

строения минералов // Обогащение руд. 2005. № 1. С. 27–31.

2. Зуев В. В. Конституция, свойства минералов и строение Земли (энергетические аспекты). СПб.: Наука, 2005. 402 с.

3. Лебедев В. И. Основы энергетического анализа геохимических процессов. Л.: Изд-во ЛГУ, 1957. 342 с.

4. Марфунин А. С. Введение в физику минералов. М.: Недра, 1974. 324 с.

5. Урусов В. С. Энергетическая кристаллохимия. М.: Наука, 1975. 335 с.

6. Ферсман А. Е. Избранные труды. Т. IV. М.: Изд-во АН СССР, 1958. 588 с.

7. Зуев В. В. Конституция и свойства минералов. Л.: Наука, 1990. 279 с.

8. Gorlich E. Effective nuclear charges and their relation to the Pauling's electronegativity scale // Z. phys. Chem. Leipzig, 1989. Bd. 270, № 2. S. 384–388.

A NEW METHOD OF ESTIMATION OF ATOMIC CORES AND BONDING ELECTRONS ENERGY COEFFICIENTS IN CRYSTALLINE COMPOUNDS
V. V. ZUEV

In the framework of core-electron concept of minerals structure a new method of estimation of cations' energy coefficients has been developed, with its application permitting to considerably enlarge and, in a number of cases, render more precise the applicable original Fersman's system. *OP*

УДК 553.5

© В. В. Щипцов, 2007

ТЕХНОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ КАРЕЛИИ

В. В. ЩИПЦОВ (Институт геологии Карельского НЦ РАН)

Индустриальные минералы составляют обширную группу полезных ископаемых, весьма разнообразных по своей природе и свойствам. Значительные масштабы и возрастающие перспективы использования индустриальных минералов определяют их социально-экономическую значимость и необходимость учета при выработке национальной стратегии экономической безопасности и программы развития и использования минерально-сырьевой базы в 21 веке. На примере конъюнктуры некоторых индустриальных минералов прослеживаются современные тенденции в развитии техники и спроса на новые материалы. С развитием высоких технологий все более значимыми становятся минеральные продукты высокой чистоты.

Месторождения индустриальных минералов докембрия Карелии, как правило, относятся к комплексным. Исследованиями показана экономическая выгода и технически возможность извлечения из руд (горной породы) нескольких ценных минералов (или компонентов), используемых в различных областях производства: огнеупорной, керамической, стекольной, химической, строительной промышленности и т. д. В соответствии с Концепцией социально-экономического развития Республики Карелия и разработанной в целях ее реализации Республиканской целевой программой «Освоение недр и развитие горнопромышленного комплекса РК на период 2000 – 2010 гг.» вопросы комплексного использования признаны приоритетным направлением экономического развития [1].

Основная цель постановки технолого-минералогических исследований заключалась, во-первых, в комплексной оценке руд индустриальных минералов Карелии и усовершенствовании технологичес-

ких схем управления качеством с использованием опыта Норвегии (нефелиновые сиениты Стьерноу и др.) и Финляндии (апатитоносные карбонатиты Силинъярви, кварциты Кинахми и др.); во-вторых, в обосновании использования конкретного минерального продукта на конечной стадии промышленного производства.

Минерагеня Карелии достаточно разнообразна по видам проявления. На мегауровне выделены в качестве надрегиональных единиц первого порядка собственные геологические области со своими минерагеническими особенностями: 1) архейские гранито-гнейсовые поля с реактивизированными и слабо реактивизированными областями (перспективы обнаружения месторождений индустриальных минералов и пород ограничены, исключая рудогенерирующие пегматитовые системы свекофеннского Беломорского пояса с мусковитовыми и керамическими пегматитами, а также структурно-метаморфические комплексы с кианитом и гранатом); 2) структурно-формационные комплексы лопийских зеленокаменных поясов и связанные с ними типы месторождений индустриальных минералов метаморфогенного и гидротермально-метасоматического генезиса (графит, кианит, ставролит, пирит, кварц, гранат, тальк, тальковый камень, геллефланта); 3) области развития свекокарельских осадочно-вулканогенных и вулканических толщ (метаморфизованные и слабо метаморфизованные месторождения индустриальных минералов и горных пород первично осадочного и вулканогенного происхождения — кварциты, графит, карбонатные породы, тальк, шунгитсодержащие сланцы, кварцевые порфиры); 4) осадочные и вулканогенные породы рифейско-вендского комплекса (месторождения индустриаль-

ных минералов и горных пород, главным образом метаморфического и осадочного происхождения, также захороненных кор выветривания — каолин, кварциты, карбонатные породы); 5) области с активно проявленной свекофеннской активизацией (пегматиты — листовой мусковит, микроклин, плагиоклаз, кварц, пегматит; кианит, ставролит, мелкочешуйчатый мусковит, гранат); 6) дифференцированные интрузии от ультраосновного до кислосщелочного и карбонатитового состава архейско-протерозойского периода (месторождения индустриальных минералов магматогенного, метаморфогенного и гидротермально-метасоматического генезиса — апатит, хромит, ильменит, магнетит, оливин, серпентинит, родусит-асбест, кварц, тальк, магнезит, тальковый камень, нефелиновый сиенит, анортозит); 7) фанерозойские осадочные комплексы (месторождения индустриальных минералов — глины, диатомиты, сапропель) [2].

В табл. 1 приводятся основные индустриальные минералы и их распространение в отдельных мезоструктурах Карельской части Фенноскандинавского щита.

Таблица 1
Индустриальные минералы и горные породы Карелии*

Беломорский подвижный пояс	Карельский кратон	Свекофеннская складчатая область
Керамические пегматиты, кварц, мусковит, гранат, анортозиты, диатомиты, глина	Керамические пегматиты, кварц, кварцит, мусковит, кианит, ставролит, гранат, графит, серпентинит, колчедан, апатит, магнетит, нефелиновые сиениты, геллефлинга, кварцевый порфир, ильменит, оливин, магнезит, тальк, серпентинит, тальк-карбонатный, сланец, шунгитовые породы, карбонатные породы, кровельные сланцы, глина, природные пигменты, диатомиты, сапропель	Керамические пегматиты, Ва-Sr полевой шпат, кварц, гранат, графит, флюорит, барит, сфен, карбонатные породы, рапакиви, глина

* В таблицу не включены широко распространенные месторождения блочного камня (граниты, габбродиабазы, габбро, амфиболиты и др.) и щебня (гранит, габбро-диабаз, пироксеновый порфирит и др.).

Неоспоримо важное значение на республиканском и муниципальном уровнях потенциальной минерально-сырьевой базы для производства строительных материалов различного назначения (каменные блоки, облицовочные и модульные плиты, брусчатка для наружного мощения, бордюрный камень, валунник, щебень, бутовый камень, шунгизит, цемент, портландцемент, гидравлическая добавка в цемент, бетон, асфальтобетон, жаропрочный бетон, песчано-гравийные смеси, кирпич различных марок, пескоструйный материал, прессованные изделия, штукатурка, вяжущие, в т. ч. магнезиальные

вяжущие, строительная керамика, санитарная керамика, стекло, краски, эмаль, камнелитейные изделия, искусственные плитки, теплоплиты, минеральная вата, плитки для кровель, специальные материалы — гипсокартон, текстурные краски, акустический штукатурный гипс, термоаккумулирующие изделия и т. д.) [3].

На внутреннем и внешнем рынке могут быть востребованы высокоуглеродистые шунгитсодержащие сланцы [4]. ЗАО «НПК Карбон-Шунгит» ведет разработку Зажогинского месторождения высокоуглеродистых шунгитсодержащих сланцев. В настоящее время мировых аналогов подобному виду сырья не существует. Шунгитовые породы — уникальные по составу, структуре и свойствам образования. Установлено, что они представляют собой необычный по структуре природный композит — равномерное распределение высокодисперсных кристаллических силикатных частиц в аморфной углеродной матрице. Области использования высокоуглеродистых шунгитсодержащих пород определяются их составом и свойствами. Основные области: производство ферросплавов (заменитель кокса и кварцита), литейное производство (футеровочный материал алюминиевых электролизеров и заменитель графита), водоподготовка и водоочистка. Перспективные области применения — использование в качестве сорбента, катализатора, конструкционных радиоэкранирующих материалов, наполнителя композиционных материалов; карбидная и нитридная производственная сфера и др. На наноуровне установлены основные признаки шунгитового углерода, которые позволяют рассматривать его как фуллереноподобную форму природного углерода.

Важное значение приобретает кварцевое сырье, как традиционные типы — пегматитовый, силекситовый и кварцево-жильный, так и нетрадиционные — метасоматиты, сливные кварциты, прибрежно-морские россыпи, кварцевый галечник. Геолого-минералогические исследования кварца, включая проведение кварцметрической съемки на отдельных участках, положены в обоснование практического значения минерально-сырьевой базы особо чистого кварца Карелии как одного из перспективных регионов России. Институт геологии Карельского НЦ РАН и Северная палео-разведочная экспедиция в соответствии с Программой геологоразведочных работ на территории Карелии в 1995–2000 гг. по проекту «Прогнозно-минерагеническое изучение Республики Карелия в масштабе 1 : 1000000 с целью выявления объектов, перспективных на минеральное сырье для производства специальных кварцевых изделий» создали прогнозно-минерагеническую карту кварценоности Республики Карелия в масштабе 1 : 1000000 с выделением промышленно-генетических типов кварца [5]. Исследования показали большой потенциал не только традиционно известной Беломорской области, но и всей территории Карелии, основная часть которой приходится на Карельский кратон. Прогнозно-минерагеническая карта кварценоности Карелии — это основа для комплексной оценки перспектив региона на кварц в целом, а также прогнозирования месторождений в

контурах минерагенических зон, потенциально кварцевых районов и узлов, геолого-экономической оценки территории и планирования поисковых работ.

Исследования проявлений маложелезистых чешуйчатых мусковитов в мусковитовых кварцитах позволили заявить о новом типе чистых промышленных минералов (Межозерское проявление в восточной части Хизоваарской структуры). В отличие от чупинского мелкозернистого мусковита чешуйчатый мусковит имеет превосходные характеристики: содержание железа — менее 1 %, мышьяка — не более 3 мг/кг, свинца — не более 20 мг/кг, свободных от минеральных примесей чешуек фракции 0,04–0,1 мм — более 90 % [6]. В мировой практике слюда различных фракций помола приобретает большое промышленное значение.

К ряду важных промышленных минералов принадлежат графитовые руды Ихальского месторождения [7] и кианитовые руды Хизоваарского рудного поля [8]. Хизоваарское месторождение кианитовых руд благодаря учетным балансовым запасам, степени минерало-технологической изученности и выгодному географическому положению относится к перспективным объектам с точки зрения вовлечения в эксплуатацию. В лабораторных условиях нами установлены следующие технологические параметры: средний размер зерен кианита — 3,3 мм, преобладающий размер зерен кианита — 0,5–7 мм, класс раскрытия кианита — 0,16–0,1 мм, относительное содержание кианита в свободных зернах — 85–95 %, содержание Al_2O_3 в концентрате — 56–57 %, извлечение кианита в концентрат — 65–70 %. Продукты обогащения — кианитовый, кварцевый и пиритовый концентраты. Минеральный состав кианитового концентрата: кианит — не менее 90 %, кварц — 5–10 %, слюда — не более 1,5 %, полевой шпат и прочие — менее 0,5 %; химический состав: Al_2O_3 — не менее 55 %, SiO_2 — не менее 40 %, $Fe_2O_3 + FeO$ — не более 0,5 %, TiO_2 — не более 1,21 %, F — не более 0,1 %, S — не более 0,3 %; плотность — 3,6 г/см³, насыпная плотность — 2,0 г/см³, крупность — менее 0,315 мм, влажность — не более 1 %. В настоящее время некоторые из показателей значительно улучшены за счет отработки технологии обогащения и с учетом требований европейского рынка огнеупоров. Например, на отобранных нами технологических пробах кианита Хизоваарского месторождения норвежская компания «Minpro Strassa» также провела испытания, чтобы определить рыночный уровень продукта. Был получен концентрат с содержанием Al_2O_3 60 %, SiO_2 37,1 %, $Fe_2O_3 + FeO$ 0,27 %, TiO_2 1,4 %, S 0,05 %. Испытания на огнеупорность, давшие положительный результат, проведены в испытательной лаборатории материалов норвежской компании «Elkem».

Выявлены различные геологические обстановки образования талькодержущих пород в границах Карельского кратона, позволившие определить их потенциальную минерагеническую значимость в зависимости от структурно-магматических и тектоно-термальных особенностей проявленных про-

цессов минералообразования и, как следствие, формирования различных типов месторождений — серпентинита, талькового камня, железистого и мало-железистого талька, а также магнезита [9].

Гранатовые руды месторождения Высота-181 на территории северной Карелии привлекательны для создания промышленных производств. Преимуществом является благоприятная геологическая ситуация, способствующая формированию гранат-алмандинов в качестве одного из распространенных минералов и образованию рудных тел с гранатом, определяемых как гранатовые руды [10]. Гранат относится к перспективным промышленным минералам, сфера его использования на мировом рынке ощутимо расширяется.

За последние годы накоплен обширный фактический материал по технологической минералогии руд различного состава, определено влияние изоморфизма поверхности, дефектов кристаллической решетки, текстурно-структурных особенностей минеральных комплексов на природу адсорбционных центров и другие свойства минералов, ответственные за их поведение в разделительных процессах. В табл. 2 показан пример классификации вредных примесей в промышленных минералах и методов их удаления.

Таблица 2

Примеси в минералах (типоморфные признаки первого порядка) и методы их удаления

Удаляемые примеси	Методы воздействия	Применяемые методы обогащения
Минеральные Глинистые Зернистые	Механические	Промывка Сортировка, гравитация, сепарация магнитная и электрическая, флотация Механическая очистка поверхности
Пленочные		
Включения Твердые Газово-жидкие Структурные	Физико-химические	Пирометаллургия Декрепитация Химические, гидрометаллургия

В целом, в результате исследований потенциала промышленных минералов Карелии решены следующие задачи:

— проведено геолого-технологическое изучение месторождений промышленных минералов, в т. ч. малых по запасам или ресурсам, и осуществлено малообъемное технологическое опробование месторождений гранатовых руд Высота-181 и мусковитовых кварцитов Восточно-Хизоваарской площади (Межозерское месторождение), нефелиновых сиенитов Елетьезера (северный участок), анортзитов Котозерского массива, гигантского кварцевого проявления Меломайс, кианитовых руд Хизоваарского месторождения, тальк-карбонатных пород участка Озерки (Костомукшский рудный район);

— получены новые технолого-минералогические данные по конкретным природным типам руд,

проанализированы закономерности изменения минералогических свойств, дифференцированы технологические типы, определены особенности обогащения (извлекаемые, трудноизвлекаемые и неизвлекаемые);

— выявлены основные тенденции рынка и установлены возможности использования карельского минерального сырья в производстве огнеупоров, стекла, керамики, строительных материалов и других производствах;

— выполнено сопоставление с аналогичными рудами известных месторождений Фенноскандинавского щита.

В соответствии с принятой методологией исследования проводились в двух направлениях:

— теоретическое и экспериментальное изучение закономерностей изменения свойств минералов с целью интенсификации процессов обогащения;

— выбор и научное обоснование технологий обогащения на основе изучения закономерностей селективного разделения парагенетических ассоциаций индустриальных минералов.

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

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

Современные стратегии освоения отдельных месторождений должны предусматривать возможность предотвращения и компенсации негативных воздействий внешних факторов, в первую очередь рыночной конъюнктуры, а также быстрого реагирования на благоприятную экономическую ситуацию.

1. Новиков Ю. Н., Щипцов В. В. Экономическое значение минерально-сырьевых ресурсов Республики Карелия // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2004. № 2. С. 37–42.

2. Щипцов В. В. Обзор и оценка индустриальных материалов Республики Карелия // Геология рудных месторождений. 2005. Т. 47, № 1. С. 3–15.

3. Щипцов В. В. Природные строительные материалы Республики Карелия // Мат. междунар. конф. «Проблемы рационального использования природного и техногенного сырья Баренцева региона в технологии строительных и технических материалов». Петрозаводск, 2005. С. 198–201.

4. Филиппов М. М. Шунгитоносные породы Онежской структуры / КарНЦ РАН. Петрозаводск, 2002. 289 с.

5. Данилевская А. А., Скамницкая Л. С., Щипцов В. В. Кварцевое сырье Карелии. Петрозаводск, 2004. 226 с.

6. Мусковитовые кварциты — новый промышленный тип слюдяного сырья / В. В. Щипцов, Л. С. Скамницкая, Т. П. Бубнова и др. // Геология и полезные ископаемые. Петрозаводск, 2003. Вып. 6. С. 67–77.

7. Бискэ Н. С. Графитовое оруденение Северного Приладожья (геологические и генетические особенности). Петрозаводск, 1987.

8. Хизоваарское кианитовое поле // Под ред. Л. Л. Гродницкого. Петрозаводск, 1988. 105 с.

9. Tyni M., Michailov V., Furman V. Geology, commercial assessment and utilization of talc deposit // Comprehensive Assessment of Nonmetalliferrous Deposits. Otaniemi, 1991. P. 25–38.

10. Гранатовые руды северной Карелии, технологические подходы к их освоению и возможные области использования / В. В. Щипцов, Л. С. Скамницкая, Е. Е. Каменева, А. И. Савицкий // Геология и полезные ископаемые. Петрозаводск, 2003. № 5. С. 82–91.

PROCESSING-AND-MINERALOGICAL ASSESSMENT OF MINERAL RESOURCES IN KARELIA
V. V. SHCHIPTSOV

Mineral resources of Karelia are reviewed with detailed characteristic of all main types of mineral raw materials, including ceramic pegmatite, construction materials, schungite schist, graphite, quartz-mica, garnet-containing and kyanite ores, serpentinite, talcum and magnetite. Genesis is described, and grades of the above-mentioned types of mineral raw materials are characterized; processing methods are recommended (using, among other techniques, controlled change of ore minerals' properties). *OP*