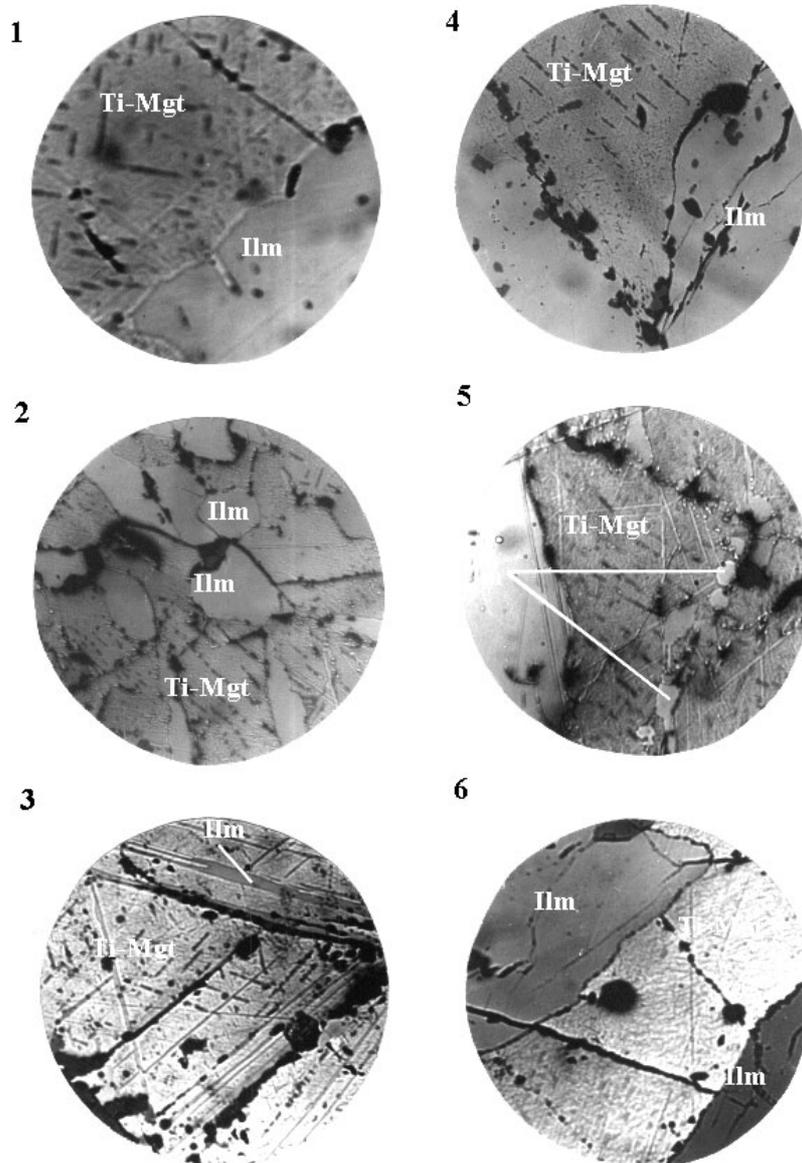


Рис. 1. Морфолого-структурные типы ильменитовой руды (месторождение Суриваара, Ельтьозерский массив)

1 – контакт зерен ильменита с титаномagnetитом (x 40); 2 – контакт зерен ильменита с титаномagnetитом (x 40); 3 – мелкозернистый ильменит в титаномagnetите (x 40); 4 – мозаичный ильменит в титаномagnetите (x 40); 5 – структура распада титаномagnetита (x 40); 6 – характер выделений ильменита в среднезернистом габбро (x 36)

Выделены три активных фактора контроля: литостратиграфический, метаморфогенно-метасоматический и структурный по аналогии с петрологически родственными образованиями мусковитовых пегматитов Беломорской слюдоносной провинции [19, 20]. *Литостратиграфический фактор* отражает приуроченность интенсивного кианитообразования к метаморфитам преимущественно нижней части Хизоваарского стратиграфического разреза, где впервые были установлены два «горизонта» высокоглиноземистых сланцев.

Нижний «горизонт» на основании целого ряда прямых и косвенных признаков предположительно характеризуется как продукт метаморфизма химической коры выветривания с содержанием глинозема до 24% и

выше, образованной по вулканитам андезитового состава. Верхний «горизонт» глиноземистых сланцев входит в граувакковую часть разреза и формировался в той или иной мере за счет вулканогенных пород андезитового состава. По содержанию глинозема породы верхнего «горизонта» более бедные (18.5-21.0%).

Метаморфогенно-метасоматический фактор. К настоящему времени все имеющиеся материалы позволяют говорить о многоэтапном проявлении регионального метаморфизма. Метаморфизм раннего (из документируемых) этапа проявлен в условиях гранат-кианит-биотит-ортоклазовой субфации с переходом к ставролит-жедрит-кианитовой и гранат-кианит-биотит-мусковитовой субфаций кианит-силлиманитовой фациальной серии, по В.А. Глебовицкому.

Кислотные метасоматиты Хизоваары формировались в условиях кварц-кианитовой фации метасоматоза, на что указывали В.А. Глебовицкий и С.А. Бушмин [18]. На примере участка Южной линзы отмечается, как высокая активность летучих приводит к устойчивости пирита и турмалина во внутренних зонах рудного тела.

Структурный фактор рассматривается на основе данных о многоэтапности развития района, а структурная локализация рудных метасоматитов отражает связь определенных фаций со структурами.

Молодые наложенные структуры свекофеннского цикла являются рудоконтролирующими. Локальный поисковый структурный критерий для кианитовых руд метаморфогенно-метасоматического и метасоматического происхождения представляет собой сопряжение в пространстве двух возрастных групп структур – ранних субширотных с наклонными осевыми поверхностями и поздних субмеридиональных (и северо-западных) с преимущественно крутыми осевыми поверхностями. Формирование субмеридиональных структур относится к одновременному свекофеннскому этапу, что сближает аналогию с полями мусковитовых пегматитов северной Карелии.

Минералогические особенности

В кианитовой руде Хизоваарского месторождения отмечены три разновидности кианита, различающиеся по цвету и морфологии: (1) серые, преимущественно тонкоигольчатые; (2) темно-серые игольчатые и мелко таблитчатые; (3) голубые таблитчатые. Методом ИКС устанавливаются отличия в состоянии поверхности кианита, взятого для анализа из монофракций (рис. 2).

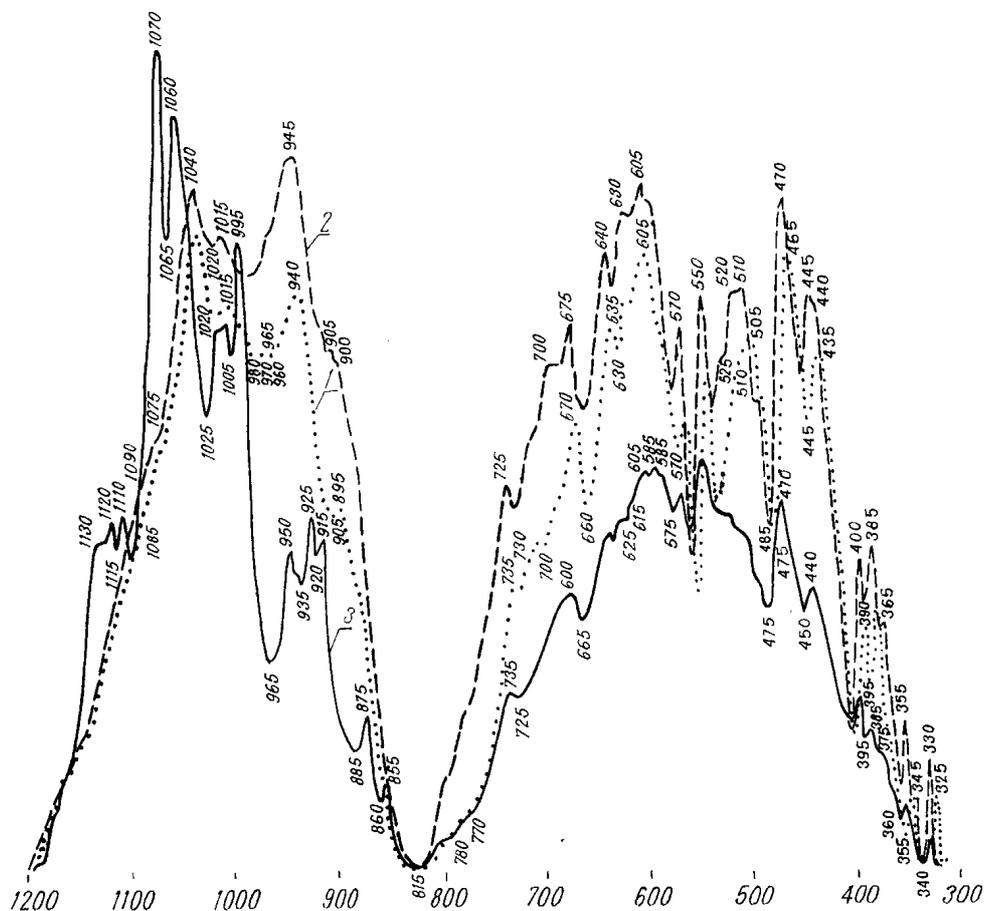


Рис. 2. ИК-спектры кианита:

1 – белого; 2 – серого; 3 – голубого цвета

В зернах кианита присутствуют валентно и координационно ненасыщенные атомы алюминия, размещение которых для кианита трех разновидностей отличается различной степенью упорядочения. Наиболее высокочастотная часть спектра близки у светло-серого и темно-серого кианитов, голубой по ИК-спектру существенно отличается в силикатной части, структурирован и обладает более совершенной упаковкой.

Размер и форма зерен кианита, наличие вростков других минералов специфичны для определенных разновидностей. Светло- и темно-серый кианиты, как правило, образуют игольчатые кристаллы с размерами 0.16x0.05 – 4.3x1.6 мм. Кианит содержит много включений кварца размерами 0.03-0.07мм, рутила размером до 0.03 мм и иногда включения пирита. Отмечается замещение пирита лимонитом с образованием бурого налёта гидроокислов железа на зернах кианита.

Голубой кианит имеет вид коротких и широких табличек с изъеденными контурами и разбит трещинками по плоскости пинакоида. Размер табличек 1 x 1.5-2 мм. Содержание включений других минералов в этом кианите и ожелезнение минимально. Основную массу породы составляет кварц. Размер зерен его колеблется от 0.05 до 2.5 мм. Рутил чаще наблюдается внутри зерен кианита и на контакте с зернами кварца. Размеры его зерен от 0.1 – 0.01 мм до тонкодисперсного.

Технологические испытания на обогатимость кианитовой руды Хизоваарского месторождения выполнены с применением флотации [9, 21] и позволили получить кианитовый концентрат с классом раскрытия кианита – 0.16-0.1 мм, с относительным содержанием в свободных зернах 85-95% и извлечением кианита в концентрат – 65-70%. Данные параметры достигаются только при обогащении метаморфогенно-метасоматического типа кианитовой руды. Качество концентрата может улучшаться за счет перечисток и применения обработки пульпы ультразвуком перед обесшламливанием. Товарный продукт удовлетворяет требованиям огнеупорной промышленности и других российских производств и не уступает по свойствам американскому кианиту, который на рынке выступает в качестве эталона.

Тикшеозерское месторождение апатитсодержащих карбонатитов

В составе Тикшеозерского массива выявляется значительное разнообразие пород при резком преобладании пироксенитов, а также обнаружены разнообразные метасоматиты, карбонатно-силикатные породы, карбонатиты и нефелиновые сиениты. Происхождение магм карбонатитов и пород щелочно-ультраосновного ряда традиционно относят к мантийным источникам, а [22] образование конкретной карбонатитовой магмы объясняют механизмом затягивания в ювенильную магму океанической коры и осадков в зонах поддвига литосферных плит.

Площадь Тикшеозерской интрузии составляет около 35 кв.км с максимальной протяженностью в меридиональном направлении не менее 8 км, широтном – 5 км. Апатитсодержащие карбонатиты относятся к комплексному типу руды, где главную роль играли кальцитовые карбонатиты. Из других карбонатов присутствуют доломит-анкерит, образующие изоморфный ряд, и в качестве аксессуарных – арагонит и анкилит. Отличительная особенность карбонатитов Тикшеозерского массива – повышенное содержание в них окиси кальция, по содержанию которого выделены высококальциевая (СаО от 35.11 до 51.80%) и магниевое-кальциевая (СаО от 23.36 до 39.40%) разновидности. Кальциевые карбонатиты, помимо вышеназванных карбонатов, содержат в небольшом количестве сопутствующие флогопит, оливин, биотит, магнетит и другие минералы. К менее распространенным разновидностям относятся доломит-кальцитовые и кальцит-доломитовые карбонатиты с эгирином, оливином, рихтеритом, флогопитом, тремолитом, магнетитом и другими минералами. Установлено присутствие мелких жил барита. Среднее содержание P₂O₅ 4.3%.

В докембрийских магматических породах Карелии апатит присутствует повсеместно в виде мелких зерен или богатых скоплений. Широкое распространение этого минерала предопределило детальную изученность его химического состава. Одним из примеров являются результаты исследований редкоземельных элементов (РЗЭ) в апатитах из древних «серых» гнейсов и разновозрастных щелочных интрузивных комплексов: Тикшеозерский щелочно-ультраосновной карбонатитовый массив на севере Карелии с возрастом 1980 млн лет, Элисенваарский массив щелочно-ультрамафитовых пород калиевого ряда на юге с возрастом 1550 млн лет [23]. Уровню содержаний и особенностям распределения РЗЭ в апатитах (рис. 3 а-г) свойственны характерная направленность в изменениях относительных концентраций элементов от тяжелых к легким, проявлению минимума по европию или его отсутствию, что может предлагаться как типохимический признак первого порядка по отношению апатитов, образованных в комплексах различных формаций и возрастов.

Апатиты становятся богаче РЗЭ от древних к молодым комплексам, что подтверждает общую тенденцию [24] коэффициент фракционирования нормированных по хондритам РЗЭ (Ce_N/Yb_N – отношение) увеличивается как для интрузивных (от 34 до 105), так и для метасоматических разновидностей (от 3 до 44). Кривые распределения РЗЭ в первичных апатитах серых гнейсов (рис. 4а) имеют относительно плавный характер с четким фракционированием РЗЭ ($Ce_N/Yb_N = 13-37$), европиевый минимум слабый или практически отсутствует. Кривые распределения (рис. 4б) характерны для метасоматических апатитов в серых гнейсах. Суммарное содержание также низкое, коэффициент фракционирования РЗЭ 3 – 7. В этих апатитах содержание стронция невысокое или практически не превышает порога чувствительности анализа. Далее (рис. 3 в) одна кривая с относительно высоким содержанием РЗЭ и отношением фракционирования, равным 105, представляет апатит, сосуществующий с

интрузивным кальцитом. Другие апатиты метасоматические. Кривые наиболее молодых апатитов показаны на рис 3 г, где магматический апатит определяется самым высоким содержанием РЗЭ, фракционным отношением 88 и отрицательной европиевой аномалией. Две следующие кривые, для которых характерно отсутствие европиевого минимума, отражают поведение апатитов метасоматического происхождения.

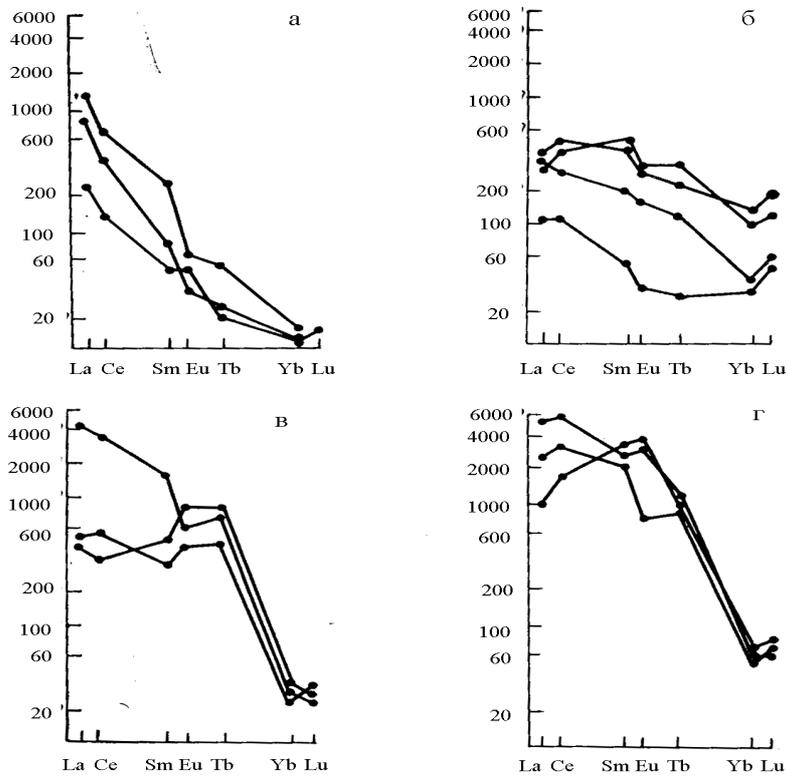


Рис. 3. Распределение редкоземельных элементов (РЗЭ)

в образцах апатита (данные нормированы по хондритам):

а – магматического из серогнейсового комплекса Ондозерского блока; б – метасоматического из серогнейсового комплекса Ондозерского блока; в – Тикшеозерской группы массивов; г – Элисенваары

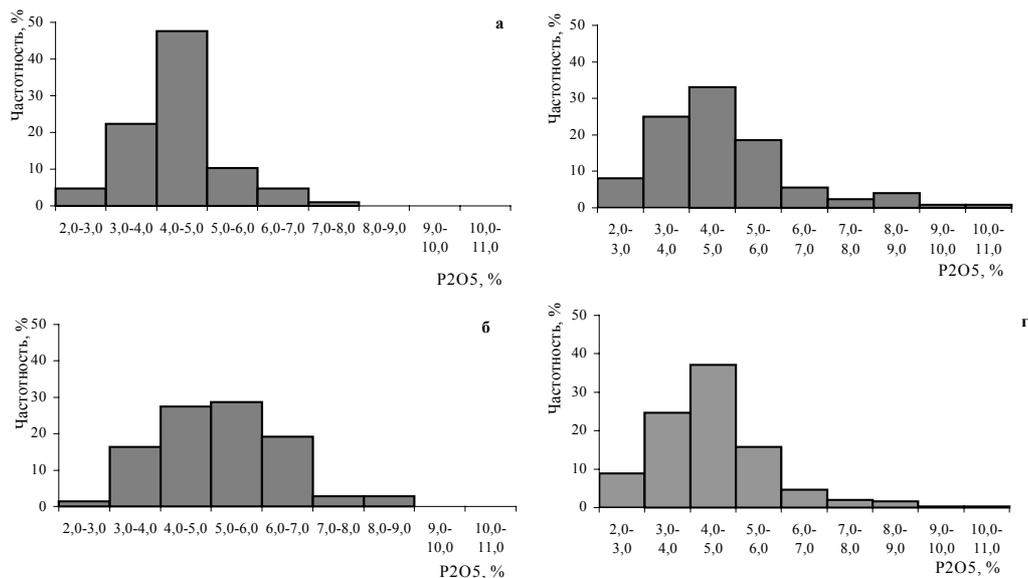


Рис. 4. Гистограммы распределения содержаний P_2O_5 в апатитоносных карбонатах (месторождение Тикшеозеро):

а – профиль 24; б – профиль 30; в – профиль 18; г – весь массив

Относительно апатитсодержащих карбонатитов Тикшеозерского щелочного массива установлены вариации главных компонентов P_2O_5 , CaO и MgO, которые отвечают составам кальцитовых карбонатитов – основного типа комплексного минерального сырья. На некоторых горизонтах значения меняются резко за счет доломитовой разновидности карбонатитов. На гистограммах распределения содержаний P_2O_5 (рис. 4) показаны области небольших вариаций содержаний от 2 до 6%.

Отдельные значения объединены в классы, границы которых округлены. По некоторым пробам получены по содержанию P_2O_5 аномально высокие значения (менее 1.0% проб от общего количества) и – слишком низкие (около 3%), что связано с количественным соотношением апатита с темноцветными и силикатными минералами.

По общим вариациям значений $\delta^{13}C$ и $\delta^{18}O$ в карбонатитах принимается гипабиссальная природа массива [25]. Высокотемпературные карбонатиты Тикшеозерского массива характеризуются изотопным составом углерода, типичным для гипабиссальных фаций глубинности. Более низкотемпературные наложенные процессы приводят в основном к увеличению значений $\delta^{18}O$ (доломит-кальцитовый карбонатит).

Доказательством существования высокотемпературных и глубинных кальцитовых карбонатитов является распределение по разрезам скважин содержаний в карбонатитах CaO, MgO и P_2O_5 , что согласуется с распределением значений изотопного состава углерода по профилям 18, 24 и 30.

Исследования на обогатимость карбонатитов Тикшеозерского массива с учетом геолого-минералогических факторов показали, что к оптимальному варианту следует относить применение методов флотации и магнитной сепарации [26, 27, 28]. Получены следующие характеристики концентрата: карбонатный модуль CaO/ P_2O_5 – 7, извлечение P_2O_5 59.6 – 65.5% при содержании P_2O_5 в концентрате 38.3%. Разделение флотационной пульпы на мелкую и крупную часть повышает существенно технологические показатели. Попутный продукт – кальцитовый концентрат с содержанием CaO до 52.0% при извлечении 54 – 62%. В Карелии это самое крупное скопление апатита в природном виде. Апатитовые и кальцитовые концентраты относятся к высококачественным продуктам.

Выводы:

Для промышленных минералов предлагается рассматривать два порядка типоморфных признаков, позволяющих более обоснованно предсказывать поведение минералов в технологических процессах. Детальные исследования промышленных минералов из ряда месторождений и проявлений показали важность выявления типоморфных признаков метаморфических и магматических минералов.

Разработаны геолого-минералогические основы для создания технологических схем обогащения (кварц, апатит, кианит и целый ряд других минералов) и установлено влияние типоморфных свойств на показатели переработки конкретных промышленных минералов Карелии.

Выявленные на стадии лабораторных исследований минералогические особенности полезных ископаемых различных генотипов являются основой для выбора оптимальных вариантов рудоподготовки и обогащения промышленных минералов Карелии.

На конкретных примерах месторождений кианита и апатита показаны особенности влияния геолого-минералогических факторов на образование природных типов руд.

Благодаря проведенным комплексным исследованиям разных природных типов промышленных минералов Карелии показана возможность их технологической переработки, включая комбинированные схемы и специальные методы обогащения, которые позволяют более полно использовать промышленные минералы и помогают на практике решать важные технологические задачи.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Изоитко В.М.* Технологическая минералогия и оценка руд. – СПб: Наука, 1997. – 592 с.
2. Технологическая минералогия железных руд / Пирогов Б.И., Поротов Г.С., Холошин И.В., Тарасенко В.Н. – Л.: Наука, 1980. – 304 с.
3. *Иванов О.П., Кушпаренко Ю.С., Маришкова Н.К.* Технологическая минералогия оловянных руд. – Л.: Наука, 1989. – 207 с.
4. *Ревнивцев В.И.* Обогащение полевых шпатов и кварца. – М.: Недра, 1970. – 129 с.
5. *Дудкин О.Б.* Технологическая минералогия комплексного сырья на примере месторождений щелочных плутонов. – Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1996. – 134 с.
6. *Бискэ Н.С.* Влияние регионального метаморфизма на технологические свойства графитоносных пород // Технологическая минералогия главнейших промышленных типов месторождений. – Л.: Наука, 1987. С. 183-188
7. *Кулмала Т.К., Савицкий А.И., Скамницкая Л.С., Щитцов В.В.* Новое геолого-технологическое изучение ильменитовых руд участка Суриваара, Ельтозерский массив // Вопросы геологии, магматизма и метаморфизма докембрия Карелии – Петрозаводск: Кар НЦ РАН, 1994. С. 70-74
8. Перспективы развития ресурсосберегающей и экологически чистой технологии обогащения калий-полевошпатового сырья Кольского полуострова и Карелии / *Литвинцев Э.Г., Мокроусов В.А., Зверев В.В.* и др. // Комплексное освоение минеральных ресурсов Севера и Северо-Запада СССР. – Петрозаводск, 1990. С. 214-217
9. Хизоварское кианитовое поле (Северная Карелия) / *Щитцов В.В., Скамницкая Л.С.* и др. Петрозаводск, 1988. 105 с.

10. Коржинский Д.С. Теория метасоматической зональности. -М.: Наука, 1982. -104 с., 1987
11. Жариков В.А., Омеляненко. Классификация метасоматитов //Метасоматизм и рудообразование. – М., 1978. С. 9-28
12. Казицын Ю.В. Метасоматизм в земной коре. – Л.: Наука, 1979. – 208 с.
13. Жданов В.А., Рундквист Д.В., Басков Е.А. Опыт систематики региональных метасоматитов и их рядов. Зап. ВМО. 1987. № 4, ч. 116. С. 408-416
14. Коржинский Д.С. Очерк метасоматических процессов //Основные проблемы в учении о магматогенных рудных месторождениях. М., 1955. С. 335-456
15. Глебовицкий В.А., Бушмин С.А. Послемигматитовый метасоматоз. – Л., 1983. – 127 с.
16. Гродницкий Л.Л. Гранитные пегматиты Балтийского щита. – Л.: Наука, 1982. – 294 с.
17. Сорохтин О.Г., Митрофанов Ф.П., Сорохтин Н.О. Происхождение алмазов и перспективы алмазоносности восточной части Балтийского щита. – Апатиты: Изд-во Кол НЦ РАН, 1995. – 144 с.
18. Щитцов В.В., Цюнь О.В., Желдаков Ю.А. Распределение U-Th-Pb и редкометалльных элементов в апатитах Карелии // Минералогический журнал, 1991, т.13, № 4. С.92-98
19. Edu G.H. Abundance and distribution of the rare-earth and ittrium in the rocks and minerals of the Oka carbonate complex // Geochim et Cosmochim / Acta. 1975. V. 75, № 1. P. 81-85
20. Самойлов В.С. Генетические типы и фации карбонатитов. // Метасоматизм и рудообразование. – М.: Наука, 1974. С. 196-204
21. Бархатов А.В., Скамницкая Л.С. Технологическая оценка обогатимости апатитовых руд Райвямьского, Койвямьского щелочного массива (западное Приладожье). // Геология и полезные ископаемые Карелии: – Петрозаводск, Кар НЦ РАН, 1980. С. 46-48
22. Технологические исследования карбонатитов Тикшезерского массива/ Бархатов А.В., Скамницкая Л.С., Бубнова Т.П. и др.// Минеральное сырье Лоухского района. – Петрозаводск, 1991. С.20-35.р.

КРИСТАЛЛОГРАФИЯ ТАБЛИЦЫ МЕНДЕЛЕЕВА

Р.В.Галулин

Институт кристаллографии РАН

Введение. Кристаллографическая картина мира

Среди всех естественных объектов однозначной самосборкой обладают только кристаллы. По этой причине кристаллография не обобщаема. На ее основе возможно построить свою, кристаллографическую картину мира [1], альтернативную физическим картинам. 7-ой том Фейнмановских лекций по физике начинается со следующей мысли: «Если атомы где-то разместились так, что их расположения отвечают самой низкой энергии, то в другом месте атомы создадут такое же расположение. Поэтому в твердом веществе расположение атомов повторяется». Если это рассуждение Фейнмана уточнить теоремой М.И.Штогринна [5], то рассматриваемое расположение атомов будет кристаллической структурой. Обратим внимание на то, что минимум энергии в данном случае однозначно связывается с кристаллическими структурами, т.е. с правильными системами атомов. Для возникновения кристаллических структур достаточно учитывать только фиксированное число кратчайших химических связей [6]. «Кристаллография – часть химии» как гениально отметил Фридрих Энгельс. Любой ее шаг реально ощутим, поскольку связан с понятием правильности.

«Человечество всегда и во всем ищет правильности» – так начал свою самую первую рукопись гений Российской науки Е.С.Федоров (1853-1919) [7]. Поэтому уже в школьном образовании должен первенствовать кристалл, который своим видом доказывает правильность окружающего мира. Правильные многогранники – это математические абстракции, приучающие к правильному мышлению. Это единственный путь для изучения дискретного мира.

Современные идеи дискретного мира сформировали Федоров и французский гений Анри Пуанкаре (1854-1912), вдохнувший жизнь в геометрию Бояи-Лобачевского (Фуксовы группы, группы Лоренца [8, 9]). Кристаллография – наука о правильностях, что делает ее похожей на искусство. Взгляд на любую проблему с точки зрения правильности всегда открывает в ней новые перспективы. Ниже будет представлен кристаллографический взгляд на таблицу Менделеева, идея которого принадлежит Федорову. В виде рукописи он ее представил Д.И.Менделееву в 1880 году. Но Менделеев не обратил должного внимания на эту рукопись, и она была напечатана только через 75 лет [7]. В настоящее время существует мнение, что физическая суть таблицы Менделеева может быть выявлена только с помощью Квантовой механики [10]. Но тщательное изучение вышеупомянутой рукописи Федорова привело автора данной работы к мысли, что Федоров уже готов был к открытию этой сути. Только невозможность провести ряд экспериментов помешала Федорову заявить об открытии им электрона [11]. А суть его уже была ухвачена [7] в 1880 году, за 17 лет до соответствующей работы Дж. Дж.Томсона.

1. Правильные системы точек

Кристаллография в самом абстрактном представлении – это наука о правильных системах точек.